

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
V

Ein Verfahren zum Betreiben eines Sensorelements (10), insbesondere einer Lambdasonde, zur Bestimmung der Konzentration einer Gaskomponente eines Gasgemisches, bei dem die Gaskomponente durch Anlegen einer Pumpspannung aus einem Messgasraum (12) entfernt wird und hieraus auf die Konzentration der Gaskomponente im Gasgemisch geschlossen wird, ist dadurch gekennzeichnet, dass durch dynamische Druckschwankungen verursachte Oszillationen des Pumpstroms für eine Korrektur des Sensorsignals berücksichtigt werden, indem eine Frequenzanalyse des Pumpstroms durchgeführt wird.

5 Beschreibung

Titel

VERFAHREN ZUR KORREKTUR DES PUMPSTROMS EINES SENSORELEMENTS

10 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines
Sensorelements, insbesondere einer Breitbandlambdasonde gemäß dem
Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

15

Es sind verschiedene Sensorelemente zur Bestimmung der Konzentration einer
Gaskomponente in Gasgemischen bekannt. So werden beispielsweise
sogenannte Lambdasonden eingesetzt, um die Luftzahl zu bestimmen, die das
Verhältnis von Luft zu Kraftstoff beschreibt. Dieses Verhältnis ist für die
20 Verbrennung des Kraftstoffs in einer Brennkraftmaschine sowie für die
Abgasnachbehandlung von entscheidender Bedeutung.

Für die Messung des Restsauerstoffgehalts im Abgas sind im Prinzip
Sprungsonden und Breitbandsonden bekannt. Bei einer Sprungsonde wird das
25 Potential einer abgasseitigen Elektrode relativ zu einer sauerstoffbespülten
Referenzelektrode gemessen. Eine Sprungsonde kann den Übergang von einem
fetten zu einem mageren Gemisch und umgekehrt erkennen. Eine
Breitbandlambdasonde kann den Restsauerstoffgehalt im Abgas über einen
wesentlich breiteren Bereich, also sowohl im fetten als auch im mageren Bereich,
30 messen. Sie besteht im Wesentlichen aus einer Kombination einer
herkömmlichen, als galvanische Zelle wirkenden Konzentrationssonde (Nernst-
Sonde) sowie einer Grenzstrom- oder „Pump“-zelle. An die Pumpzelle wird von
außen eine Spannung angelegt. Ist die Spannung groß genug, stellt sich ein
Grenzstrom ein, der proportional zum Unterschied der Sauerstoffkonzentration
35 auf beiden Seiten der Zelle ist. Polaritätsabhängig werden mit dem Strom
Sauerstoffatome transportiert. Durch eine elektronische Regelschaltung wird der

Konzentrationssonde von der Pumpzelle immer genau so viel Sauerstoff aus dem Abgas zugeführt, dass der Zustand $\lambda = 1$ herrscht. Der jeweilige Pumpstrom, der proportional zum Sauerstoff- oder Fettgasgehalt im Abgas ist, bildet das Ausgangssignal der Breitbandlambdasonde. Die Messung der

5 Konzentration im Messgasraum erfolgt anhand der Bestimmung der Nernstspannung zwischen einer Nernstelektrode im Messgasraum und einer sauerstoffbespülten Referenzelektrode in einem Referenzraum. Um die für den Sauerstoffionentransport erforderliche Betriebstemperatur zu erreichen, ist eine Breitbandlambdasonde mit einer integrierten Heizeinrichtung ausgestattet.

10 Das Messsignal der Lambdasonde ist sowohl von der Luftkennzahl λ , also dem Verhältnis von Luft zu Kraftstoff im Gemisch, als auch vom herrschenden Absolutdruck abhängig. Mit der Frequenz der Zylinderzündung der Brennkraftmaschine schwankt der Absolutdruck des Abgases um mehrere 100

15 mbar. Mit jedem Druckpuls wird die in den Messgasraum der Lambdasonde eintransportierte Menge an Mager- oder Fettgaskomponenten kurzzeitig stark erhöht und anschließend wieder stark abgesenkt. Da der Regler des Pumpstroms sehr schnell reagiert, kann er in der Eintransportphase die zusätzlichen Gaskomponenten, die ein Abweichen von der Soll-Konzentration im

20 Hohlraum von $\lambda = 1$ darstellen, schnell abpumpen. Deshalb werden in der anschließenden Niederdruckphase weniger Gaskomponenten heraus transportiert, als während der Hochdruckphase eintransportiert wurden. Die auftretenden Oszillationen des Pumpstroms lassen sich durch eine geeignete elektronische Filterung glätten. Insgesamt kommt es jedoch zu einer

25 Verschiebung des mittleren Pumpstroms, der mit einem Verlust einer Kennlinien-Genauigkeit einhergeht.

Ein Ansatz, die hiermit einhergehende Ungenauigkeit zu minimieren, verwendet eine möglichst dichte Ausführung der Diffusionsbarrieren, die das Abgas von

30 dem Messgasraum trennen. Allerdings wird hierdurch die statische Druckabhängigkeit der Lambdasonde erhöht. Eine andere Maßnahme zur Verminderung der Auswirkungen der dynamischen Druckabhängigkeit ist die Verkleinerung des Volumens des Messgasraums im Vergleich mit dem Volumen der Diffusionsbarriere, wie es beispielsweise aus der Offenlegungsschrift DE 10

35 2004 023 004 A 1 hervorgeht. Auch hierdurch lässt sich die Abhängigkeit des Messsignals von den dynamischen Druckschwankungen vermindern. Die

Verkleinerung des Messgasraums kann jedoch andere Nachteile mit sich bringen. Wegen des hohen Diffusionswiderstandes des Hohlraums wird der Sauerstoff hierbei nur an der Vorderkante der Elektrode abgepumpt und dadurch die Elektrode lokal überlastet. Dies gilt insbesondere für Vergiftungen durch antransportierte gasförmige Elektrodengifte.

