



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2008 032 780 B4 2010.04.08**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 032 780.8**

(22) Anmeldetag: **11.07.2008**

(43) Offenlegungstag: **22.01.2009**

(45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **08.04.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F02M 65/00 (2006.01)**  
**F02D 41/22 (2006.01)**

Innerhalb von drei 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).

(30) Unionspriorität:

<b>60/950,108</b>	<b>16.07.2007</b>	<b>US</b>
<b>11/896,510</b>	<b>04.09.2007</b>	<b>US</b>

(73) Patentinhaber:

**Horak, Michael, Ellicott City, Md., US**

(74) Vertreter:

**Patentanwälte von Kreisler, Selting, Werner et col.,  
 50667 Köln**

(72) Erfinder:

**gleich Patentinhaber**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

<b>US</b>	<b>66 68 633</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>45 23 458</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>2006/00 10 904</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>57 47 684</b>	<b>A</b>
<b>DE</b>	<b>32 28 955</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>698 25 426</b>	<b>T2</b>
<b>WO</b>	<b>99/17 010</b>	<b>A1</b>

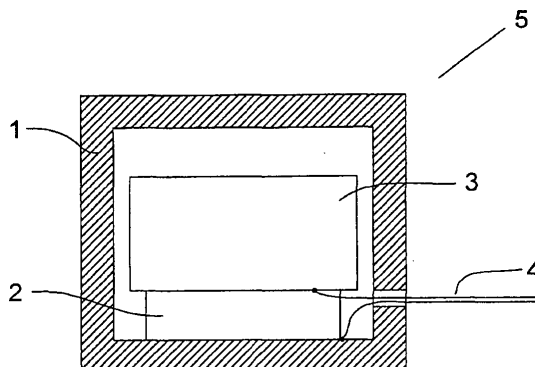
(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zum Testen von Kraftstoffinjektoren**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Überwachen mindestens eines Kraftstoffinjektors eines Motors, um festzustellen, ob der Kraftstoffinjektor korrekt funktioniert, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

(a) Vorsehen eines Spannungswellensensors zum Erfassen von Belastungsübergängen, welche zumindest einer der folgenden Intensitäten entsprechen: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors;

(b) Messen des Spannungswellensignals, das mindestens einer der folgenden Intensitäten entspricht: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors; und

(c) Auswerten des im Schritt (b) gemessenen Spannungswellensignals, um festzustellen, ob der...



**Beschreibung**

## Sachgebiet der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung betrifft im Allgemeinen Verfahren und Vorrichtungen zum Überwachen und/oder Testen von Kraftstoffinjektoren für Verbrennungsmotoren. In der meist bevorzugten Ausführungsform schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Überwachen eines oder mehrerer Kraftstoffinjektoren zum Erkennen eines fehlerhaften oder verschlissenen Injektors auf der Basis von Spannungswellen, welche von den getesteten Injektoren mittels Wellenleitern einem an einer zugänglichen Position befindlichen Spannungswellensensor zugeleitet werden.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Es stehen zahlreiche Verfahren zum Testen der Funktionsfähigkeit von Kraftstoffinjektoren in Verbrennungsmotoren zur Verfügung. Mechaniker verwenden oft Stethoskope, um die von Kraftstoffinjektoren verursachten Geräusche abzuhören. Ein von einem Injektor abgegebener klickender Ton gibt an, dass sich die Injektornadel bewegt. Mittels dieses Verfahrens sind Injektoren erkennbar, die vollständig ausgefallen sind, jedoch werden teilweise ausgefallene Injektoren nicht erfasst. Ferner kann dieses Verfahren nicht bei Injektoren angewendet werden, die mittels des Stethoskops nicht erreichbar sind, da sie unter dem Ansaugkrümmer oder unter anderen Motorteilen verborgen sind.

**[0003]** Aus WO 99/17010 A3 ist ein Verfahren zum Überwachen eines Einspritzsystems bekannt.

**[0004]** Aus DE 32 28 955 A1 ist ein Verfahren zur Kontrolle des Betriebsverhaltens von Verbrennungsmotormechanismen bekannt.

**[0005]** Das US-Patent 6 668 633 beschreibt eine batteriebetriebene Kraftstoffinjektor-Testvorrichtung mit einer an einem pistolenartig ausgebildeten Griff angebrachten Sonde. Wenn die Sonde der Testvorrichtung einen zu testenden Injektor bei im Leerlauf arbeitendem Motor berührt, leuchtet bei jedem Öffnen der Nadel in dem Kraftstoffinjektor eine LED auf und ein hörbarer Ton wird ausgegeben. Diese Testvorrichtung erkennt Injektoren, welche vollständig ausgefallen sind, erfasst jedoch teilweise ausgefallene Injektoren nicht. Ferner kann dieses Verfahren nicht bei Injektoren angewendet werden, welche mit der Sonde nicht erreichbar sind, da sie unter dem Ansaugkrümmer oder anderen Motorteilen verborgen sind.

**[0006]** Das US-Patent 4 523 458 beschreibt eine Testvorrichtung für Kraftstoffinjektoren, welche bei Dieselmotoren Verwendung findet. Diese Vorrichtung

verwendet einen Wandler mit einem piezoelektrischen Kristall, der sandwichartig zwischen zwei Magneten angeordnet ist. Der Wandler wird magnetisch an einem zu testenden Injektor angebracht und zeigt auf einem Balkendiagramm die Intensität der gemessenen mechanischen Impulse an. Dieses Verfahren kann nicht zwischen der Injektoröffnungsübergangszeit und der Injektorschließübergangszeit unterscheiden. Darüber hinaus liefert es keine Informationen über die Zeitdauer, über welche das Injektorventil offen war, und es ist nicht bei Injektoren anwendbar, die für den Wandler nicht erreichbar sind, da sie unter dem Ansaugkrümmer oder unter anderen Motorteilen verborgen sind.

**[0007]** Die US-Patentanmeldung 2006/010904 beschreibt ein System, bei dem ein Kraftstoffdrucksensor an der Kraftstoffverteilerleiste (fuel rail) angebracht ist und mit dem Betrieb der Kraftstoffinjektoren einhergehende Kraftstoffdruckschwankungen misst. Dieses Verfahren erkennt einen vollständig ausgefallenen Kraftstoffinjektor, da die Schwankung ausbleibt, welche bei einem regulären Öffnen und Einspritzen von Kraftstoff durch den Injektor zu erwarten wäre. Jedoch ist dieses Verfahren nicht ausreichend genau, um zuverlässig teilweise ausgefallene Kraftstoffinjektoren zu erkennen.

**[0008]** Das US-Patent 5 747 684 beschreibt ein Verfahren zum Bestimmen der Öffnungs- und Schließzeiten von Kraftfahrzeug-Kraftstoffinjektoren zur Verwendung durch die elektronische Motorsteuereinheit, um auf diese Weise den Injektorhub genauer steuern zu können und dadurch die Motorleistung zu verbessern. Dieses Verfahren basiert auf der Analyse des Energiegehalts der Beschleunigung des Injektorkörpers, gemessen durch einen an dem Injektorkörper angebrachten Beschleunigungsmesser. Der Hauptnachteil dieses Verfahrens liegt darin, dass auf der Injektoröffnungsübergangszeit beruhende Injektorkörpervibrationen oft zum Schließzeitpunkt des Injektors nicht abgeklungen sind, wodurch die Unterscheidung zwischen der Öffnungs- und der Schließübergangszeit erschwert ist. Dies Verfahren erfordert darüber hinaus einen permanent an jedem Injektor angebrachten Beschleunigungsmesser.

**[0009]** DE 698 25 426 12 offenbart ein System zur Diagnose von beweglichen Maschinenteilen.

**[0010]** Die meist bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung basiert auf der Messung von Spannungswellen, die nur zu genau den Zeitpunkten erzeugt werden, zu denen das Injektorventil öffnet oder schließt. Daher überlappen sich bei der meist bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die auf diese beiden Ereignisse zurückgehenden Signale nicht und die Zeitpunkte des Öffnens und Schließens können mit hoher Genauigkeit und mit minimalem Rechenaufwand bestimmt werden.

Darüber hinaus liefert diese meist bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung numerisch genaue Messungen der Intensitäten der Öffnungs- und Schließübergänge des Injektorventils. Hierzu ist lediglich ein Sensor pro Motor erforderlich.

**[0011]** Im Gegensatz zu den bekannten und verbreitet angewandten Vibrationsmessungen sind Spannungswellenmessungen lediglich einem relativ kleinen Kreis von Fachleuten bekannt.

**[0012]** Der Begriff "Vibration" bezieht sich auf die Bewegung eines Körpers in einer Art und Weise, in der sich die gesamte Masse oder ein erheblicher Teil der Masse des Körpers bewegt. Bei einem Verbrennungsmotor zum Beispiel existieren erhebliche Vibrationen mit der Drehfrequenz der Kurbelwelle und mit der Motorzündfrequenz. Die Erregung von Motorvibrationen erfordert erhebliche Kräfte und die Vibrationsbewegung beinhaltet eine beträchtliche Energie.

**[0013]** Vibrationen können mit Beschleunigungsmessern gemessen werden, die an dem vibrierenden Körper angebracht sind. Ein piezoelektrischer Beschleunigungsmesser **5** ist in [Fig. 1](#) schematisch dargestellt. Der Sensor ist in einem Gehäuse **1** enthalten. Ein piezoelektrischer Kristall **2** ist am Boden des Gehäuses **1** angebracht. Eine Masse **3** ist an der Oberseite des piezoelektrischen Kristalls **2** befestigt. Wenn das Gehäuse **1** mit der Beschleunigung  $a$  in vertikaler Richtung vibriert, bringt die Masse **3** die Kraft  $m \times a$  auf den piezoelektrischen Kristall **2** auf, wobei  $m$  die in Masseneinheiten gemessene Größe der Masse **3** angibt. Die aufgebrachte Kraft erzeugt eine Belastung des piezoelektrischen Kristalls **2** und der Kristall erzeugt elektrische Ladung in Reaktion auf die Belastung. Die Ladung ist proportional zu der Kraft  $m \times a$  und daher auch proportional zu der Beschleunigung  $a$ . Elektrische Leitungen **4** können verwendet werden, um die elektrische Ladung mit einer in [Fig. 1](#) nicht dargestellten elektronischen Verarbeitungsschaltung zu verbinden, welche die Ladung in eine zur Beschleunigung  $a$  proportionale Spannung umwandelt.

**[0014]** Anders als Vibrationen sind Spannungswellen elastische Wellen, die in dem massiven Material enthalten sind, welches den Körper bildet. Diese Wellen werden durch Stöße des Körpers von kurzer Dauer erzeugt und bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 5000 m/s durch einen Metallkörper. Spannungswellen in Festkörpern können durch Stöße erzeugt werden, welche sehr geringe Kräfte involvieren, weshalb die erzeugten Wellen bei der Bewegung durch den stoßbeaufschlagten Körper sehr geringe Energiemengen involvieren. Beispielsweise können messbare Spannungswellen in einem Motorblock angeregt werden, indem dieser lediglich leicht mit einem Finger angetippt wird. Die Theorie der Erzeugung und Ausbreitung von Spannungswellen ist

in dem Buch "Stress Waves in Solids", Herbert Kolsky, Dover Publications 1963, im Detail erläutert.

**[0015]** Spannungswellen in Festkörpern können mit piezoelektrischen Sensoren, faseroptischen Sensoren, MEMS-Sensoren (Micro-Electric-Mechanical-System) oder anderen Spannungswellensensoren gemessen werden. [Fig. 2](#) ist eine schematische Darstellung eines piezoelektrischen Spannungswellensensors **9** nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Der Sensor ist in einem Gehäuse **6** aufgenommen. Das Erfassungselement ist ein piezoelektrischer Kristall **2**. Der piezoelektrische Kristall **2** ist fest an einer Blende **7** angebracht, welche auch den Boden des Gehäuses **6** bildet. Der Innenraum des Gehäuses **6** ist mit einem Füllmaterial **8** gefüllt, um den piezoelektrischen Kristall **2** in Position zu halten und Vibrationen der inneren Bauteile des Sensors zu verhindern. Wenn eine Belastung **10** auf die Blende **7** aufgebracht wird, erreicht diese Belastung den piezoelektrischen Kristall **2**, welcher eine zu der Belastung **10** proportionale elektrische Ladung erzeugt. Die elektrische Ladung wird mittels Signalleitungen **4** mit einer in [Fig. 2](#) nicht dargestellten elektronischen Verarbeitungsschaltung verbunden. Es sei darauf hingewiesen, dass [Fig. 2](#) lediglich eine schematische Darstellung ist, in welcher Designetails nicht dargestellt sind, die für eine Messung von Spannungswellen mit hoher Verstärkung und geringem Rauschen erforderlich sind.

