

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
17. Dezember 2015 (17.12.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/189014 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F02D 41/14 (2006.01) *F02D 41/24* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/061094
- (22) Internationales Anmeldedatum:
20. Mai 2015 (20.05.2015)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2014 211 162.5 11. Juni 2014 (11.06.2014) DE
- (71) Anmelder: **VOLKSWAGEN
AKTIENGESellschaft** [DE/DE]; Berliner Ring 2,
38440 Wolfsburg (DE).
- (72) Erfinder: **PETERSEN, Lars**; Heidbrooksring 30, 38536
Meinersen (DE). **BRENDEL, Louisa**; Klintweg 31, 38527
Meine (DE). **SCHMIDGAL, Jurij**; Von-Campe-Ring 68,
38550 Isenbüttel (DE). **SHURKEWITSCH, Andre**;
Buchenweg 9, 19348 Perleberg (DE). **WEISE, Ingo**;
Landgestütstraße 28, 29221 Celle (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR FILLING LEVEL DETECTION IN A CYLINDER OF A COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR FÜLLUNGSERFASSUNG IN EINEM ZYLINDER EINER VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINE

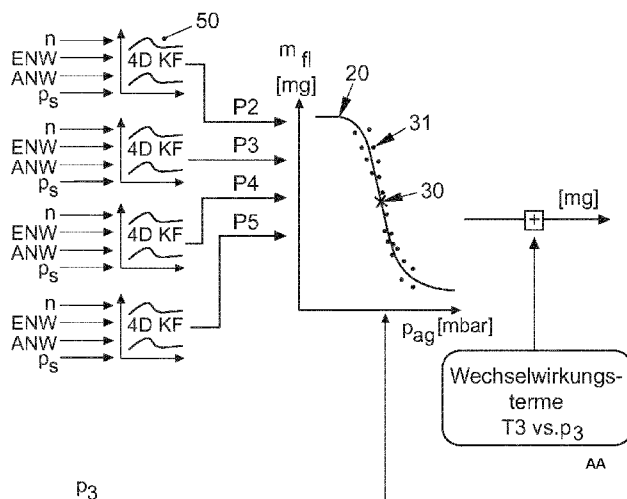


FIG. 7

FIG. 7:
AA Interaction terms

(57) Abstract: The invention relates to a method (10) for filling level detection in a cylinder of a combustion engine, said cylinder being connected to an intake runner via an inlet valve, and to an exhaust channel via an exhaust valve. The method (10) comprises the following steps: providing (102) a database having a data set relating to an amount of a filling component in accordance with an exhaust gas back pressure (p_{ag}) in the outlet channel, said step (102) of providing a database involving the provision (100) of measurement data (30) measured on a test bed, and the provision (101) of simulation data (31) calculated using a charge exchange calculation; determining (103) a basic function (20) that qualitatively describes the dependency of the filling component amount on the exhaust gas back pressure (p_{ag}); and adapting (104) the basic function (20) to at least the one data set of the database by appropriately selecting variable parameters of the basic function (20).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (10) zur Füllungserfassung in einem Zylinder

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



einer Verbrennungskraftmaschine, wobei der Zylinder über ein Einlassventil mit einem Saugrohr und über ein Auslassventil mit einem Auslasskanal verbunden ist. Das Verfahren (10) umfasst die Schritte: Bereitstellen (102) einer Datenbasis mit einem Datensatz betreffend eine Menge einer Füllungskomponente in Abhängigkeit eines Abgasgegendrucks (p_{ag}) im Auslasskanal, wobei der Schritt des Bereitstellens (102) einer Datenbasis enthält: Bereitstellen (100) von Messdaten (30), die an einem Prüfstand gemessen sind, und Bereitstellen (101) von Simulationsdaten (31), die mittels einer Ladungswechselrechnung berechnet sind, Bestimmen (103) einer Basisfunktion (20), die die Abhängigkeit der Menge der Füllungskomponente vom Abgasgegendruck (p_{ag}) qualitativ beschreibt, und Anpassen (104) der Basisfunktion (20) an zumindest den einen Datensatz der Datenbasis durch geeignete Wahl von variablen Parametern der Basisfunktion (20).