Der Erfindung liegt demgegenüber die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines Sensorelements, insbesondere einer Breitbandlambdasonde bereitzustellen, das eine zuverlässige Kompensation der dynamischen Druckabhängigkeit des Pumpstroms erlaubt und damit die Messgenauigkeit des Sensorelements erhöht. Das Verfahren soll auch bei bestehenden Sensorelementen eingesetzt werden können, ohne dass weitere Veränderungen an dem Sensorelement selbst vorgenommen werden müssen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gelöst, wie es Gegenstand des Anspruchs 1 ist. Bevorzugte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Offenbarung der Erfindung

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren ist zum Betreiben eines Sensorelements, insbesondere einer Lambdasonde vorgesehen, die zur Bestimmung der Konzentration einer Gaskomponente in einem Gasgemisch geeignet ist. Die Gaskomponente wird durch Anlegen einer Pumpspannung aus dem Messgasraum entfernt und hieraus wird auf die Konzentration der Gaskomponente in dem Gasgemisch geschlossen. Bei derartigen Sensorelementen kann es sich insbesondere um Breitbandlambdasonden handeln, die nach dem sogenannten Zweizeiler-Prinzip oder nach dem sogenannten Einzeller-Prinzip funktionieren. Gemäß dem Zweizeiler-Prinzip wird die Konzentration der Gaskomponente in dem Messgasraum auf einen vorgebbaren Wert eingeregelt und aus dem dabei gemessenen Pumpstrom auf die Konzentration der Gaskomponente in dem Gasgemisch geschlossen. Bei einem Einzeller ist die Konzentration der Gaskomponente anhand eines Grenzstroms messbar. Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch

gekennzeichnet, dass Oszillationen des Pumpstroms, die durch dynamische Druckschwankungen verursacht werden, für eine Korrektur des Pumpstroms berücksichtigt werden. Dynamische Druckschwankungen, die beispielsweise mit der Frequenz der Zylinderzündung der Brennkraftmaschine entstehen, beeinflussen letztendlich den Pumpstrom und damit das Messsignal des Sensorelements. Der Kern der Erfindung liegt darin, diese durch dynamische Druckschwankungen erzeugten Oszillationen bzw. deren Frequenzanteile zu identifizieren und das Sondensignal entsprechend zu korrigieren. Hierdurch kann die spezifische Mittelwertverschiebung des Pumpstroms, die durch die Druck-Oszillationen verursacht wird, kompensiert werden, wodurch die Messgenauigkeit des Sensorelements deutlich verbessert wird.

Vorzugsweise werden die Oszillationen des Pumpstroms analysiert, um die Frequenzanteile, die durch die dynamischen Druckschwankungen verursacht sind, zu identifizieren. Der Pumpstrom wird um die Frequenzanteile, die durch die dynamischen Druckschwankungen verursacht sind, korrigiert. Diese Frequenzanteile werden im Folgenden auch als Frequenzanteile der Druckschwankungen bezeichnet. Die Identifizierung der Frequenzanteile der Druckschwankungen und deren Kompensation kann mit besonderem Vorteil als eine Funktion einer Software der Betriebselektronik durchgeführt werden. Es sind keine weiteren Anpassungen des Sensorelements selbst erforderlich. Vielmehr kann das erfindungsgemäße Verfahren durch Anpassung oder Ergänzung der Auswertesoftware eines Sensorelements eingesetzt werden, sodass das erfindungsgemäße Verfahren auch bei bestehenden Sensorelementen verwendet werden kann.

Mit besonderem Vorteil wird die Analyse der Oszillationen durch eine Frequenz-Analyse vorgenommen. Die Oszillationen, die durch Schwankungen im Verhältnis von Luft zu Kraftstoff bzw. durch Lambdaschwankungen verursacht werden, weisen eine kleinere Frequenz auf als die Oszillationen, die durch dynamische Druckschwankungen verursacht sind. Aufgrund dieser Unterschiede lassen sich die Lambda-Oszillationen von den Druck-Oszillationen trennen, sodass die Frequenzanteile der Druckschwankungen identifiziert und erfindungsgemäß für eine Korrektur berücksichtigt werden können. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Analyse der Frequenzen durch eine Fourier-Frequenz-Analyse, also einer Zerlegung der Oszillationen in

deren verschiedene Sinus- und Cosinusfunktionen, um so die Frequenzanteile zu differenzieren, die zum einen auf die Lambda-Oszillationen und zum anderen auf die dynamischen Druckschwankungs-Oszillationen zurückgehen.

5 Für die Korrektur des Sondensignals gemäß der Erfindung können die Frequenzanteile, die durch die dynamischen Druckschwankungen verursacht sind, von den Oszillationen des Pumpstroms abgezogen werden, sodass letztendlich nur die Lambda-Oszillationen bei der Auswertung des Messsignals des Sensorelements zum Tragen kommen.

10

In einer anderen bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann die Korrektur des Sensorsignals mithilfe eines Kennfeldes erfolgen. Die eingangs beschriebene Verschiebung des mittleren Pumpstroms in Folge der durch dynamische Druckänderungen verursachten Oszillationen bzw.

15

Oszillationsanteilen des Pumpstroms wird durch eine sogenannte spezifische Mittelwertverschiebung charakterisiert. Diese spezifische Mittelwertverschiebung hängt sowohl vom Sondentyp als auch von der Frequenz der

20

Druckschwankungen und von dem herrschenden mittleren Druck ab. Die Form und Amplitude der Druckpulse hat auf diese Größe keinen Einfluss. Die spezifische Mittelwertverschiebung kann damit einer aktuellen, betriebspunktabhängigen Kombination aus Amplitude, Frequenz und Formfaktor einer sondentypischen Verschiebung des mittleren Pumpstroms zugeordnet werden. Dieser Zusammenhang kann beispielsweise in Form eines Kennfeldes in einer Auswerte- und/oder Steuereinheit hinterlegt werden. Die Verschiebung des mittleren Pumpstroms errechnet sich dann aus der aktuellen,

25

betriebspunktabhängigen Kombination von Druckpulsamplitude und -form sowie aus der aus dem Kennfeld entnommenen spezifischen Mittelwertverschiebung.