**[0016]** Der Spannungswellensensor **9** in [Fig. 2](#) weist Ausbildungsmerkmale auf, die seine Reaktion auf Beschleunigungen vernachlässigbar machen. Diese Merkmale umfassen die Wahl des Kristallmaterials, die Form des Kristalls und die Verwendung von Füllmaterial **8**. Führt der Spannungswellensensor **9** eine Bewegung aus, die eine Beschleunigung involviert, leiten die Signalleitungen **4** daher kein auf die Beschleunigung zurückgehendes messbares Ladungssignal.

#### Überblick über die Erfindung

**[0017]** Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein einfaches, kostengünstiges und numerisch genaues Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung zum Erkennen des Ausfalls und der Leistungsver schlechterung von Kraftstoffinjektoren in Verbrennungsmotoren zu schaffen. Das Verfahren und die Vorrichtung nach der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung können eingesetzt werden, selbst wenn die Leistungsver schlechterung des Kraftstoffinjektors gering ist und/oder die Kraftstoffinjektoren unter oder hinter Motorteilen verborgen sind.

**[0018]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen der Ansprüche, 1, 13, 17, 28, 33 bzw. 36 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

**[0019]** In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel schafft die Erfindung ein Verfahren zum Überwachen der durch Stöße der Nadel des Kraftstoffinjektors beim Aktivieren und Deaktivieren des Injektors erzeugten Spannungswellen, und zum Bestimmen des Zustands des Injektors durch Vergleichen der Spannungswellenintensitätssignale während des Aktivierens und des Deaktivierens mit denjenigen anderer Injektoren in dem Motor oder mit dokumentierten Charakteristiken eines als in gutem Betriebszustand bekannten Injektors oder mit Signalen des selben Injektors, die während vorangegangenen Inspektionen gesammelt und gespeichert wurden. Darüber hinaus kann das bevorzugte Verfahren dazu verwendet werden, die Zeit, während welcher das Injektornadelventil offen war, genau zu messen. Vorzugsweise werden die von einem zu testenden Injektor, der unter oder hinter Motorteilen verborgen ist, erzeugten Spannungswellen mittels Wellenleitern zu einer Stelle geleitet, die für einen Spannungswellensensor erreichbar ist, wodurch das Testen von unter oder hinter Motorteilen verborgenen Injektoren ermöglicht ist.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**[0020]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, welche zeigen:

**[0021]** [Fig. 1](#) eine Schnittdarstellung eines piezoelektrischen Beschleunigungsmessers,

**[0022]** [Fig. 2](#) eine Schnittdarstellung eines piezoelektrischen Spannungswellensensors,

**[0023]** [Fig. 3](#) eine Schnittdarstellung eines herkömmlichen elektromagnetisch betätigten Kraftstoffinjektor für Verbrennungsmotoren,

**[0024]** [Fig. 4](#) eine Schnittdarstellung eines Kraftstoffinjektors mit einem modifizierten Körper und versehen mit einem Wellenleiter für Spannungswellen, nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**[0025]** [Fig. 5](#) eine Schnittdarstellung eines Kraftstoffinjektors mit einem nicht modifizierten Körper, jedoch mit einem Adapter zur Befestigung eines Spannungswellenleiters an dem Injektorkörper, nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**[0026]** [Fig. 6](#) den Aufbau für die Inspektion eines mit einem Spannungswellenleiter versehenen Kraftstoffinjektors nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**[0027]** [Fig. 7](#) ein Diagramm der von einem Kraftstoffinjektor erzeugten und gemäß einem bevorzugten

Ausführungsbeispiel der Erfindung gemessenen Spannungswellen,

**[0028]** [Fig. 8](#) den Aufbau für die Inspektion mehrerer Kraftstoffinjektoren mit mehreren Spannungswellenleitern nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**[0029]** [Fig. 9](#) den Aufbau für die Inspektion mehrerer Kraftstoffinjektoren mit einem einzigen Spannungswellenleiter und einem einzigen Spannungswellensensor nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**[0030]** [Fig. 10](#) den Aufbau für die Inspektion mehrerer Kraftstoffinjektoren, wobei die Kraftstoffverteilerleiste als Spannungswellenleiter dient, und mit einem einzigen Spannungswellensensor nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**[0031]** [Fig. 11](#) den Aufbau für die Inspektion mehrerer Kraftstoffinjektoren mit einem in einen Kabelbaum integrierten Spannungswellenleiter und einem einzigen Spannungswellensensor nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung, und

**[0032]** [Fig. 12](#) den Aufbau für die Inspektion eines Kraftstoffinjektor mit einem lösbaren Spannungswellenleiter nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

#### Detaillierte Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels

**[0033]** [Fig. 3](#) zeigt einen herkömmlichen Kraftstoffinjektor **11**. Der Injektorkörper **12** enthält eine axial bewegbare Injektornadel **14** und eine Elektromagnetspule **16**, die an dem Injektorkörper **12** angebracht ist. Der Elektromagnetanker **18** ist an der Injektornadel **14** angebracht. Wenn der Injektor **11** durch Anlegen einer Spannung an die Elektromagnetkontakte **20** und **22** aktiviert wird, zieht der in der Elektromagnetspule **16** erzeugte Magnetfluss den Elektromagnetanker **18** in Richtung der Mitte der Elektromagnetspule **16**. Die Position der Injektornadel **14** bei aktiviertem Injektor **11** ist durch den Nadelanschlag **24** bestimmt, der in Anlage mit dem Injektorkörperanschlag **26** am Injektorkörper **12** gelangt.

**[0034]** [Fig. 3](#) zeigt den herkömmlichen Kraftstoffinjektor **11** im aktivierten Zustand. Die Nadeldichtfläche **28** ist von der Öffnung **30** beabstandet, so dass Kraftstoff **32** durch die Öffnung **30** gespritzt werden kann. Der Kraftstoff **32** wird druckbeaufschlagt durch den Injektoreinlass **34** und durch innere Durchlässe im Injektorkörper **12**, die in der [Fig. 3](#) nicht dargestellt sind, zugeführt. Der Injektoreinlass **34** ist mit einer Kraftstoffpumpe über eine Kraftstoffverteilerleiste (engl. fuel rail) verbunden, welche in [Fig. 3](#) nicht dargestellt ist. Die Dichtung **36** bewirkt die Abdichtung

zwischen dem Injektorkörper **12** und der Kraftstoffverteilerleiste. Die Dichtung **38** bewirkt die Abdichtung zwischen den Injektorkörper **12** und dem Verbrennungsmotor, der in der [Fig. 3](#) nicht dargestellt ist.

**[0035]** Wenn der Injektor **11** durch das Trennen der an die Elektromagnetkontakte **20** und **22** angelegten Spannung deaktiviert wird, bewegt eine Feder **40** die Injektornadel **14** in Richtung der Öffnung **30** und die Ventildichtfläche **28** schließt den Einlass in die Öffnung **30**. Im deaktivierten Zustand des Injektors **11** wird kein Kraftstoff **32** durch die Öffnung **30** gespritzt.

**[0036]** Der Injektor **11** ist in der [Fig. 3](#) mit elektromagnetischen Ventilbetätigungseinrichtungen dargestellt. Für den Fachmann auf diesem Gebiet ist es jedoch ersichtlich, dass die Erfindung auch auf Injektoren mit anderen Betätigungseinrichtungen, wie beispielsweise piezoelektrische, magnetostruktive, pneumatische oder mechanische Betätigungseinrichtungen, und auf eine Betätigung durch Kraftstoffdruck anwendbar ist. Ferner ist der Injektor **11** in der [Fig. 3](#) mit einer Art von Öffnung **30** und einer Art von Nadeldichtfläche **28** dargestellt. Jedoch ist es für den Fachmann auf diesem Gebiet ersichtlich, dass die Erfindung auch auf Injektoren mit einem beliebigen anderen Typ von Öffnung und Dichtfläche anwendbar ist, beispielsweise eine kugelförmige Nadeldichtfläche **28**, eine ebene Nadeldichtfläche **28** und eine Ausbildung mit einer konischen Öffnung **30** und einer konischen Dichtfläche **28**.

**[0037]** [Fig. 4](#) zeigt einen Kraftstoffinjektor **60** nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Ein Spannungswellenleiter **62** aus Metall, Kunststoff oder einem anderen geeigneten Material ist an dem modifizierten Injektorkörper **13** mittels eines Stopfens **64** angebracht. Der Stopfen **64** drückt den Wellenleiterflansch **66** in den modifizierten Injektorkörper **13**, so dass Spannungswellen, welche zu dem Zeitpunkt erzeugt werden, zu dem der Nadelanschlag **24** bei aktiviertem Injektor **60** gegen den Injektorkörperanschlag **26** schlägt, oder wenn die Nadeldichtfläche **28** bei deaktiviertem Injektor **60** gegen die Öffnung **30** schlägt, sich in den Wellenleiter **62** ausbreiten können.

**[0038]** Der Wellenleiter **62** ist gegen Spannungswellen, die ihren Ursprung nicht in dem Injektorkörper **13** haben, durch eine Hülse **68** geschützt, die aus im Wesentlichen weichem und wärmebeständigem Material, wie beispielsweise Silikonschaumgummi, besteht. Am Ende des Wellenleiters **62** befindet sich eine Sensorbefestigungsfläche **70**. Ein an der Sensorbefestigungsfläche **70** angebrachter Spannungswellensensor kann daher Spannungswellen messen, welche der Injektor **60** beim Aktivieren und Deaktivieren erzeugt und welche sich entlang dem Wellenleiter **62** in die Sensorbefestigungsfläche **70** ausbreiten.

**[0039]** Für den Fachmann auf diesem Gebiet ist es ersichtlich, dass die Erfindung auch auf jeden anderen Typ von Befestigung eines Spannungswellenleiters an einem Kraftstoffinjektorkörper, beispielsweise einen mit einem Gewinde versehenen Wellenleiterende, einen Passsitz, eine Klemme und eine Befestigung mittels Klebern wie Epoxidharz, anwendbar ist. Ein besonders wichtiges alternatives Verfahren zum Befestigen eines Spannungswellenleiters an einem Kraftstoffinjektor ist die Befestigung mittels eines Adapters, der auf einen standardmäßigen nicht modifizierten Injektor passt. Somit kann ein Kraftstoffinjektor nach einer bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung durch das Anbringen eines Zusatzteils an einem Standardinjektor ausgebildet werden. [Fig. 5](#) zeigt einen Kraftstoffinjektor **61** nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung und mit einer Wellenleiterbefestigung nach einem derartigen alternativen Verfahren. Ein Adapter **42** ist durch Presspassung, eine oder mehrere Schrauben oder ein anderes Mittel eng anliegend an dem Injektorkörper **12** angebracht. Der Wellenleiter **62** ist an dem Adapter **42** mittels eines Stopfens **64** befestigt. Der Stopfen **64** presst den Wellenleiterflansch **66** in den Adapter **42**. Da die Grenzflächen zwischen dem Injektorkörper **12** und dem Adapter **42** und zwischen dem Adapter **42** und dem Wellenleiterflansch **66** dicht aneinander liegen, können sich die aus dem Injektorkörper **12** stammenden Spannungswellen ohne wesentlichen Intensitätsverlust in den Wellenleiter **62** ausbreiten. Dieses alternative Verfahren des Befestigen eines Spannungswellenleiters an einem Kraftstoffinjektor kann auf Injektoren angewendet werden, die ursprünglich nicht für die Zustandsüberwachung durch Spannungswellenmessung nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ausgelegt waren.