30

Anhand dieses Kennfeldes kann der gemessene Pumpstrom bzw. das Sensorsignal und der damit verbundene Fehler in der Lambdamessung verschoben bzw. korrigiert werden, um die spezifische Mittelwertverschiebung in Folge der dynamischen Druckabhängigkeit des Pumpstroms zu kompensieren.

35

Es ist möglich, die Amplitude und den Formfaktor der Druckpulse in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt zum Beispiel auch mithilfe eines Kennfeldes oder in besonders bevorzugter Weise mittels eines dynamischen Druckmodells zu bestimmen. Derartige Druckmodelle sind dem Fachmann beispielsweise in Zusammenhang mit der Kompensation der statischen Druckabhängigkeit des

Sondensignals in ähnlicher Weise bekannt. Die Frequenz der Druckpulse kann hierbei beispielsweise aus der Motordrehzahl abgeleitet werden.

5 Zusammenfassend können also die Frequenzanteile der durch dynamische Druckschwankungen verursachten Oszillationen durch wenigstens eine Größe charakterisiert werden, die einer sensorelementtypischen Mittelwertverschiebung des Pumpstroms beispielsweise in Form eines Kennfeldes zugeordnet werden. Anhand dieser Zuordnung kann die Korrektur des Pumpstroms vorgenommen werden. In anderen Ausführungsformen kann der Zusammenhang zwischen den Frequenzanteilen, die durch dynamische Druckschwankungen verursacht
10 werden, und Betriebsgrößen oder Betriebsbedingungen, die messbar oder ableitbar sind, mithilfe eines dynamischen Druckmodells zusammengefasst werden, sodass die durch dynamische Druckschwankungen verursachten Oszillationen des Pumpstroms bzw. dessen druckschwankungsbedingte Frequenzanteile anhand einer oder mehrere Betriebsgrößen ermittelt werden
15 können, um erfindungsgemäß für die Korrektur des Sensorsignals berücksichtigt werden zu können.

Mit Vorteil werden für die Korrektur des Sensorsignals nur solche durch dynamische Druckschwankungen verursachten Frequenzanteile berücksichtigt,
20 deren Frequenzen oberhalb einer vorgebbaren Schwelle liegen. Da bei kleinen Frequenzen die Druckpulse im Betrag klein sind, kann es im Sinne einer vereinfachten Ausführung für das erfindungsgemäße Kompensationsverfahren ausreichend sein, nur die hohen Frequenzen auszuwerten. Insbesondere bei den hohen Frequenzen ist der Beitrag zur Mittelwertverschiebung zum Messsignal
25 besonders relevant. Diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist weniger aufwendig als die Berücksichtigung aller Frequenzen und kann dennoch die Messgenauigkeit des Sensorelements erheblich verbessern.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden bei der Analyse der Oszillationen des Pumpstroms ausschließlich niedrige Frequenzen von hohen Frequenzen unterschieden.
30 Niedrige Frequenzen sind bevorzugt solche unterhalb von 25 Hz, hohe Frequenzen sind bevorzugt solche oberhalb von 25 Hz. Diese vereinfachte Frequenzanalyse, beispielsweise in Form einer (Fast-)Fourier-Transformation, ist mit wenig Aufwand durchführbar und erzielt dennoch sehr vorteilhafte
35 Ergebnisse. Hierbei kann beispielsweise das Signal des Sensors durch einen

Hochpassfilter geleitet und gleichgerichtet werden. Die gemittelte Amplitude wird dann als Parameter für die Sensorsignal-Korrektur verwendet. Zusätzlich sollte die Verschiebung des mittleren Pumpstroms, die infolge der Druckpulse auftritt, bei dieser Ausführungsform berücksichtigt werden.

5

Die Form, Amplitude und Frequenz der Druckpulse ändern sich im Vergleich zu ihrer Periodendauer relativ langsam. Auch die Fett-Mager-Oszillationen der Gemischregelung sowie Änderungen der Luftkennzahl aufgrund von Lastwechseln treten typischerweise mit Frequenzen von etwa nur 10 Hz auf. Diese relativ langsamen Änderungen erlauben daher eine hinreichend schnelle Kompensation gemäß der Erfindung in Anpassung an einen neuen Betriebspunkt.

10

15

20

25

30

Erfindungsgemäß können auch weitere Störsignale bei der Korrektur des Pumpstroms berücksichtigt werden. Insbesondere kann das Störsignal des Pumpstroms aufgrund des Durchgangs der Abgaskonzentration bei $\lambda = 1$ zusätzlich kompensiert werden. Während des Durchgangs der Abgaskonzentration durch $\lambda = 1$ kann beispielsweise aus der Steilheit der Pumpstromänderung anhand eines in der Software hinterlegten Kennfeldes das Störsignal ermittelt und vom gemessenen Pumpstrom subtrahiert werden. Auch das Störsignal des Pumpstroms aufgrund eines Übersprechens der Heizertaktung des Sensorelements kann erfindungsgemäß berücksichtigt werden. Dieses Störsignal kann beispielsweise aus der Heizleistung, den Ansteuersignalen, insbesondere dem Duty-Cycle des Heizers, und dem Heißwiderstand des Heizers sowie gegebenenfalls dem Motorbetriebspunkt, der Abgastemperatur etc. anhand eines in der Software hinterlegten Kennfeldes ermittelt und vom gemessenen Pumpstrom subtrahiert werden. Ein entsprechendes Kennfeld kann in geeigneten Betriebsphasen neu kalibriert werden, indem das ungefilterte und unkompensierte Störsignal des Pumpstroms bei der Heizereinkopplung gemessen und gespeichert wird.

35

Die Erfindung umfasst weiterhin ein Computerprogramm, das alle Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens ausführt, wenn es auf einem Recheng Gerät oder einem Steuergerät abläuft. Schließlich umfasst die Erfindung ein Computerprogrammprodukt mit Programmcode, der auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, zur Durchführung des

erfindungsgemäßen Verfahrens, wenn das Programm auf einem Computer oder einem Steuergerät ausgeführt wird. Mithilfe des Computerprogramms bzw. des Computerprogrammproduktes kann das erfindungsgemäße Verfahren ohne weiteres auch bei bestehenden Sensorelementen eingesetzt werden und dort zur
5 Kompensation von Oszillationen bzw. Oszillationsanteilen des Pumpstroms, die durch dynamische Druckschwankungen verursacht werden, genutzt werden. Dynamische Druckschwankungen, die aufgrund eines schwankenden Absolutdrucks des Messgases insbesondere in Folge der Frequenz der Zylinderzündung entstehen, verfälschen das Messsignal eines Sensorelements,
10 insbesondere einer Breitbandlamdasonde, wobei es zu einer Verschiebung des mittleren Pumpstroms (spezifische Mittelwertverschiebung) kommt. Die spezifische Mittelwertverschiebung kann erfindungsgemäß kompensiert werden, indem der Pumpstrom um die Frequenzanteile, die durch die Druckschwankungen verursacht werden, korrigiert wird.

15 Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen. Hierbei können die verschiedenen Merkmale jeweils für sich oder in Kombination miteinander verwirklicht sein.

20 Die Zeichnungen zeigen:

Figur 1 eine aus dem Stand der Technik bekannte Breitbandlamdasonde und

25 Figur 2 eine schematische Darstellung des Sondensignals bei überlagerten Druckpulsen und Gaswechseln (Figur 2A) und ein Fourierspektrum des Sondensignals (Figur 2B).

Ausführungsformen der Erfindung

30 **Figur 1** zeigt eine aus dem Stand der Technik bekannte Breitbandlamdasonde, die zur Bestimmung der Sauerstoffkonzentration in einem Gasgemisch, insbesondere im Abgas einer Brennkraftmaschine, vorgesehen ist. Das Sensorelement umfasst einen planaren Sensorkörper 10, der aus einem
35 Festelektrolyten 11 gebildet ist und in dem ein beispielsweise ringförmiger Hohlraum 12 als Messgasraum ausgebildet ist. Der Hohlraum 12 steht über eine

zentrale Öffnung 13 mit dem Abgas in Verbindung. Zwischen der zentralen Öffnung 13 und dem Hohlraum 12 ist eine poröse Diffusionsbarriere 14 angeordnet. Auf der Seite der Öffnung 13 ist eine Außenpumpelektrode 15 angeordnet, die von einer porösen Schutzschicht 16 überdeckt ist. Auf der Seite des Messgasraums 12 ist auf der der Außenpumpelektrode 15 abgewandten Seite eine innere Pumpelektrode 17 angeordnet. Die Außenpumpelektrode 15 und die innere Pumpelektrode 17 umgrenzen eine Pumpzelle 18, die zum Transport von Sauerstoffionen vorgesehen ist.

Innerhalb eines Referenzgasvolumens 20 ist eine Referenzelektrode 21 vorgesehen. Innerhalb des Messgasraums 12 ist eine weitere Elektrode, die Nernstelektrode 30 angeordnet, die ebenso wie die innere Pumpelektrode 17 an einem Nullpotential anliegt. Die Nernstelektrode 30 und die Referenzelektrode 21 bilden zusammen eine Nernst- bzw. Konzentrationszelle 50.

Weiterhin ist unterhalb des Messgasraums 12 und des Referenzgasvolumens 20 ein Heizer 22 in einer Heizerisolationsschicht 23 angeordnet. Der Heizer 22 kann beispielsweise mäanderförmig ausgebildet sein. Der Heizer 22 gewährleistet eine ausreichende Betriebstemperatur des Sensorelements 10.

Eine Mess- und Auswerteschaltung des Sensorelements 10 umfasst einen Differenzverstärker 60, an dessen einem Eingang eine Referenzspannung anliegt, insbesondere 450 mV. Der andere Eingang ist mit der Referenzelektrode 21 verbunden. Weiterhin ist ein Stromteiler, bestehend aus einem Messwiderstand R_M 61 und einem Abgleichwiderstand R_{Abg} 62, vorgesehen, der den Ausgang des Differenzverstärkers 60 an die äußere Pumpelektrode 15 führt.

An die Elektroden 15 und 17 der Pumpzelle 18 wird eine Pumpspannung angelegt, mittels der im Messgasraum 12 durch Zu- oder Abpumpen von Sauerstoff ein konstanter Sauerstoffpartialdruck eingestellt wird. Dabei wird die Pumpspannung derart geregelt, dass sich an den Elektroden 30 und 21 der Konzentrationszelle 50 ein konstanter Spannungswert von beispielsweise 450 mV einstellt. Diese Spannung entspricht einem Wert von $\lambda = 1$. Nach diesem sogenannten Doppelzellprinzip wird die Luftzahl im Messgasraum 12 durch den Pumpstrom auf einen vorgebbaren Wert geregelt, der vorzugsweise konstant auf

$\lambda = 1$ gehalten wird. Diese Luftzahl im Messgasraum wird durch die vorgebbare Vergleichsspannung für die Nernstzelle, in diesem Fall 450 mV, vorgegeben.

Das messbare Signal hängt zum einen von der Luftkonzentration im Abgasgemisch, also von der Luftkennzahl des Gasgemisches, ab. Zum anderen wird das Messsignal auch vom Absolutdruck beeinflusst. Problematisch hierbei ist, dass der Absolutdruck des Abgases Schwankungen unterworfen ist. Beispielsweise oszilliert der Absolutdruck mit der Frequenz der Zylinderzündung um mehrere 100 mbar. Mit jedem Druckpuls kommt es zu einer kurzzeitigen starken Erhöhung der in den Messgasraum 12 eintransportierten Mager- oder Fettgaskomponenten des Abgases. Die Mess- und Auswerteschaltung des Sensorelements 10 kann hierauf sehr schnell reagieren, sodass die in der Eintransportphase während des Druckpulses eindringenden zusätzlichen Gaskomponenten, die ein Abweichen von $\lambda = 1$ im Messgasraum 12 bewirken, sehr schnell über die Pumpzelle 18 abtransportiert werden. Insgesamt kommt es jedoch zu einer Verschiebung des Messsignals, da in der anschließenden Niederdruckphase weniger Gaskomponenten heraustransportiert werden, als in der Hochdruckphase eintransportiert wurden. Selbst bei einer Glättung dieser Pumpstrom-Oszillationen durch eine geeignete elektronische Filterung kommt es zu einer Verschiebung des mittleren Pumpstroms, der die Messgenauigkeit beeinträchtigt.