**[0040]** Der in der [Fig. 4](#) dargestellte Kraftstoffinjektor **60** oder der in der [Fig. 5](#) dargestellte Kraftstoffinjektor **61** können unter dem Luftansaugkrümmer des Motors angeordnet oder unter bzw. hinter anderen Motorteilen verborgen sein. Solange jedoch die Sensorbefestigungsfläche **70** erreichbar ist, kann der Kraftstoffinjektor **60** oder **61** leicht und genau von einem Techniker inspiziert werden. [Fig. 6](#) zeigt den Aufbau für das Testen eines Injektors gemäß der vorliegenden Erfindung. Der Injektor **63** ist an dem Motor **90** befestigt. Das Motorteil **100**, das für den Luftansaugkrümmer oder ein anderes Motorteil steht, behindert den Zugang zu dem Injektor **63**. Die Kraftstoffverteilerleiste **94** liefert druckbeaufschlagten Kraftstoff an den Injektor **63** und andere Injektoren des Motors, und ein Stromkabelbaum **96** führt elektrischen Strom, der von der Kraftstoffeinspritzsteuerung des Motors gesteuert wird und den Injektor **63** betätigt. Der Wellenleiter **62** ist ausreichend lang, so dass sich die Sensorbefestigungsfläche **70** außerhalb des durch das Motorteil **100** versperrten Bereichs befindet. Der Wellenleiter **62** kann kurz sein,



etwa 10 cm, oder lang, etwa 1 m, je nach der Größe des versperrenden Motorteils **100**. Der Wellenleiter **62** kann in jede beliebige Form gebogen werden, die erforderlich ist, um von der versperrten Stelle, an der sich der Injektor **63** befindet, bis zu einer erreichbaren Stelle zu reichen. Dies ist der Fall, da sich Spannungswellen durch Wellenleiter jeglicher Form gut ausbreiten.

**[0041]** Ein Spannungswellensensor **80** ist an der Sensorbefestigungsfläche **70** angebracht dargestellt. Der Sensor **80** wird von dem Techniker, welcher den Injektor **63** testet, an der Sensorbefestigungsfläche **70** vorübergehend mittels eines Magneten, einer Feder oder anderen Mitteln angebracht. Der Sensor, vorzugsweise eine piezoelektrische Vorrichtung, die bei mechanischer Belastung elektrische Ladung erzeugt, ist mit einer Eigenfrequenz versehen, die sehr viel höher als jegliche zwangsweise herbeigeführte oder natürliche Vibrationsfrequenz des Motors **90**, sämtlicher seiner Teile und des Kraftstoffinjektors **63** ist. Der Sensor **80** kann die Form des in der [Fig. 2](#) dargestellten piezoelektrischen Sensors **9** aufweisen. Der Sensor **80** misst zwei Arten von Signalen. Signale der ersten Art sind Spannungswellen aufgrund von zwangsweise verursachten oder natürlichen Vibrationen des Motors **90**, sämtlicher seiner Teile und des Injektors **63**. Diese Signale haben einen relativ niedrigen Frequenzgehalt. Signale der zweiten Art sind Spannungswellen, welche den Wellenleiter **62** zu den Zeitpunkten durchlaufen, zu denen der Injektor **63** aktiviert oder deaktiviert wird. Wenn die von dem Injektor **63** erzeugte Spannungswelle den Spannungswellensensor **80** erreicht, wirkt er als eine auf den Sensor **80** aufgebrachte Impulserregung von sehr kurzer Dauer. Ein Impuls von sehr kurzer Dauer hat eine sehr hohe Frequenzgehalt und erregt eine Hochfrequenzreaktion des Sensors **80**. Für den Fachmann auf diesem Gebiet ist ersichtlich, dass der Sensor **80** auf anderen Prinzipien als der Piezoelektrizität basieren kann, solange er hochfrequente Spannungswellen messen kann.

**[0042]** Ein Kabel **82** leitet die beiden Arten von Signalen, welche der Sensor **80** misst, zu einem Filtermodul **84**. Das Modul **84** führt zunächst eine Hochpassfilterung der eingehenden Signale mit einer höher als die höchste Motorvibrationsfrequenz eingestellten Eckfrequenz durch. Dieser Filtervorgang filtert sämtliche Signale der ersten Art aus, d. h. Spannungswellen aufgrund von zwangsweise erzeugten und natürlichen Vibrationen des Motors **90**, sämtlicher seiner Teile und des Injektors **63**. Die einzigen nach der Hochpassfiltersufe verbleibenden Signale sind diejenigen, die durch Impulserregungen des Sensors **80** erzeugt werden, welche ihrerseits von durch das Aktivieren und das Deaktivieren des Kraftstoffinjektors **63** verursachten Spannungswellen erzeugt werden. Das Modul **84** verstärkt sodann das hochpassgefilterte Signal, führt eine Gleichrichtung

durch und extrahiert die Hüllkurve des gleichgerichteten Signals, so dass nur die Niederfrequenzhüllkurve der gleichgerichteten Hochfrequenzreaktion auf die Impulserregung verbleibt. Das Extrahieren der Hüllkurve erfolgt mittels eines Tiefpassfilters. Das Niederfrequenzsignal, welches das Modul **84** verlässt, wird durch ein Kabel **86** einer Anzeige **88** zugeführt, bei der es sich um ein Oszilloskop oder eine digitale Vorrichtung handeln kann, welche mit einem Analog-Digital-Wandler versehen ist. Die Anzeige **88** in der [Fig. 6](#) zeigt ein typisches Injektorsignal **89**.

**[0043]** Eine vergrößerte Darstellung des Injektorsignals **89** der Anzeige **88** ist in [Fig. 7](#) dargestellt. Es besteht aus zwei Peaks, die durch die Zeit  $T$  voneinander getrennt sind. Der erste Peak ist auf die Aktivierung des Kraftstoffinjektors **63** zurückzuführen und seine Intensität ist  $P_1$ . Der zweite Peak ist auf das Deaktivieren des Kraftstoffinjektors **63** zurückzuführen und seine Intensität ist  $P_2$ . Der Zeitabstand  $T$  zwischen den beiden Peaks ist die Zeitspanne, über die der Injektor **63** geöffnet war und Kraftstoff eingespritzt hat. Bei einem typischen im Leerlauf arbeitenden Kraftfahrzeugmotor beträgt  $T$  mehrere Millisekunden.

**[0044]** Die drei aus dem Injektorsignal **89** in [Fig. 7](#) ablesbaren Parameter,  $P_1$ ,  $P_2$  und  $T$ , sind Angaben, die Informationen über den Funktionszustand des Injektors **63** enthalten. Diese drei Angaben können mit Nennwerten verglichen werden, welche einem Injektor in gutem Funktionszustand entsprechen. Wenn ferner mehr als ein Injektor in einem Motor getestet wird, kann ein Techniker die drei Indikatoren unter sämtlichen getesteten Injektoren vergleichen. Im gleichmäßigen Leerlaufzustand weisen sämtliche Injektoren, die sich in gutem Zustand befinden, im Wesentlichen ähnliche Spannungswellensignale und im Wesentlichen ähnliche aus den Signalen berechnete Indikatoren auf. Zündet ein Motor falsch und weichen die Indikatoren eines Injektors von den Indikatoren der anderen Injektoren ab, so kann der Techniker mit einem hohen Grad an Sicherheit feststellen, dass ein Injektor nicht korrekt arbeitet. Beispielsweise können eine fehlerhafte Elektromagnetspule und Verunreinigungen bewirken, dass die Stoßindikatoren  $P_1$  und  $P_2$  niedriger sind, und sie können bewirken, dass die Öffnungszeit  $T$  entweder kürzer oder länger als bei einem Injektor in gutem Funktionszustand ist. Eine fehlerhafte elektrische Schaltung, die Strom an die Elektromagnetspule liefert, kann bewirken, dass die Stoßindikatoren  $P_1$  und  $P_2$  niedriger sind.

**[0045]** Die drei von der Anzeige **88** in [Fig. 6](#) ablesbaren und in [Fig. 7](#) dargestellten Injektorindikatoren  $P_1$ ,  $P_2$  und  $T$  können auch automatisch bestimmt werden, wenn es sich bei der Anzeige **88** um eine Vorrichtung mit Rechenfähigkeiten handelt. Im Folgenden sei der die Schritte a–g umfassende Berechnungsalgorithmus zum automatischen Bestimmen

der drei Indikatoren aus einem Signal wie dem in [Fig. 7](#) dargestellten Signal dargelegt.

a. Auffinden dreier benachbarter Kandidatenpeaks  $P_i$ , welche  $n_1$  Signalepunkte unmittelbar links von  $P_i$  aufweisen, wobei diese niedriger als  $P_i$  sind, und welche  $n_1$  Signalepunkte unmittelbar rechts von  $P_i$  aufweisen, die niedriger als  $P_i$  sind. Der Parameter  $n_1$  ist derart eingestellt, dass  $n_1 \times \Delta t$  ungefähr 0,3 Millisekunden beträgt, wobei  $\Delta t$  der Abtastzeitraum des Spannungswellensignals ist.

b. Für jeden Kandidatenpeak  $P_i$ , Berechnen des Durchschnitts von  $n_2$  Signalepunkten links von den  $n_1$  Signalepunkten, die sich vor dem Peak befinden, und Bezeichnen des berechneten Durchschnitts als  $g_1$ . Der Parameter  $n_2$  ist derart eingestellt, dass  $n_2 \times \Delta t$  ungefähr 0,3 Millisekunden beträgt.

c. Für jeden Kandidatenpeak  $P_i$ , Berechnen des Durchschnitts von  $n_2$  Signalepunkten rechts von den  $n_1$  Signalepunkten hinter dem Peak und Bezeichnen des berechneten Durchschnitts als  $g_2$ .

d. Wenn  $r \times g_1 < P_i$  und  $r \times g_2 < P_i$  ist, so ist der Kandidatenpeak  $P_i$  ein gültiger Peak. Der Parameter  $r$  ist auf ungefähr 4 eingestellt und gewährleistet, dass der Peak  $P_i$  erheblich höher ist als die ihn umgebenden Punkte.

e. Wenn weniger als drei Peaks gültige Peaks sind, Fortsetzen des Prüfens der Peaks, bis drei gültige benachbarte Peaks gefunden sind.

f. Auswählen der beiden einander nächste Peaks unter den drei gefundenen gültigen Peaks. Diese beiden Peaks, die als  $P_1$  und  $P_2$  bezeichnet werden, sind die Öffnungs- und Schließübergangszeiten des Injektors.

g.  $P_1$ ,  $P_2$  und  $T = t(P_2) - t(P_1)$  sind die drei Injektorindikatoren, wobei  $t(P_i)$  die Dauer des Peaks  $P_i$  angibt.

**[0046]** Für den Fachmann auf diesem Gebiet ist es ersichtlich, dass andere ähnliche Formen dieses Algorithmus existieren, welche dennoch den gleichen Grundalgorithmus zum Bestimmen der Injektorindikatoren  $P_1$ ,  $P_2$  und  $T$  ausdrücken.

**[0047]** [Fig. 8](#) zeigt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem drei Kraftstoffinjektoren **91**, **92** und **93** mit gewidmeten Spannungswellenleitern **101**, **102** und **103** versehen sind. Jeder Wellenleiter endet mit einer Sensorbefestigungsfläche, die nicht durch ein blockierendes Motorteil **100** versperrt ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel können die drei Injektoren die drei unzugänglichen Injektoren in einem V6-Motor oder drei Injektoren aus einer beliebigen Anzahl unzugänglicher Injektoren einer beliebigen Motorkonfiguration sein. [Fig. 8](#) zeigt das Testen des Kraftstoffinjektors **91** mittels des Spannungswellensensors **80**, welcher an der Sensorbefestigungsfläche **106** des Wellenleiters **101** angebracht ist. Ein Sensor kann zum Testen sämtlicher Kraftstoffinjektor-

ren eines Motors verwendet werden, indem er zu anderen Sensorbefestigungsflächen verbracht wird. Aus Gründen der Übersichtlichkeit zeigt [Fig. 8](#) nicht die Injektor-Kraftstoffverteilerleiste oder den Stromkabelbaum des Injektors.