Dieses Problem tritt nicht nur bei dem hier im Detail dargestellten Doppelzellerprinzip einer Breitbandlambdasonde auf. Auch Lambdasonden nach dem sogenannten Einzellerprinzip, bei denen die Luftkennzahl λ anhand eines Grenzstroms messbar ist, zeigen eine vergleichbare Mittelwertverschiebung des Grenzstroms in Folge von dynamischen Druckschwankungen. Daher kann das erfindungsgemäße Verfahren auch mit besonderem Vorteil bei dem Betrieb einer Lambdasonde nach dem Einzeller-Prinzip eingesetzt werden.

Erfindungsgemäß werden die durch die dynamischen Druckschwankungen verursachten Oszillationen des Pumpstroms, das heißt also die Frequenzanteile, die durch die dynamischen Druckschwankungen verursacht werden, bei einer Korrektur des Sensorsignals kompensiert, sodass die durch die Druckpulse verursachte Verschiebung des mittleren Pumpstroms bereinigt wird. Hierdurch lässt sich die Messgenauigkeit eines derart betriebenen Sensorelements

wesentlich verbessern. Auch Systemtoleranzen können durch diese Maßnahme verkleinert werden. Zur Identifizierung der durch die dynamischen Druckschwankungen verursachten Frequenzanteile der Oszillationen des Pumpstroms werden die Oszillationen vorzugsweise analysiert. Beispielsweise kann hierfür eine Fourier-Frequenz-Analyse durchgeführt werden, bei der die periodischen Signale des Pumpstroms in deren einzelne Frequenzanteile zerlegt werden. Diese Frequenzanteile können beispielsweise von dem gemessenen Pumpstrom abgezogen werden.

In einer anderen besonders bevorzugten Ausführungsform wird in einem Kennfeld für die spezifische Mittelwertverschiebung die aktuelle, betriebspunktabhängige Kombination aus Amplitude, Frequenz und Formfaktor der Druckschwankungen einer sondentypischen Verschiebung des mittleren Pumpstroms zugeordnet, sodass anhand dieses Kennfelds allein durch Messung des aktuellen Pumpstroms und Berücksichtigung des jeweiligen Betriebspunktes die spezifische Mittelwertverschiebung ermittelt und die Lambdamessung entsprechend korrigiert werden kann. In anderen Ausführungsformen kann hierfür ein dynamisches Druckmodell herangezogen werden. Hierbei erfolgt die Bestimmung der Amplitude und des Formfaktors der Druckpulse in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt mithilfe des dynamischen Druckmodells. Die Frequenz der Druckpulse ergibt sich aus der Motordrehzahl.

In bevorzugter Weise wird das erfindungsgemäße Verfahren bei Motoren angewendet, deren Zylindergleichstellung bereits aus der Laufruhe oder anderen Verfahren sichergestellt ist. In diesem Fall enthält das Pumpstromsignal im Wesentlichen keine Anteile mit hohen Frequenzen, die durch Lambdaunterschiede erzeugt werden würden. Vielmehr sind in dem hohen Frequenzbereich nur Schwankungen aufgrund der Druckpulse zu erwarten. Allgemein gilt, dass die Schwankungen unterhalb einer bestimmten Frequenzschwelle, beispielsweise unterhalb von 25 Hz, durch tatsächliche Lambdaschwankungen verursacht werden. Oberhalb dieser Schwelle werden die Oszillationen im Prinzip durch Druckpulse verursacht. In einem gewissen Maße treten auch oberhalb von 25 Hz Oszillationen auf, die auf Lambdaschwankungen zurückzuführen sind. Diese Lambdaschwankungen sind durch Zylinderfehlstellungen verursacht. Da sie prinzipiell bei der halben Frequenz der Druckpulse auftreten, können sie im Frequenzspektrum gut von diesen

unterschieden werden. Wenn eine Zylindergleichstellung sichergestellt ist, werden die Schwankungen oberhalb der bestimmten Schwelle, z.B. 25 Hz, im Wesentlichen nur durch Druckpulse verursacht. Bei plötzlichen Änderungen der Abgaszusammensetzung wird das Frequenzspektrum der

5 Lambdaschwankungen breiter, so dass die Ausläufer dieses Spektrums auch oberhalb dieser Schwelle einen Beitrag liefern können. Diese Ausläufer sind jedoch flacher als die Beiträge der Druckpulse und können so von diesen unterschieden werden.

10 Bei vertrimmten Zylindern ist es bevorzugt, die Oszillationen des Pumpstroms durch eine Frequenzanalyse in die Frequenzanteile zu zerlegen, falls die Lambdaschwankungen mit den Druckpulsen zu sehr überlappen. Da die Lambdaschwankungen aufgrund der Zylindervertrimmung höchstens die halbe Frequenz wie die Druckpulse haben, ist es ohne weiteres möglich, die

15 Frequenzanteile beispielsweise in einem Fourier-Spektrum voneinander zu unterscheiden.

Vorzugsweise wird die Fourier-Amplitude, die insbesondere der doppelten Motordrehzahl zuzuordnen ist, ausgewertet, da sie zuverlässig den

20 Druckschwankungen zugeordnet werden kann.

Figur 2A zeigt in schematischer Weise den zeitlichen Verlauf des Sondensignals bei überlagerten Druckpulsen und Gaswechseln (Lambdawechsel). Aus **Figur 2B** geht die dazugehörige Fourier-Zerlegung ($FT[\text{Sondensignal}]$) hervor. Der mit

25 100 bezeichnete Verlauf des Signals in Figur 2B zeigt den Realteil ($FT[l_p]$) des Sondensignals. Der mit 200 bezeichnete Verlauf zeigt den Imaginärteil ($FT[l_p]$) des Sondensignals. Der mit 300 bezeichnete Bereich kennzeichnet den statischen Pumpstrom l_p . Die Signale im Fourier-Spektrum oberhalb des statischen l_p 300 sind einem Gaswechsel bzw. Lambdawechsel zuzuordnen, hier

30 mit 400 bezeichnet. Signale im Fourier-Spektrum oberhalb dieser Frequenzen sind Druckpulsen zuzuordnen, hier mit 500 bezeichnet. Der Einfluss der Druckpulse kann somit von dem eigentlichen Lambdasignal separiert werden. Allerdings sollte hierzu auch die Verschiebung des mittleren Pumpstroms, die einen zusätzlichen Beitrag bei der Frequenz 0 Hz verursacht, korrigiert werden.