**[0048]** [Fig. 9](#) zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem drei Kraftstoffinjektoren **91**, **92** und **93** an dem Motor **90** angebracht sind. Bei diesem Ausführungsbeispiel können die drei Injektoren die drei unzugänglichen Injektoren eines V6-Motors oder drei Injektoren aus einer beliebigen Menge von unzugänglichen Injektoren einer beliebigen Motorkonfiguration darstellen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit zeigt [Fig. 9](#) nicht die Injektor-Kraftstoffverteilerleiste oder den Stromkabelbaum des Injektors. Sämtliche drei Injektoren **91**, **92** und **93** in [Fig. 9](#) sind mit einem Wellenleiter **74** gekoppelt, welcher eine Sensorbefestigungsfläche **76** aufweist. Der in [Fig. 9](#) dargestellte Motor sei ein Motor vom Typ mit sequentieller Multi-Port Kraftstoffeinspritzung. Bei dieser Art von Motor werden die Injektoren sequentiell (nacheinander) aktiviert, so dass bei im Leerlauf betriebenen Motor, erhebliche Zeit zwischen dem Deaktivieren eines Injektors und dem Aktivieren des nächsten Injektors verstreicht. Der von einem Techniker an der Sensorbefestigungsfläche **76** angebrachte Sensor **80** erfasst die Aktivierungs- und Deaktivierungsstöße sämtlicher drei Injektoren **91**, **92** und **93**. Die Stöße sind zeitlich getrennt, da die Injektoren sequentiell aktiviert werden. Befindet sich einer der Injektoren nicht in einem guten Zustand, erkennt der Techniker auf der Anzeige, dass sich seine Signatur von den Signaturen der anderen beiden Injektoren unterscheidet. Jedoch kann der Techniker ohne zusätzliche Informationen nicht wissen, welcher der drei Injektoren die Signatur erzeugt hat, die den fehlerhaften Betrieb angibt.

**[0049]** Um dieses Injektoridentifizierungsproblem zu lösen, verwendet ein Ausführungsbeispiel der Erfindung eine Motor-Kraftstoffinjektorsteuereinrichtung **95**, die ein wählbares injektor-spezifisches Triggersignal **98** erzeugt. Eine Injektorwähleinrichtung **97** ermöglicht es dem Techniker, mittels eines manuellen Schalters oder anderer Einrichtungen den Injektor zu wählen, den er anzeigen lassen möchte. Bei dem Beispiel in [Fig. 9](#) ist die Injektorwähleinrichtung **97** in der Position **2** dargestellt, welche dem Injektor **92** entspricht. Die Motor-Kraftstoffinjektorsteuereinheit **95** gibt sodann das gewählte injektor-spezifische Triggersignal **98** zu einem genauen Zeitpunkt, beispielsweise 1 Millisekunde, bevor sie Aktivierungsstrom an den von dem Techniker mittels der Injektorwähleinrichtung **97** gewählten leitet, aus. Die Anzeige **99** empfängt über die Leitung **86** das verarbeitete Sensorsignal, welches die Aktivierungs- und Deaktivierungsstöße sämtlicher drei Injektoren **91**, **92** und **93** enthält. Die Anzeige **99** empfängt ferner das injektor-spezifische Triggersignal **98**. Bei Ankunft des in-

jektor-spezifischen Triggersignals **98** erfasst die Anzeige **99** ein kurzes Segment, beispielsweise 20 Millisekunden, des über die Leitung **86** eingehenden Signals und zeigt dieses an. Da die Zylinder des Motors nicht zur selben Zeit zünden, erfasst die Anzeige **99** nur den Aktivierungs- und den Deaktivierungsstoß des einen gewählten Injektors **92** und zeigt diese Stöße an. Durch Verändern der Einstellung der Injektorwähleinrichtung **97** kann der Techniker Signale der drei Injektoren **91**, **92** und **93** jeweils einzeln anzeigen lassen und feststellen, ob einer davon einen schlechten Funktionszustand aufweist.

**[0050]** Alternativ ist es ebenfalls möglich, die Injektorwahl ohne die in [Fig. 9](#) dargestellte gewidmete Injektorwähleinrichtung **97** vorzusehen. Das Triggersignal **98** kann von einer Klemmstromsonde geliefert werden, welche der Techniker an ein Kabel anschließt, welcher Strom zu dem zu überwachenden Injektor leitet. Die Stromsonde erzeugt sodann das Triggersignal **98** entsprechend dem Injektorkabel, an dem sie angebracht ist. Alternativ kann das Triggersignal **98** durch eine andere Einrichtung zur Erfassung von Strom oder Spannung in einem zu einem Injektor führenden Kabel erzeugt werden.

**[0051]** Ein weiteres Verfahren zur Lösung des Injektoridentifizierungsproblems ohne die gewidmete Injektorwähleinrichtung **97** besteht darin, dass die Kraftstoffeinspritzsteuerungseinheit **95** das Signal **98** mit einem Injektoridentifizierungscode moduliert, sobald ein beliebiger Injektor aktiviert wird. Beispielsweise könnte das Signal **98** die Nummer des aktivierten Injektors angeben, die über eine serielle digitale Leitung übertragen wird. Alternativ kann das Signal **98** ein analoges Signal sein, das einen Spannungspegel aufweist, welcher die Nummer des aktivierten Injektors angibt, oder das Signal **98** könnte die Injektornummer unter Verwendung eines beliebigen Codierungsschemas enthalten. In diesen Fällen würde die Anzeige **99** ein Interface zum Lesen, Verarbeiten und Anzeigen des Injektoridentifizierungscodes des Signals **98** aufweisen. Bei einem Ausführungsbeispiel könnte die Anzeige **99** das Signal **98** decodieren und die Nummer des Injektors numerisch anzeigen, der einen Injektoraktivierungsstoßpeak nahe dem auf der Anzeige gezeigten Peak erzeugt hat. Für den Fachmann auf diesem Gebiet ist ersichtlich, dass die Erfindung auch mit anderen möglichen Verfahren, entweder digitaler oder analoger Art, anwendbar ist, welche es der Kraftstoffeinspritzsteuerungseinheit **95** ermöglichen, die Nummer des aktivierten Injektors an die Anzeige **99** zu übertragen.

**[0052]** Der Aufbau nach [Fig. 9](#) kann auch zum Messen der Reaktionsgeschwindigkeit von Injektoren verwendet werden. Die Anzeige **99** kann so programmiert werden, dass sie sowohl eine Zeitmarke, welche dem Moment entspricht, zu dem Strom dem Injektor zugeleitet wird, als auch ein Signal **89** anzeigt.

Die Zeitdifferenz zwischen der Zeitmarke und dem Peak  $P_1$  ist die Injektoraktivierungszeitverzögerung  $d_1$ . Sie kann mit einer maximalen zulässigen Verzögerung oder mit Zeitverzögerungen der anderen Injektoren verglichen werden. Ein Injektor in gutem Zustand hat eine Zeitverzögerung, die kürzer als eine maximale zulässige Verzögerung ist. In ähnlicher Weise kann auch die Injektordeaktivierungsverzögerung  $d_2$  gemessen werden, welche als die Zeitverzögerung zwischen dem Zeitpunkt der Unterbrechung der Stromzufuhr zu dem Injektor und dem Zeitpunkt des Peaks  $P_2$  definiert ist. Diese beiden Zeitverzögerungen seien mit  $d_1$  bzw.  $d_2$  bezeichnet. Sie können zu den drei zuvor definierten Injektorleistungsindikatoren  $P_1$ ,  $P_2$  und  $T$  hinzugefügt werden. Somit kann der Zustand eines Injektors durch die fünf Indikatoren  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $T$ ,  $d_1$  und  $d_2$  zusammengefasst werden.

**[0053]** Ferner kann die Anzeige **99**, falls sie digital ausgeführt ist, Funktionen bieten, welche es dem Techniker ermöglichen, Injektoren miteinander oder mit einem Standard zu vergleichen. Beispielsweise kann die Anzeige **99** acht oder mehr Bildschirmspeicherfunktionstasten aufweisen, um Motoren mit bis zu acht Zylindern oder mehr zu prüfen. Wenn der Techniker beispielsweise das Signal des Injektors für den Zylinder Nr. 1 erfasst, kann er die Taste Nr. 1 drücken und das angezeigte Signal speichern. Auf ähnliche Weise kann er Signale von Injektoren für alle anderen Zylinder des Motors speichern. Mittels einer Aufruffunktionstaste an der Anzeige **99** kann er sodann gleichzeitig jede Nummer von Injektorsignalen gleichzeitig, jedes in einer anderen Farbe oder einem anderen Linientyp, anzeigen lassen. Er kann ferner ein Standardsignal anzeigen lassen, das einem Injektor in gutem Zustand entspricht. Eine Scroll-Taste an der Anzeige **99** kann es dem Techniker ermöglichen, die angezeigten Signale horizontal abzuscrollen, um sie auf die Zeit bezogen anzuordnen. Auf diese Weise kann ein Techniker auf einfache Weise einen Injektor erkennen, der eine Fehlfunktion aufweist, da sein Signal sich von den Signalen, die von den anderen Injektoren erzeugt werden, oder von dem Standardsignal unterscheidet.

**[0054]** Die Anzeige **99** kann ferner Datenspeichereinrichtungen umfassen, welche Injektorsignaturdaten speichern können, welche zu unterschiedlichen Zeiten gesammelt wurden, wodurch ein Leistungstrend über die Zeit erstellt werden kann. Beispielsweise können die Signaturen sämtlicher Injektoren in einem Motor bei jeder Durchführung einer planmäßigen Wartung gespeichert werden. Entwickelt ein Motor ein Leistungsproblem, beispielsweise das Fehlzünden von Zylindern, können Signaturen sämtlicher Injektoren erhalten und mit ihren jeweiligen Signaturen aus der jüngsten planmäßigen Wartung verglichen werden, bei welcher der Motor keine Fehlzündungen aufwies. Hierdurch wird ein ausfallender Injektor, der die Ursache des Problems ist, unmittelbar



identifiziert. Die Datenbank der vergangenen Signaturen der Injektoren kann in der Anzeige **99** liegen, oder sie kann auf einem Zentralrechner in dem Wartungsbetrieb implementiert sein, mit welchem sämtliche Instrumente vernetzt sind.

**[0055]** Nach einem anderen bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Wellenleiterfunktion von **Fig. 9** durch die Kraftstoffverteilerleiste wahrgenommen werden. Die Kraftstoffverteilerleiste besteht üblicherweise aus einem Material, das Spannungswellen gut überträgt, und sie verbindet mehrere Injektoren in Verbrennungsmotoren. Die in der **Fig. 10** dargestellte Kraftstoffverteilerleiste **114** verbindet die Injektoren **111** und **112** miteinander. Die Injektoren **111** und **112** und die Kraftstoffverteilerleiste **114** sind so ausgebildet, dass sie dicht anliegende Grenzflächen bilden, die eine gute Ausbreitung von Spannungswellen von den Injektoren zu der Kraftstoffverteilerleiste ermöglichen. Die Sensorbefestigungsfläche **116** ist an der Kraftstoffverteilerleiste **114** angebracht, um die Befestigung des Sensors **117** an der Kraftstoffverteilerleiste zu vereinfachen. Somit können die Funktionen des Wellenleiters **74** von **Fig. 9** durch die Kraftstoffverteilerleiste **114** von **Fig. 10** wahrgenommen werden, wodurch die Notwendigkeit eines separaten Wellenleiters und die Notwendigkeit von Injektoren mit Wellenleiterbefestigungseinrichtungen entfällt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit zeigt **Fig. 10** nicht den Stromkabelbaum, welcher die Injektoren verbindet.

**[0056]** Alternativ kann die Wellenleiterfunktion von **Fig. 9** von dem Stromkabelbaum wahrgenommen werden, welcher die elektrischen Leitungen enthält, welche die Injektoraktivierungsströme leiten. Der Kabelbaum verbindet in den meisten Verbrennungsmotoren mehrere Injektoren. **Fig. 11** zeigt einen Stromkabelbaum **124**, der die Injektoren **121** und **122** verbindet. Ein flexibler Wellenleiter **125** ist in den Kabelbaum **124** integriert und verbindet ebenfalls die Injektoren **121** und **122**. Ein enger Kontakt zwischen dem Wellenleiter **125** und den Injektoren **121** und **122** wird durch die Kabelbaumverbinder **128** und **129** geschaffen. Die Sensorbefestigungsfläche **126** ist mit einem Ende des Wellenleiters **125** verbunden, um das Anbringen des Sensors **127** an dem Wellenleiter zu vereinfachen. Somit können die Funktionen des Wellenleiters **74** der **Fig. 9**, von dem Wellenleiter **125** wahrgenommen werden, der wie in der **Fig. 11** dargestellt, in den Kabelbaum **124** integriert ist. Aus Gründen der Übersichtlichkeit zeigt **Fig. 11** keine Kraftstoffverteilerleiste.

**[0057]** Nach einer weiteren Alternative kann die Wellenleiterfunktion von **Fig. 9** von dem Ansaugkrümmer oder einem anderen Motorteil wahrgenommen werden, in welches die Injektoren eingesetzt sind. Vorzugsweise werden die Spannungswellen von den Injektoren über Rippen, welche an dem

Krümmerkörper ausgebildet sind, oder durch in die Wände des Krümmers eingebettete Wellenleiter, oder durch permanent an der Oberfläche des Krümmers angebrachte Wellenleiter zu einer Sensorbefestigungsfläche an dem Krümmer geleitet.

**[0058]** Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist der in **Fig. 4** dargestellte Wellenleiter **62** nicht permanent an dem Injektorkörper **13** angebracht. Bei diesem in **Fig. 12** dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine Einsetzführung **132** an einem beliebigen geeigneten Motorteil oder Karosserieteil derart permanent (d. h. während des normalen Motorbetriebs und während des Testens) angebracht, dass sich eines seiner Enden an einer erreichbaren Stelle befindet, während das andere Ende dem Injektor **131** nahe und diesem zugewandt ist. Jede geeignete Befestigungseinrichtung kann verwendet werden. **Fig. 12** zeigt die Befestigung der Einsetzführung **132** mittels Führungshaltern **133** und **134**. Der lösbare Wellenleiter **135** ist flexibel und ausreichend lang, so dass sein Ende beim Einführen in das erreichbare Ende der Einsetzführung **132** durch die Einsetzführung **132** hindurch bewegt werden kann und den Injektor **131** berühren kann. Wenn das Ende des Wellenleiters **135** in den Injektor **131** gedrückt wird, breiten sich in dem Injektor **131** erzeugte Spannungswellen in den Wellenleiter **135** aus und können mit dem Sensor **137** gemessen werden, der an der Sensorbefestigungsfläche **136** angebracht ist, welche sich am zugänglichen Ende des Wellenleiters **135** befindet. Ein Benutzer führt den Wellenleiter **135** nur beim Testen des Injektors **131** in die Einsetzführung **132** ein. **Fig. 12** zeigt dem entfernbaren Wellenleiter **135** im in die Einsetzführung **132** eingeführten Zustand und in Kontakt mit dem Injektor **131**. Aus Gründen der Klarheit zeigt die **Fig. 12** nicht die Kraftstoffverteilerleiste oder den Kabelbaum.

**[0059]** Eine typische Anwendung der beschriebenen Ausführungsbeispiele der Erfindung ist das Testen von Kraftstoffinjektoren bei einem im Leerlauf arbeitenden Motor. Jedoch existieren andere Verwendungsmöglichkeiten. Beispielsweise kann ein Techniker ein auf der vorliegenden Erfindung basierendes Instrument verwenden, um die Aktivierungs- und Deaktivierungsstöße sämtlicher Injektoren bei einem bestimmten Betriebszustand des Motors zu erfassen, beispielsweise bei einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit eines Kraftfahrzeugmotors. Die erfassten Signale können nach der Rückkehr des Fahrzeugs in den Wartungsbetrieb analysiert werden. Alternativ kann ein Motorsteuerungscomputer sämtliche Injektoren automatisch und kontinuierlich überwachen, sobald der Motor läuft, und sich anbahnende Injektorausfälle erkennen, bevor sie die Leistung des Motors beeinträchtigen. Diese kontinuierliche Messfunktion kann Teil eines On-Board-Diagnosesystems sein, wie beispielsweise OBD-II, welches in modernen Kraftfahrzeugen verwendet wird.

**[0060]** Eine weitere Verwendungsmöglichkeit der Ausführungsbeispiele der Erfindung besteht in der automatischen und kontinuierlichen Überwachung sämtlicher Injektoren, sobald der Motor läuft, und in der Verwendung der Informationen zur Feinabstimmung der die Aktivierungs- und Deaktivierungszeitsteuerung der Injektoren bestimmenden Steuerregeln in Echtzeit.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen mindestens eines Kraftstoffinjektors eines Motors, um festzustellen, ob der Kraftstoffinjektor korrekt funktioniert, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

(a) Vorsehen eines Spannungswellensensors zum Erfassen von Belastungsübergängen, welche zumindest einer der folgenden Intensitäten entsprechen: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors;

(b) Messen des Spannungswellensignals, das mindestens einer der folgenden Intensitäten entspricht: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors; und

(c) Auswerten des im Schritt (b) gemessenen Spannungswellensignals, um festzustellen, ob der mindestens eine Kraftstoffinjektor korrekt funktioniert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem:

(a) ein Algorithmus zum automatischen Analysieren des Spannungswellensignals verwendet wird, welches mindestens einer der folgenden Intensitäten entspricht: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors.

3. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit dem folgenden Schritt:

(a) funktionsmäßiges Verbinden eines Hochpassfilters mit dem Spannungswellensensor zum Ausfiltern von niederfrequenten Spannungswellen, welche von anderen Quellen als der gegen den ersten oder den zweiten Bereich des mindestens einen Kraftstoffin-

jektors stoßenden Kraftstoffinjektornadel erzeugt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, ferner mit den folgenden Schritten:

(a) funktionsmäßiges Verbinden eines Gleichrichters mit dem Hochpassfilter zum Gleichrichten des Ausgangs des Hochpassfilters; und

(b) funktionsmäßiges Verbinden eines Tiefpassfilters mit dem Gleichrichter, um den Ausgang des Gleichrichters einer Tiefpassfilterung zu unterziehen.

5. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit den folgenden Schritten:

(a) Messen der Spannungswellenintensität, welche der Intensität des Stoßes eines Teils der Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors; und

(b) Auswerten der im Schritt (a) gemessenen Spannungswellenintensität, um zu bestimmen, ob der mindestens eine Kraftstoffinjektor korrekt funktioniert.

6. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit dem folgenden Schritt:

(a) Vorsehen einer Anzeigeeinrichtung zum Anzeigen des Spannungswellensignals in Wellenform.

7. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit den folgenden Schritten:

(a) Bestimmen eines Zeitintervalls, welcher der Zeitspanne von einem Stoßen eines Teils der Kraftstoffinjektornadel gegen den ersten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors bis zu dem Stoßen eines Teils der Kraftstoffinjektornadel gegen den zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors entspricht; und

(b) Auswerten des in Schritt (b) von Anspruch 1 gemessenen Spannungswellensignals zusammen mit dem Zeitintervall, um festzustellen, ob der mindestens eine Kraftstoffinjektor korrekt arbeitet.

8. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit dem folgenden Schritt:

(a) Bestimmen einer Verzögerung der Aktivierung des mindestens einen Kraftstoffinjektors.

9. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit dem folgenden Schritt:

(a) Bestimmen einer Verzögerung der Deaktivierung des mindestens einen Kraftstoffinjektors.

10. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit den folgenden Schritten:

(a) Vorsehen mindestens eines Spannungswellenlei-

ters zum Übertragen von Spannungswellen, welche erzeugt werden durch den Stoß eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und/oder (ii) den Stoß eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, wobei der mindestens eine Spannungswellenleiter ein erstes und ein zweites Ende aufweist;

(b) funktionsmäßiges Verbinden des ersten Endes des Spannungswellenleiters mit dem mindestens einen Kraftstoffinjektor; und

(c) betriebsmäßiges Verbinden des zweiten Endes des Spannungswellenleiters mit dem Spannungswellensensor.

11. Verfahren nach Anspruch 10, ferner mit dem folgenden Schritt:

(a) Vorsehen eines Einsetzführungselements, das funktionsmäßig mit mindestens einem Motorteil verbunden ist, um das Einsetzen des Spannungswellenleiters in Kontakt mit dem mindestens einen Kraftstoffinjektor zu erleichtern.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem ferner (a) das Einsetzführungselement sowohl während des Testens, als auch während des Normalbetriebs des Motors funktionsmäßig mit dem mindestens einen Motorteil verbunden bleibt.

13. Verfahren zum Überwachen mindestens eines Kraftstoffinjektors eines Motors, wobei der Zugang zu dem mindestens einen Kraftstoffinjektor durch mindestens ein Motorteil versperrt ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

(a) Vorsehen eines ersten Wellenleiters mit einem ersten und einem zweiten Ende;

(b) funktionsmäßiges Verbinden des ersten Endes des ersten Wellenleiters mit mindestens einem Kraftstoffinjektor eines Motors, wobei der Zugang zu dem mindestens einen Kraftstoffinjektor durch mindestens ein weiteres Motorteil versperrt ist;

(c) Positionieren des zweiten Endes des ersten Wellenleiters derart, dass der Zugang zum zweiten Ende des ersten Wellenleiters nicht durch das mindestens eine andere Motorteil versperrt ist; und

(d) funktionsmäßiges Verbinden eines Spannungswellensensors mit dem zweiten Ende des ersten Wellenleiters zum Erfassen eines durch den ersten Wellenleiter übertragenen Spannungswellensignals, das zumindest einer der folgenden Intensitäten entspricht: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors.

14. Verfahren nach Anspruch 13, ferner mit dem folgenden Schritt:

(a) Bilden eines Ports in einem Bereich des Motors zur Aufnahme des ersten Endes des ersten Wellenleiters.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem:

(a) das Port entweder in (i) einem Körper mindestens eines Kraftstoffinjektors oder (ii) einem mit dem Körper des mindestens einen Kraftstoffinjektors in Kontakt stehenden Element ausgebildet ist.

16. Verfahren zum Überwachen mindestens eines Kraftstoffinjektors eines Motors, um festzustellen, ob der Kraftstoffinjektor korrekt arbeitet, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

(a) Bestimmen eines ersten Spannungswellenwerts, welcher der Stoßintensität eines Teils einer gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers stoßenden Kraftstoffinjektornadel beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors entspricht;

(b) Bestimmen eines zweiten Spannungswellenwerts, welcher der Stoßintensität eines Teils einer gegen einen zweiten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers stoßenden Kraftstoffinjektornadel beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors entspricht; und

(c) Auswerten des ersten Spannungswellenwertes und des zweiten Spannungswellenwertes, um festzustellen, ob der mindestens eine Kraftstoffinjektor korrekt funktioniert.

17. Verfahren zum Überwachen von mindestens zwei Kraftstoffinjektoren mit einem einzigen Spannungswellensensor, um festzustellen, ob die mindestens zwei Kraftstoffinjektoren korrekt funktionieren, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

(a) Vorsehen eines ersten Spannungswellensensors zum Erfassen mindestens eines Zustands der mindestens zwei Kraftstoffinjektoren;

(b) gleichzeitiges Verbinden des ersten Spannungswellensensors mit einem ersten Kraftstoffinjektor und einem zweiten Kraftstoffinjektor; und

(c) Überwachen des ersten Spannungswellensensors, um den Funktionszustand mindestens eines der beiden Kraftstoffinjektoren zu bestimmen, wobei der erste Spannungswellensensor Spannungswellensignale misst, die mindestens einer der folgenden Intensitäten entsprechen: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des Kraftstoffinjektors.

18. Verfahren nach Anspruch 17, ferner mit dem folgenden Schritt:

(a) Vorsehen eines Wellenleiters zum gleichzeitigen Verbinden des ersten Kraftstoffinjektors und des

zweiten Kraftstoffinjektors mit dem Sensor.

19. Verfahren nach Anspruch 18, bei dem:  
(a) der Wellenleiter eine Kraftstoffverteilerleiste des Motors ist.

20. Verfahren nach Anspruch 18, bei dem:  
(a) der Wellenleiter ein Motorteil ist.

21. Verfahren nach Anspruch 18, bei dem:  
(a) der Wellenleiter in einen Kabelbaum des Motors integriert ist.

22. Verfahren nach Anspruch 18, bei dem:  
(a) der Wellenleiter eine dünne Stange ist.

23. Verfahren nach Anspruch 18, bei dem:  
(a) der Querschnitt der dünnen Stange entweder im Wesentlichen rund, polygonal, rechteckig, quadratisch, elliptisch oder dreieckig ist.

24. Verfahren nach Anspruch 17, ferner mit dem folgenden Schritt:  
(a) Vorsehen einer Anzeigeeinrichtung zum Anzeigen von Angaben, welche dem mindestens einen von dem Sensor erfassten Zustand der mindestens zwei Kraftstoffinjektoren entsprechen.