Ansprüche

- 5 1. Verfahren zum Betreiben eines Sensorelements (10), insbesondere einer
Lambdasonde, zur Bestimmung der Konzentration einer Gaskomponente eines
Gasgemisches, bei dem die Gaskomponente durch Anlegen einer
Pumpspannung aus einem Messgasraum (12) entfernt wird und hieraus auf die
10 Konzentration der Gaskomponente im Gasgemisch geschlossen wird, dadurch
gekennzeichnet, dass durch dynamische Druckschwankungen verursachte
Oszillationen des Pumpstroms für eine Korrektur des Sensorsignals berücksichtigt
werden.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oszillationen des
Pumpstroms zur Identifizierung derjenigen Frequenzanteile, die durch
dynamische Druckschwankungen verursacht sind, analysiert werden und das
Sensorsignal um die Frequenzanteile der dynamischen Druckschwankungen
korrigiert wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyse der
Oszillationen durch eine Frequenz-Analyse, insbesondere eine Fourier-Frequenz-
Analyse, durchgeführt wird.
- 25 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
dass die Frequenzanteile, die durch dynamische Druckschwankungen verursacht
sind, von den Oszillationen des Pumpstroms abgezogen werden.
- 30 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
dass wenigstens einer Größe, die die Frequenzanteile, die durch dynamische
Druckschwankungen verursacht sind, charakterisiert, eine sensorelementtypische
Mittelwertverschiebung des Pumpstroms zugeordnet wird und anhand dieser
Zuordnung die Korrektur des Sensorsignals vorgenommen wird, wobei
vorzugsweise die Zuordnung in einem Kennfeld hinterlegt wird.

- 5
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Korrektur des Pumpstroms nur diejenigen durch dynamische Druckschwankungen verursachten Frequenzanteile berücksichtigt werden, deren Frequenzen oberhalb einer vorgebbaren Schwelle liegen.
- 10
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Analyse der Oszillationen niedrige Frequenzen, insbesondere Frequenzen unterhalb von 25 Hz, und hohe Frequenzen, insbesondere Frequenzen oberhalb von 25 Hz, voneinander unterschieden werden.
- 15
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Signal des Sensors durch einen Hochpassfilter geleitet und die gleichgerichtete und gemittelte Amplitude des Signals für eine Korrektur des Sensorsignals herangezogen wird.
- 20
9. Computerprogramm, das alle Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausführt, wenn es auf einem Rechenggerät oder einem Steuergerät abläuft.
10. Computerprogrammprodukt mit Programmcode, der auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wenn das Programm auf einem Computer oder einem Steuergerät ausgeführt wird.