25. Verfahren nach Anspruch 24, bei dem:  
(a) die Angaben ein Signal in Wellenform sind.

26. Verfahren nach Anspruch 24, ferner mit den folgenden Schritten:  
(a) Vorsehen einer Kraftstoffeinspritzsteuereinheit; und  
(b) funktionsmäßiges Verbinden der Kraftstoffeinspritzsteuereinheit mit der Anzeige, derart dass die Kraftstoffsteuereinheit steuert, ob zu einem beliebigen Zeitpunkt Angaben angezeigt werden, welche nur einem oder beiden der mindestens zwei Kraftstoffinjektoren entsprechen.

27. Verfahren nach Anspruch 24, ferner mit dem folgenden Schritt:  
(a) gleichzeitiges Anzeigen von Angaben auf der Anzeigeeinrichtung, welche dem mindestens einen Zustand jedes der beiden Kraftstoffinjektoren entsprechen.

28. Verfahren zum Überwachen mindestens eines Kraftstoffinjektors eines Motors, um festzustellen, ob der Kraftstoffinjektor korrekt funktioniert, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:  
(a) Vorsehen eines Spannungswellensensors zum Erkennen von Spannungswellensignalen, welche zumindest einer der folgenden Intensitäten entsprechen: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensi-

tät des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors;

(b) zu einem ersten Zeitpunkt, Erfassen eines Spannungswellensignals, welches zumindest einer der folgenden Intensitäten entspricht: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors; und  
(c) Vorsehen einer Speichereinheit zum Speichern von Informationen bezüglich der Funktionsfähigkeit eines Kraftstoffinjektors; und  
(d) Speichern von Informationen bezüglich des in Schritt (b) erfassten Spannungswellensignals zum späteren Aufrufen und Verwenden.

29. Verfahren nach Anspruch 28, ferner mit dem folgenden Schritt:

(a) zu einem zweiten Zeitpunkt nach dem ersten Zeitpunkt, Erfassen eines Signals, welches zumindest einer der folgenden Intensitäten entspricht: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors.

30. Verfahren nach Anspruch 29, ferner mit dem folgenden Schritt:

(a) Vergleichen des zum ersten Zeitpunkt erhaltenen Signals mit dem zum zweiten Zeitpunkt erhaltenen Signal, um den Funktionszustand mindestens eines Kraftstoffinjektors zu bestimmen.

31. Verfahren nach Anspruch 29, bei dem:  
(a) das zum ersten Zeitpunkt erhaltene Signal von einem anderen Kraftstoffinjektor stammt als das zum zweiten Zeitpunkt erhaltene Signal.

32. Verfahren nach Anspruch 30, ferner mit dem folgenden Schritt:

(a) Speichern von Angaben bezüglich des zu dem zweiten Zeitpunkt erfassten Signals in der Speichereinheit zum späteren Aufrufen und Verwenden.

33. Vorrichtung zum Überwachen mindestens eines Kraftstoffinjektors eines Motors, wobei der Zugang zu dem mindestens einen Kraftstoffinjektor durch mindestens ein Motorteil versperrt ist, wobei die Vorrichtung aufweist:

(a) mindestens einen Kraftstoffinjektor eines Motors, wobei der mindestens eine Kraftstoffinjektor derart angeordnet ist, dass der Zugang zu diesem durch

mindestens ein anderes Motorteil versperrt ist;  
 (b) einen ersten Wellenleiter mit einem ersten und einem zweiten Ende, wobei das erste Ende des Wellenleiters funktionsmäßig mit dem mindestens einen Kraftstoffinjektor verbunden ist, wobei das zweite Ende des ersten Wellenleiters von dem ersten Ende entfernt und derart angeordnet ist, dass der Zugang zu dem zweiten Ende des ersten Wellenleiters nicht durch das mindestens eine andere Motorteil versperrt ist; und  
 (c) einen funktionsmäßig mit dem zweiten Ende des ersten Wellenleiters verbundenen Spannungswellensensor, zum Erfassen eines durch den ersten Wellenleiter übertragenen Spannungswellensignals, wobei das Spannungswellensignal mindestens einer der folgenden Intensitäten entspricht: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors.

34. Vorrichtung nach Anspruch 33, bei der:  
 (a) der Wellenleiter flexibel ist.

35. Vorrichtung nach Anspruch 34, bei der:  
 (a) der Wellenleiter eine dünne Stange mit mindestens einem gebogenen Abschnitt ist.

36. Verfahren zum Überwachen mindestens eines Kraftstoffinjektors eines Motors, um eine visuelle Anzeige eines von einem mit dem mindestens einen Kraftstoffinjektor des Motors funktionsmäßig verbundenen Sensor erfassten Signals zu liefern, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:  
 (a) Vorsehen eines Spannungswellensensors zum Erfassen eines während des Betriebs des mindestens einen Kraftstoffinjektors des Motors erzeugten Spannungswellensignals;  
 (b) Vorsehen einer Anzeige zum Anzeigen des von dem Sensor erfassten Spannungswellensignals; und  
 (c) Anzeigen eines von dem Spannungswellensensor erfassten ersten Spannungswellensignals in Wellenform auf der Anzeige, wobei das Spannungswellensignal mindestens einer der folgenden Intensitäten entspricht: (i) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen ersten Bereich eines Kraftstoffinjektorkörpers beim Öffnen des mindestens einen Kraftstoffinjektors, und (ii) der Intensität des Stoßes eines Teils einer Kraftstoffinjektornadel gegen einen zweiten Bereich des Kraftstoffinjektorkörpers beim Schließen des mindestens einen Kraftstoffinjektors.

37. Verfahren nach Anspruch 36, ferner mit dem folgenden Schritt:  
 (a) Anzeigen eines zweiten Spannungswellensignals in Wellenform auf der Anzeige gleichzeitig mit der An-

zeige des ersten Spannungswellensignals, um es einer Person zu ermöglichen, die Leistung des mindestens einen Kraftstoffinjektors zu bewerten.

38. Verfahren nach Anspruch 37, bei dem:  
 (a) das erste Spannungswellensignal und das zweite Spannungswellensignal von dem selben Kraftstoffinjektor stammen.

39. Verfahren nach Anspruch 37, bei dem:  
 (a) das erste Spannungswellensignal und das zweite Spannungswellensignal von verschiedenen Kraftstoffinjektoren stammen.

40. Verfahren nach Anspruch 2, ferner mit dem folgenden Schritt:  
 (a) Liefern von durch den Algorithmus berechneten Angaben an entweder eine Kraftstoffinjektorsteuerungseinheit oder ein On-Board-Motordiagnosesystem.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

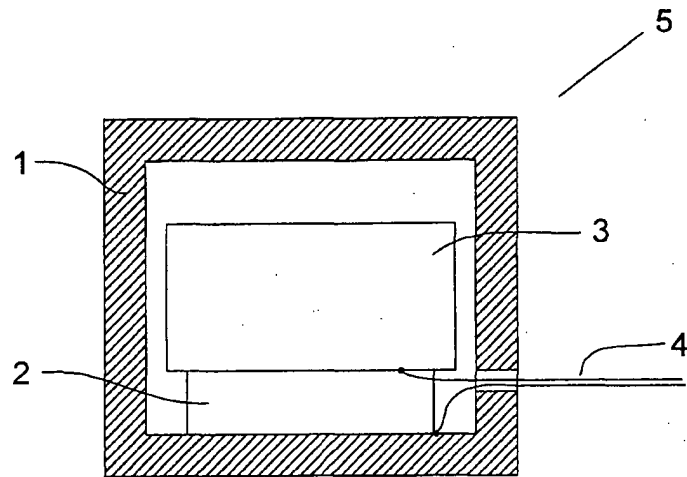


FIG. 1

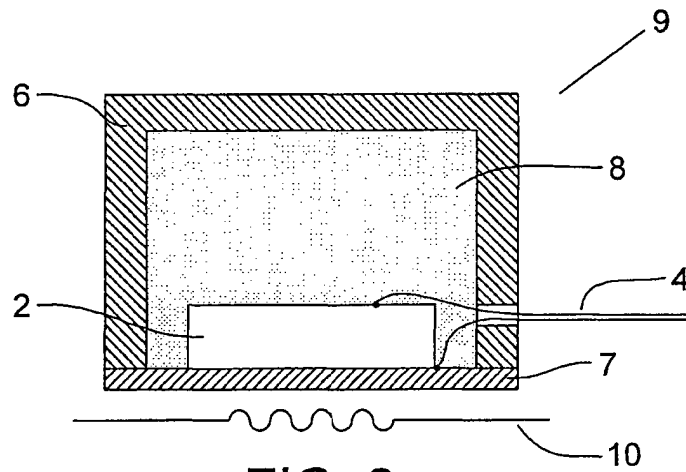


FIG. 2

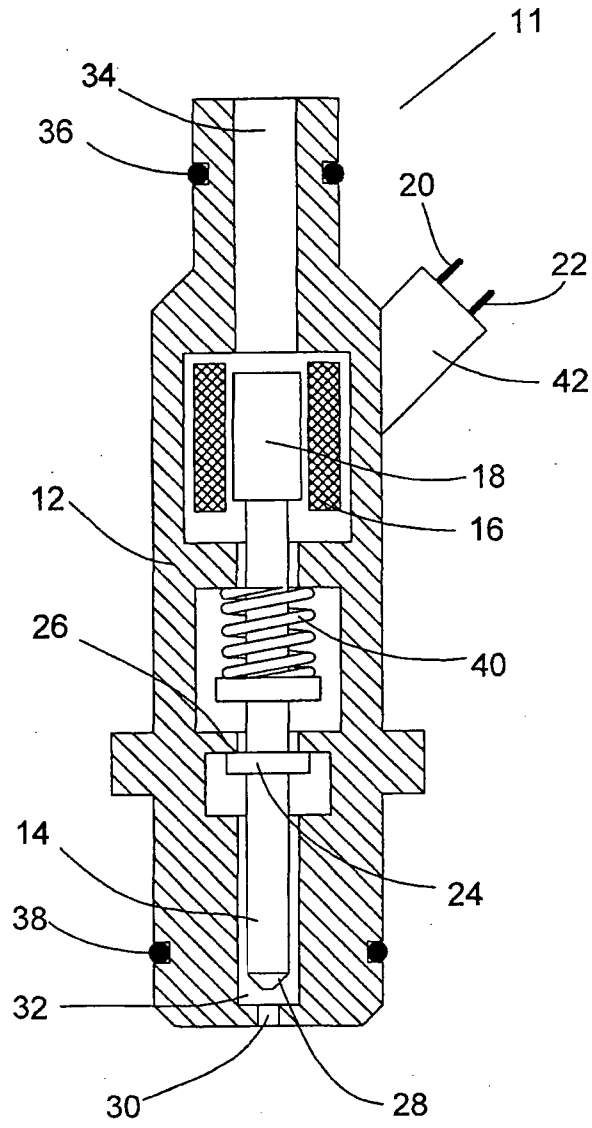
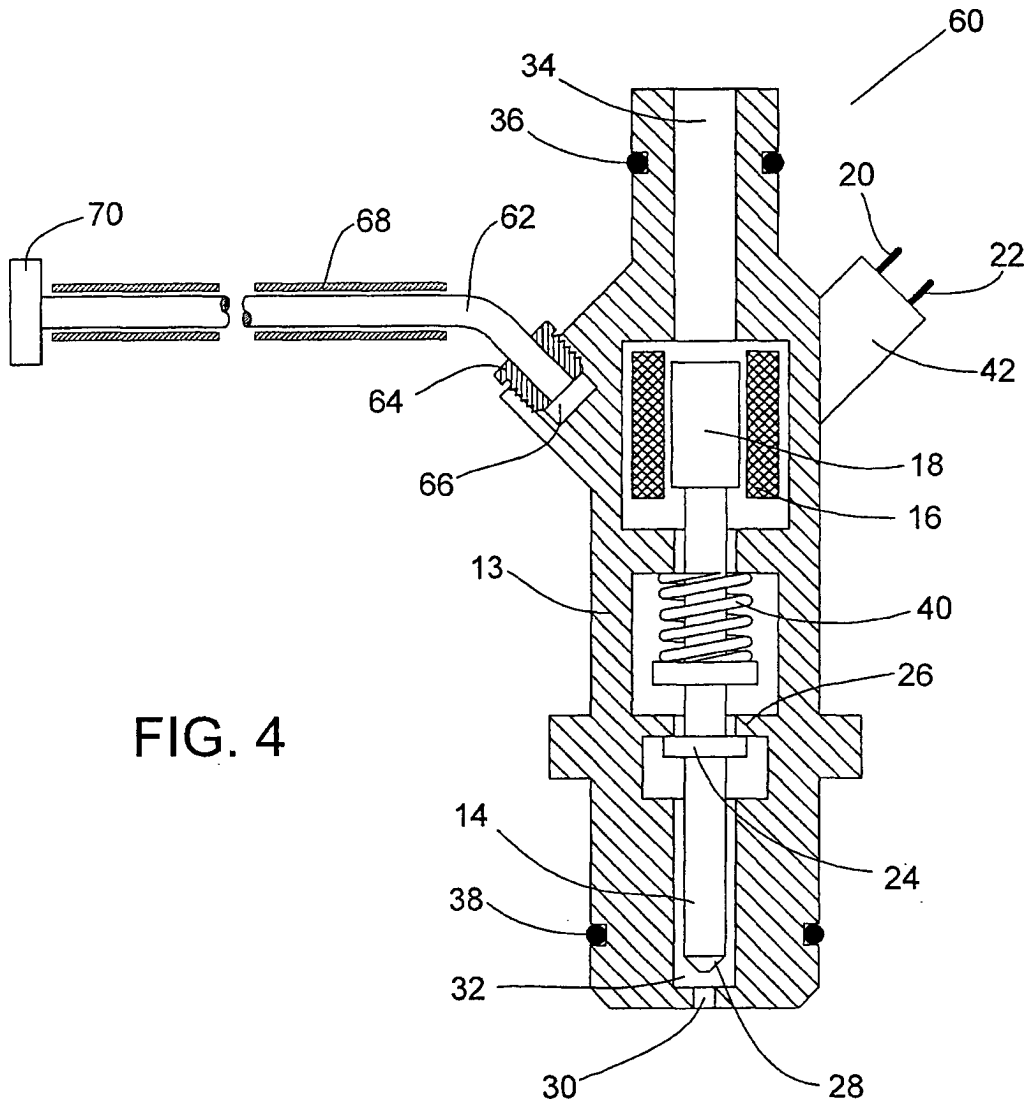
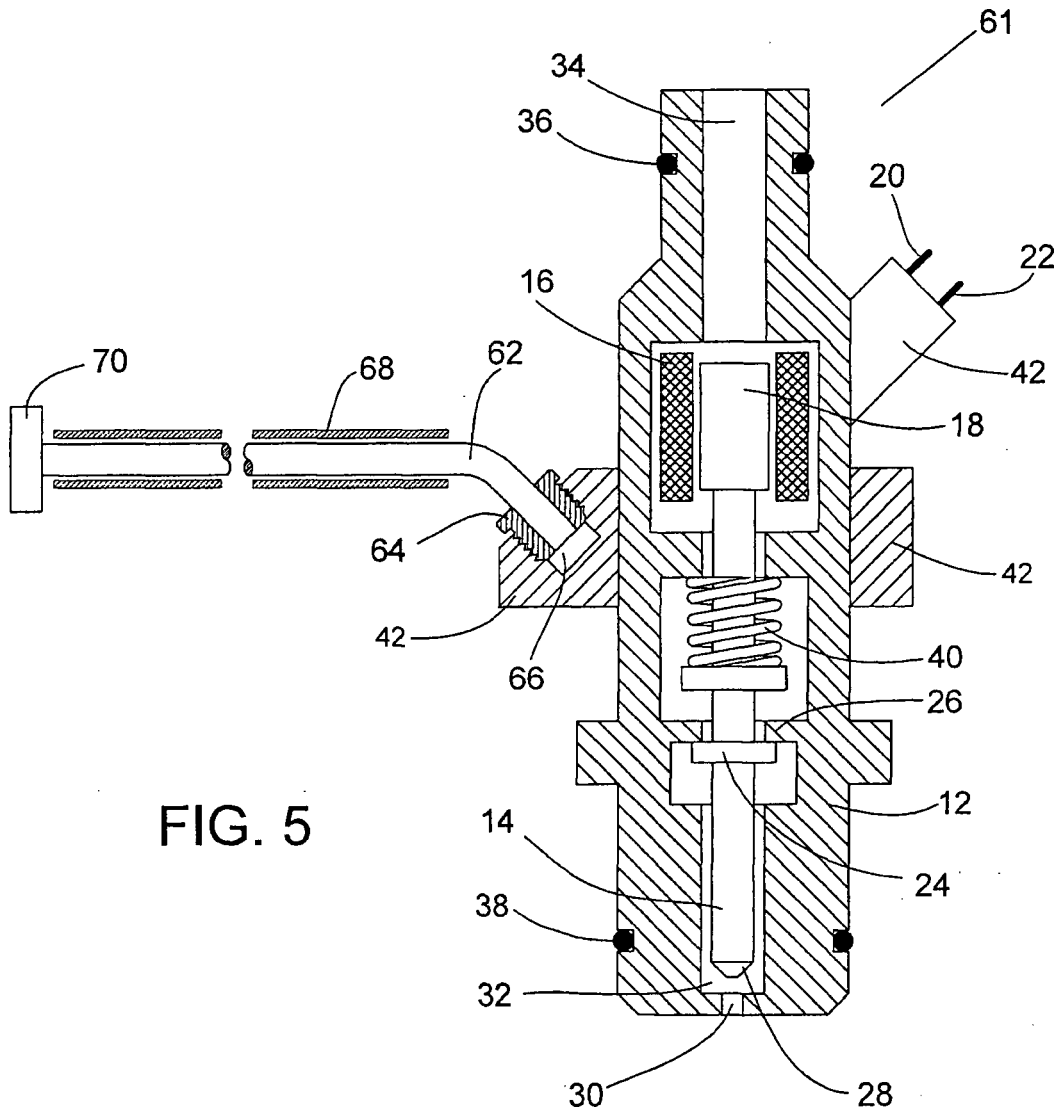