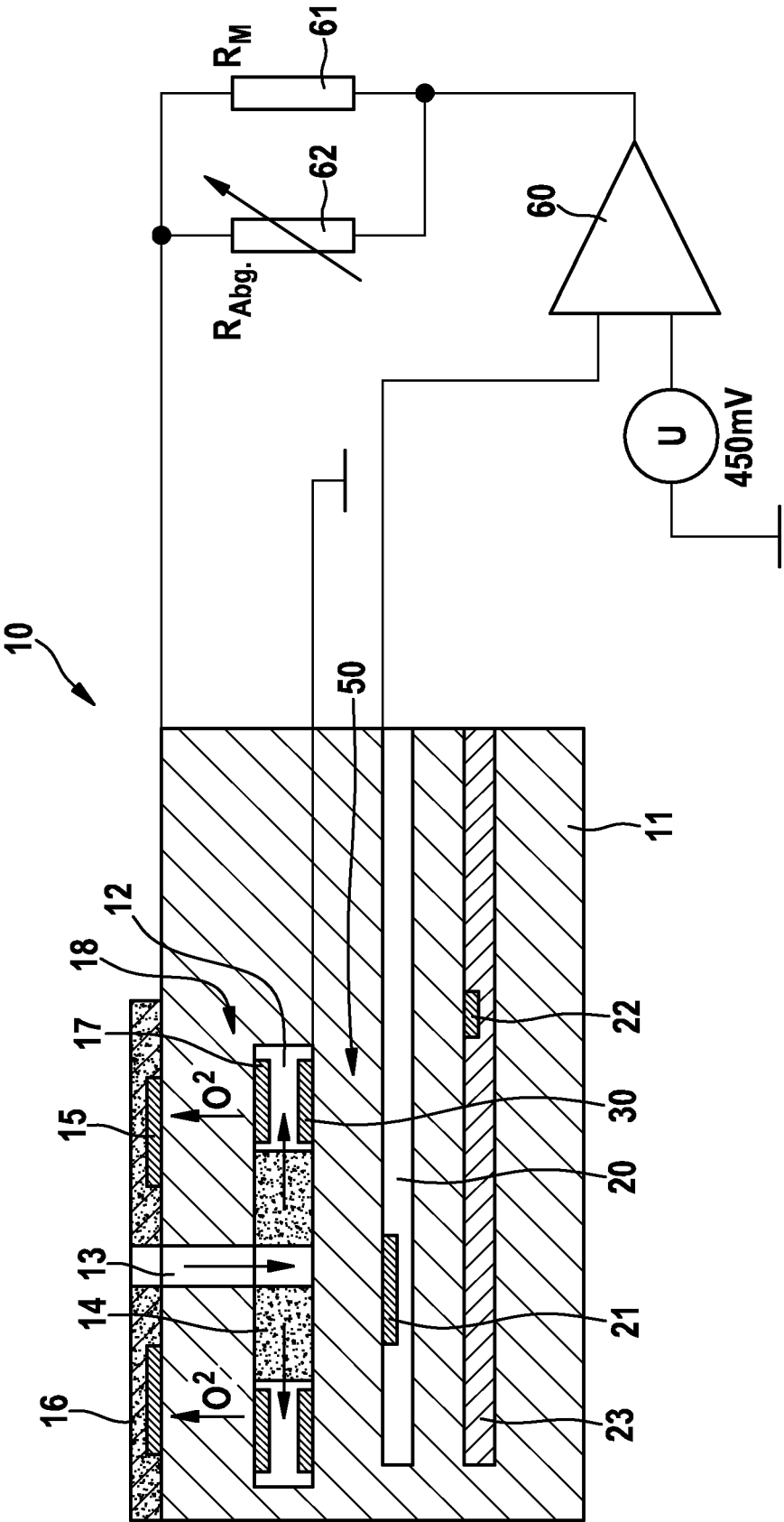


Fig. 1
(Stand der Technik)