FIG. 3





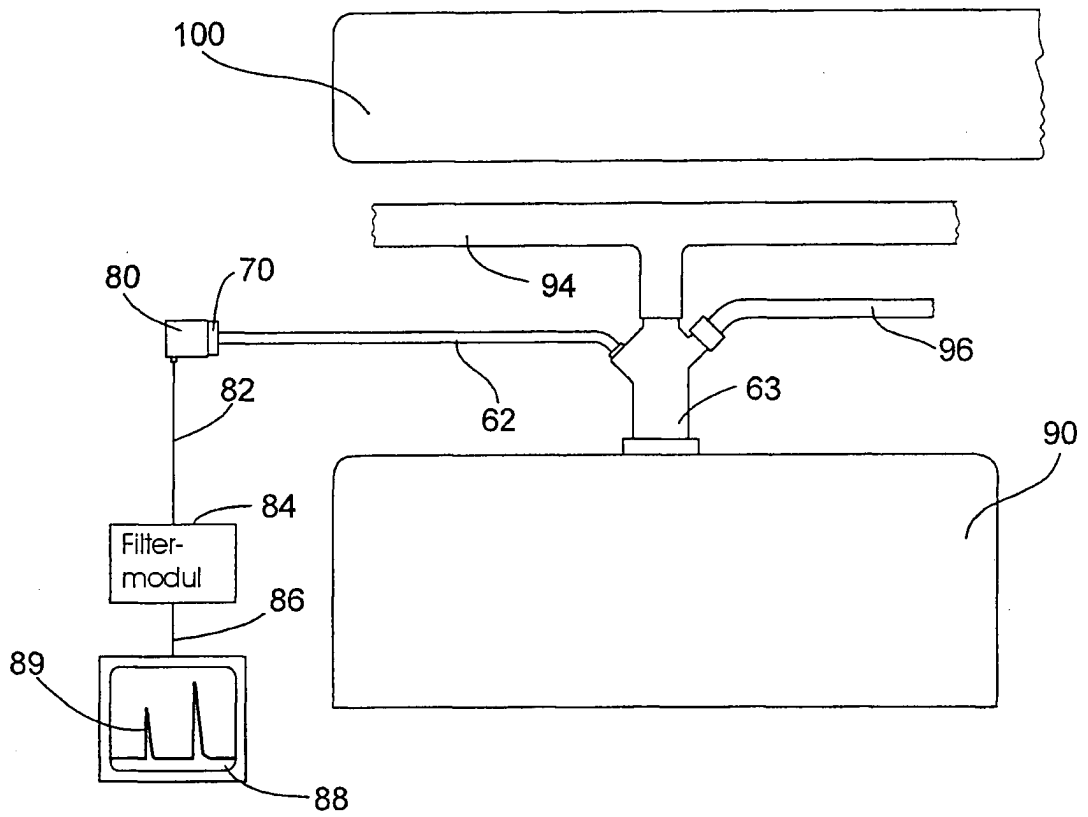


FIG. 6



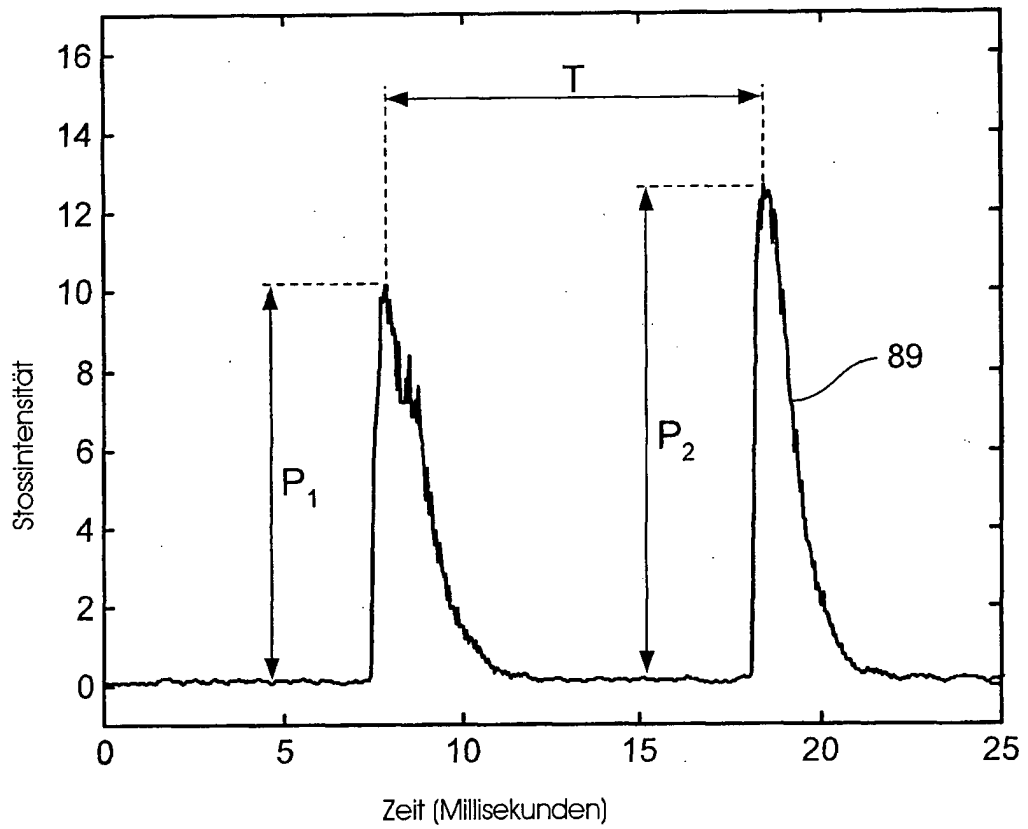


FIG. 7

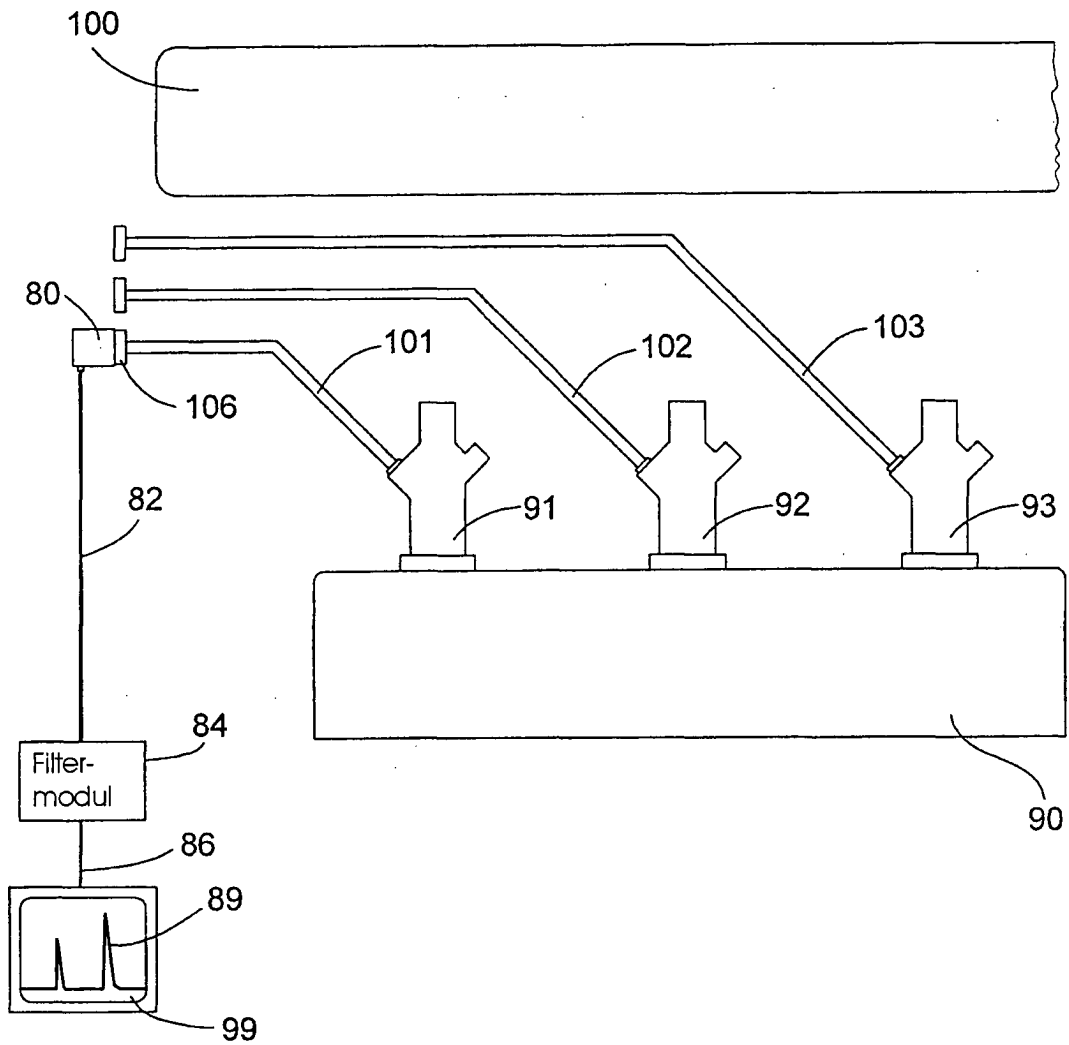


FIG. 8

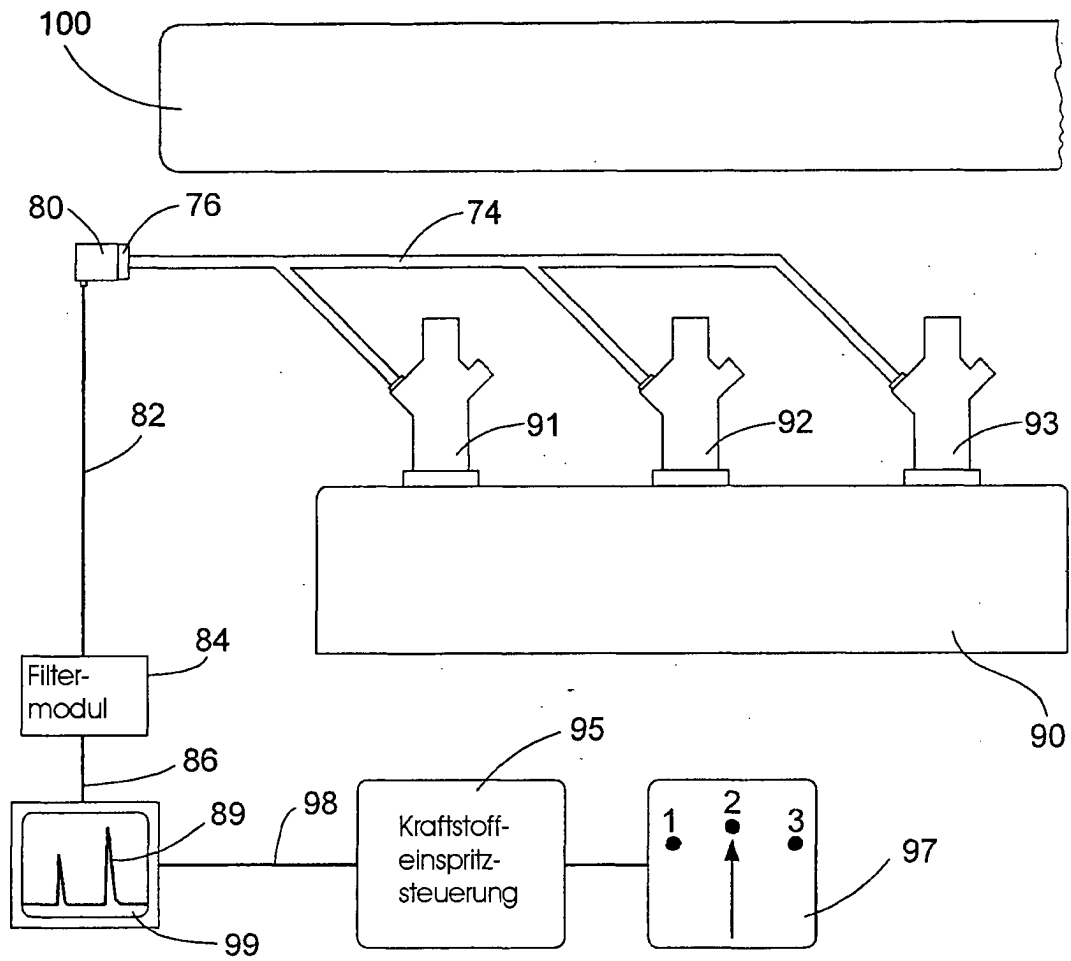


FIG. 9

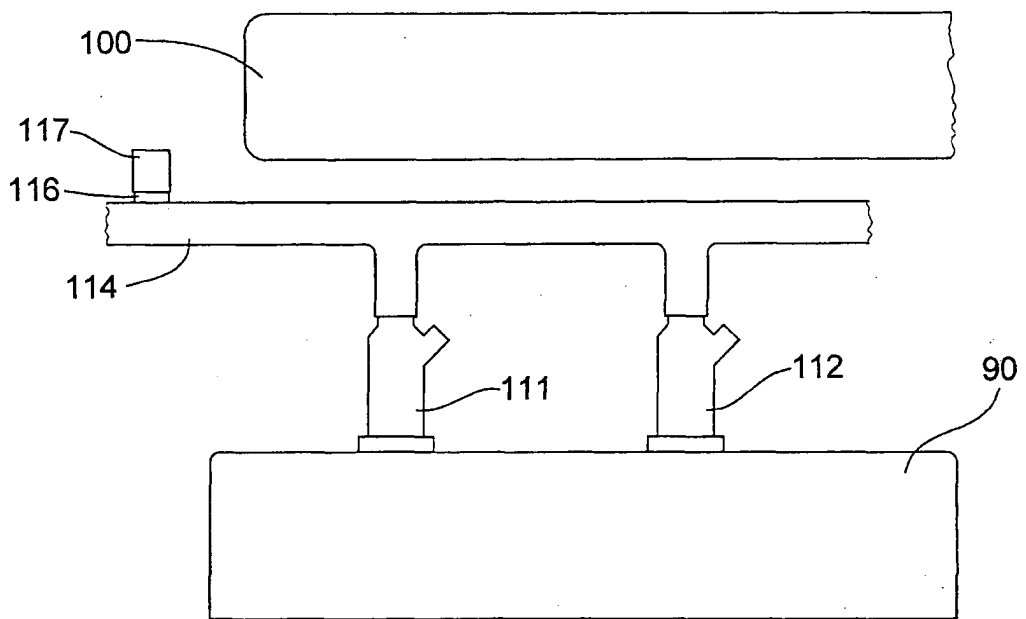


FIG. 10

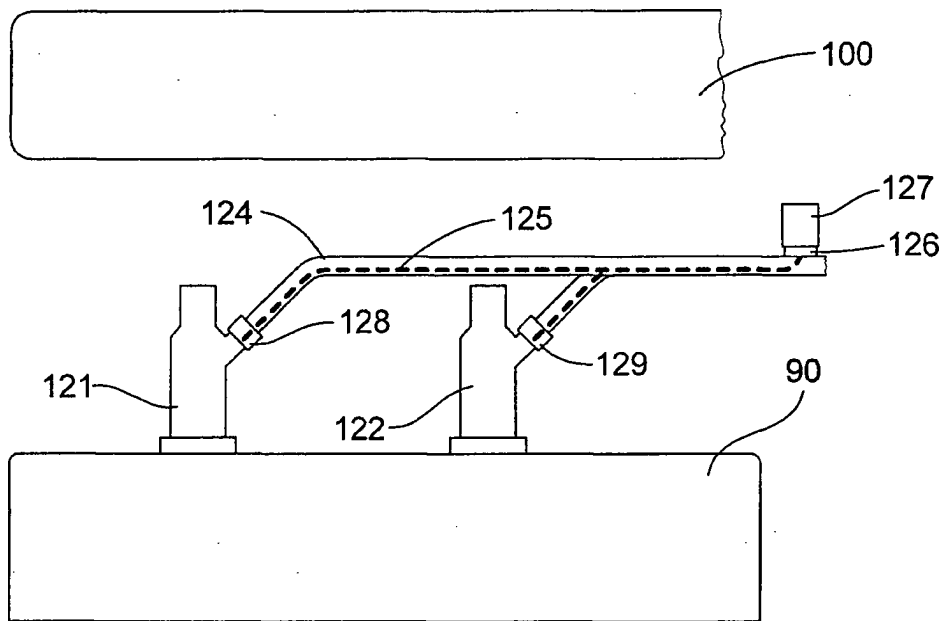


FIG. 11



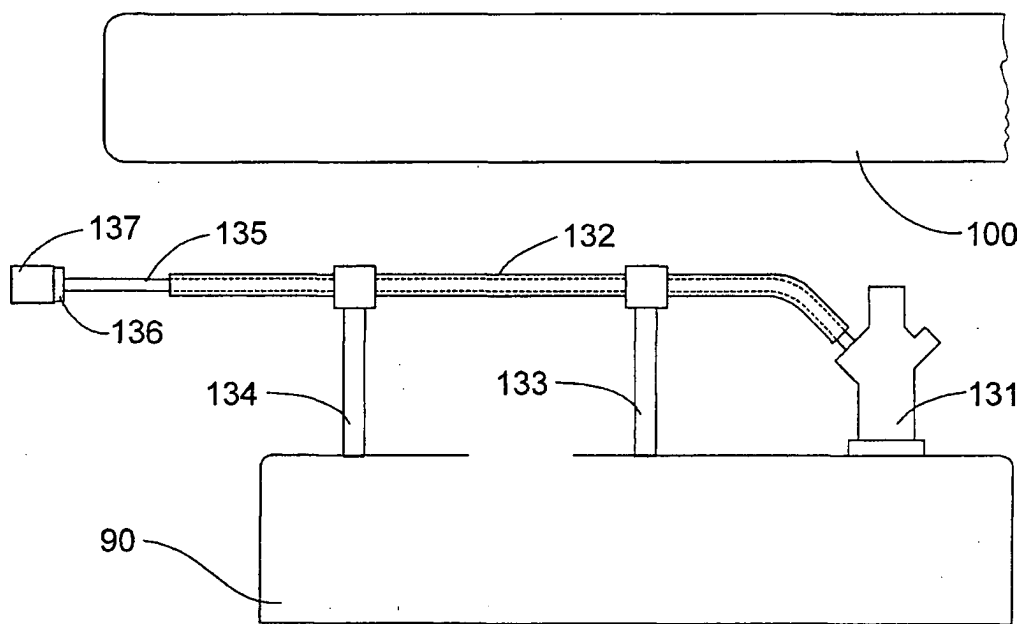


FIG. 12