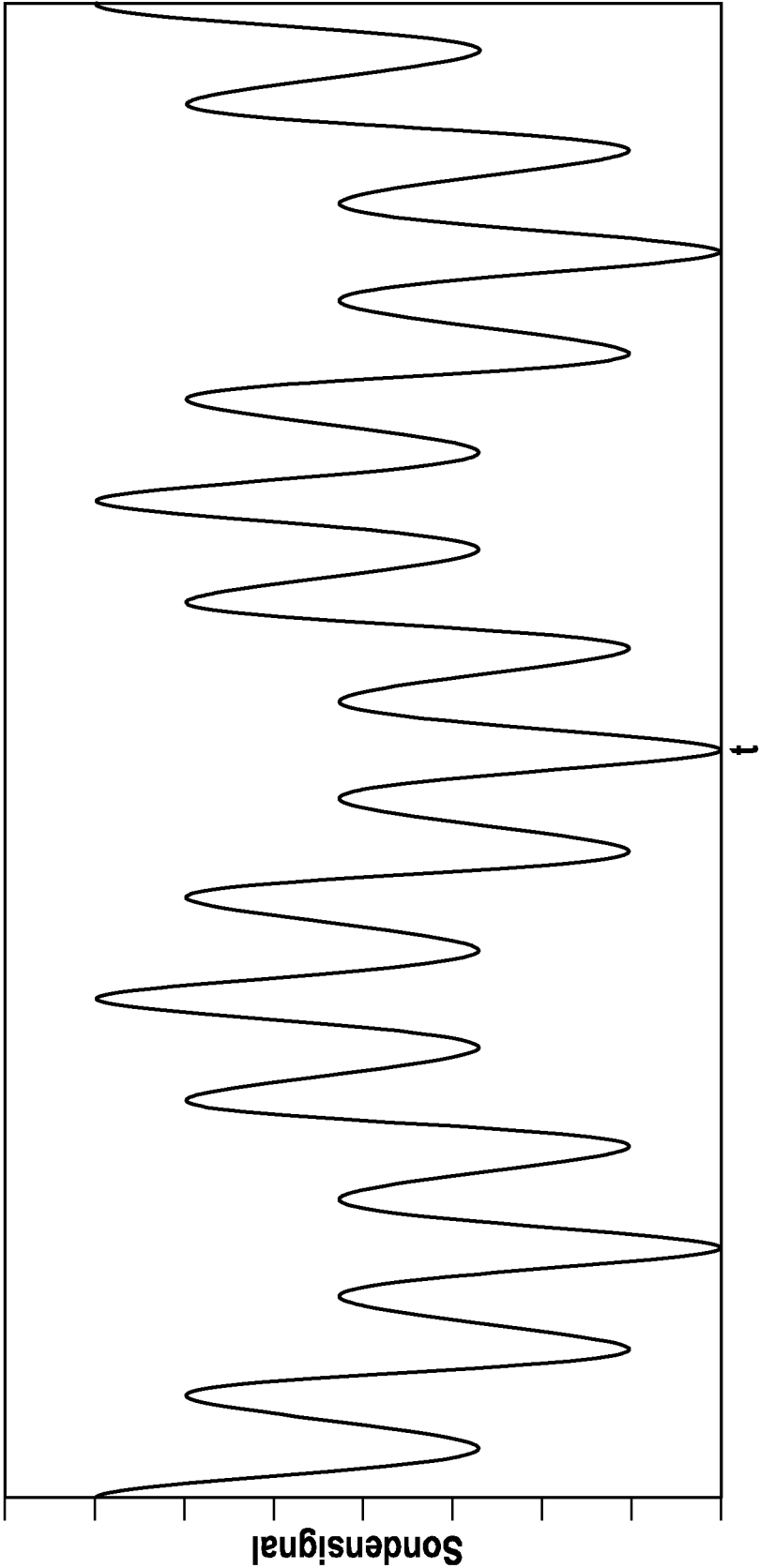


Fig. 2A

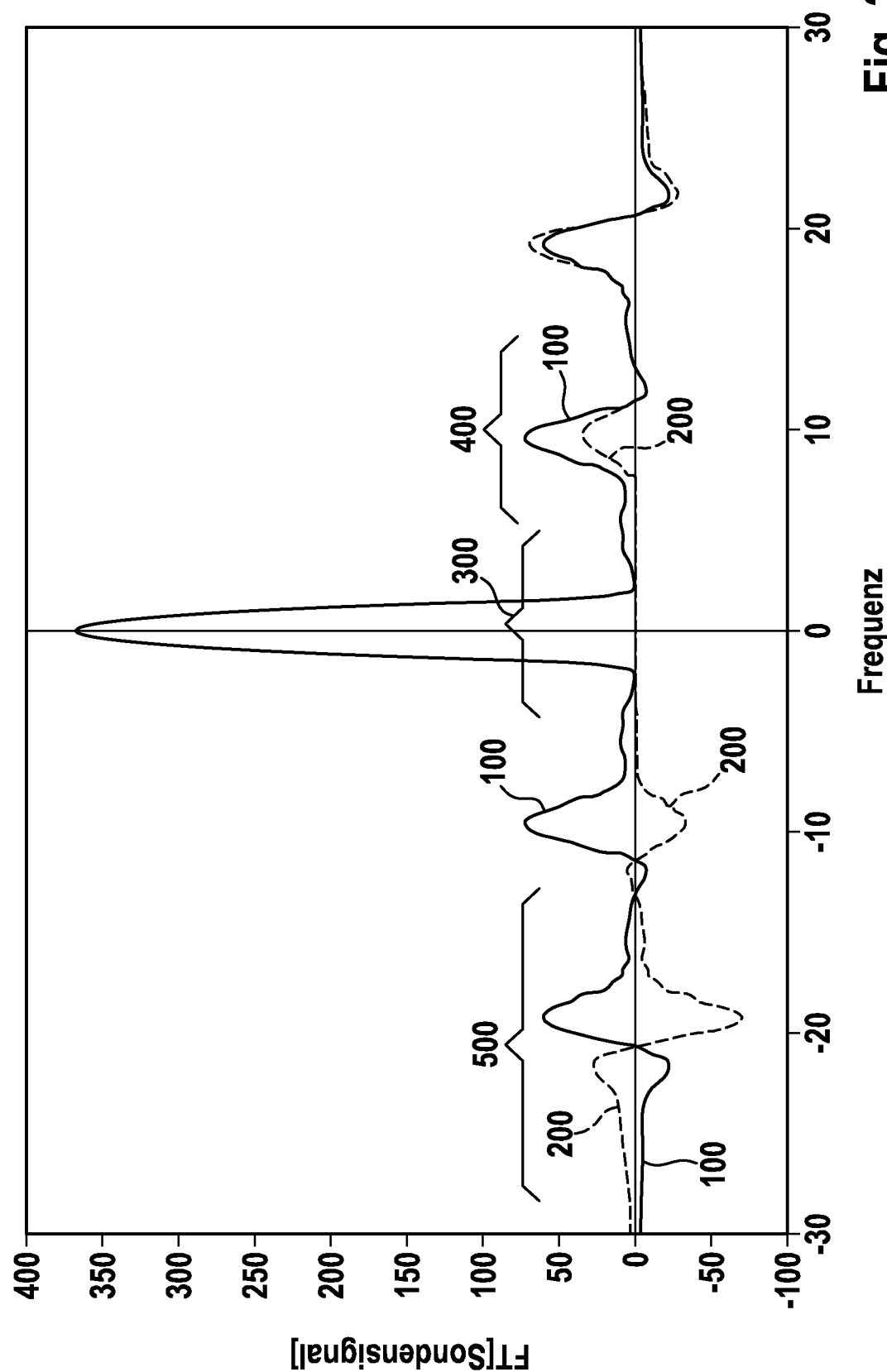


Fig. 2B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/060680

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01N27/406 G01N27/41 F02D41/14 G01N33/00 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national Classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (Classification System followed by Classification Symbols) G01N F02D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
X	DE 10 2008 042549 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 8 April 2010 (2010-04-08) paragraphs [0012] , [0030] ; figure 1 -----	1-10
X	DE 10 2007 045984 AI (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 2 April 2009 (2009-04-02) Paragraph [0032] ; figures 2-4 -----	1
A	EP 1 006 353 A2 (FORD GLOBAL TECH INC [US]) 7 June 2000 (2000-06-07) paragraphs [0014] , [0015] -----	2-10
A	EP 1 006 353 A2 (FORD GLOBAL TECH INC [US]) 7 June 2000 (2000-06-07) paragraphs [0014] , [0015] -----	1-10
A	DE 10 2004 042027 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 2 March 2006 (2006-03-02) Paragraph [0017] - paragraph [0019] -----	1-10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general State of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 1 September 2011		Date of mailing of the international search report 08/09/2011
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Klein, Marc-Oliver

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/060680

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102008042549 AI	08-04-2010	US 2010083743 AI	08-04-2010
DE 102007045984 AI	02-04-2009	Wo 2009043737 AI	09-04-2009
EP 1006353 A2	07-06-2000	JP 2000162173 A	16-06-2000
		US 6360583 BI	26-03-2002
DE 102004042027 AI	02-03-2006	EP 1789776 AI	30-05-2007
		Wo 2006024556 AI	09-03-2006
		JP 4537454 B2	01-09-2010
		JP 2008510959 A	10-04-2008
		US 2009038941 AI	12-02-2009

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/060680

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01N27/406 G01N27/41 F02D41/14 G01N33/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01N F02D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2008 042549 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 8. April 2010 (2010-04-08) Absätze [0012] , [0030] ; Abbidung 1 -----	1-10
X	DE 10 2007 045984 AI (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 2. April 2009 (2009-04-02) Absatz [0032] ; Abbidungen 2-4 -----	1
A	EP 1 006 353 A2 (FORD GLOBAL TECH INC [US]) 7. Juni 2000 (2000-06-07) Absätze [0014] , [0015] -----	2-10
A	EP 1 006 353 A2 (FORD GLOBAL TECH INC [US]) 7. Juni 2000 (2000-06-07) Absätze [0014] , [0015] -----	1-10
A	DE 10 2004 042027 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 2. März 2006 (2006-03-02) Absatz [0017] - Absatz [0019] -----	1-10
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 1. September 2011		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 08/09/2011
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Klein, Marc-Oliver

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/060680

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102008042549 AI	08-04-2010	US 2010083743 AI	08-04-2010
DE 102007045984 AI	02-04-2009	WO 2009043737 AI	09-04-2009
EP 1006353 A2	07-06-2000	JP 2000162173 A	16-06-2000
		US 6360583 B1	26-03-2002
DE 102004042027 AI	02-03-2006	EP 1789776 AI	30-05-2007
		WO 2006024556 AI	09-03-2006
		JP 4537454 B2	01-09-2010
		JP 2008510959 A	10-04-2008
		US 2009038941 AI	12-02-2009