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine und eine Vorrichtung zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine.

Um eine Verbrennungskraftmaschine eines Fahrzeugs bei geringem Kraftstoffverbrauch und geringem Schadstoffausstoß zu betreiben, werden die Anteile an Frischluft, Restgas und Spülluft einer Zylinderfüllung durch Regelung eines Einlassventils und eines Auslassventils in geeigneter Weise eingestellt. Dazu werden bei einem Viertaktmotor beispielsweise die vier Prozessschritte Ansaugen, Verdichten, Verbrennen und Ausstoßen durchlaufen. Beim Ansaugen wird das Einlassventil, kurz bevor der Kolben einen oberen Totpunkt erreicht, geöffnet, wobei das Auslassventil geöffnet bleibt. Nach Durchlaufen des oberen Totpunkts wird das Auslassventil geschlossen. Erst, nachdem der Kolben den unteren Totpunkt erreicht hat und sich teilweise wieder nach oben bewegt hat, wird das Einlassventil wieder geschlossen. Insbesondere bei Verbrennungskraftmaschinen, die auf dem Miller-Verfahren basieren, hat die Füllung des Zylinders einen erheblichen Einfluss auf deren Betriebseigenschaften. Das Miller-Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass das Einlassventil im Vergleich zum herkömmlichen Otto-Prozess sehr früh schließt, wodurch die Luftmenge im Zylinder verringert ist. Für die Entwicklung von Verbrennungskraftmaschinen ist es daher von großer Bedeutung, dass auf Modelle zur Füllungserfassung zurückzugriffen werden kann, auf deren Genauigkeit Verlass ist.

Es existieren mehrere Ansätze zur Füllungsmodellierung. Gemäß einem Ansatz lassen sich mit Hilfe der Schaltzeitpunkte von Einlass- und Anlassventilen eine Gesamtgasmasse und eine Restgasmasse im Zylinder berechnen. Unter Anwendung der allgemeinen Gleichung für ideale Gase wird Druckgleichheit zwischen Saugrohr und Zylinder bzw. zwischen Abgaskrümmen und Zylinder angenommen. Ein Beispiel für eine solche Berechnung der Luftfüllung einer Verbrennungskraftmaschine wird durch die DE 43 25 902 A1 gegeben. Allerdings ist bei diesem Ansatz eine Reihe von Vereinfachungen vorzunehmen, so dass viele Betriebspunkte nicht ausreichend genau beschrieben werden können. Auch empirische Modellkorrekturen führen nicht zu der erwünschten Genauigkeit.

Gemäß einem weiteren Ansatz werden Schluckkurven für alle möglichen Kombinationen der füllungsbeeinflussenden Größen des Motors abgelegt. Aus der DE 102 49 342 A1 ist beispielsweise ein Verfahren zum Bestimmen des Restgaspartialdrucks in einem Brennraum einer Brennkraftmaschine bekannt. Dabei werden für unterschiedliche Zeitpunkte für das Schließen und Öffnen von Einlass- bzw. Auslassventilen Kennfelder aufgenommen. Diese können zum Bestimmen der Restgaswerte mit einem Schwerpunktfaktor interpoliert werden. Alternativ kann mit einem entsprechenden Ansatz auch die Frischluftmasse in Abhängigkeit des Saugrohrdrucks bestimmt werden. Dieser datenbasierte Ansatz ermöglicht jedoch keine physikalische Modellierung. Zudem wird der Abgasgegendruck bei der Füllungserfassung nicht physikalisch korrekt berücksichtigt, da dieser nur mit sehr großem Aufwand unabhängig vom Saugrohrdruck variiert werden kann. Interpolationen und Extrapolationen insbesondere hinsichtlich des Abgasgegendruckes führen zu einer nicht ausreichenden Genauigkeit des Modells.

Ein dritter Ansatz beruht auf der Ladungswechselrechnung, wobei eine Simulation des Motorprozesses durchgeführt wird. Insbesondere ist eine eindimensionale Ladungswechselrechnung bekannt, bei der eine zeitliche und entlang der Rohre räumliche Beschreibung der Vorgänge geliefert wird. Allerdings liefert auch die Ladungswechselrechnung nur eine begrenzte Genauigkeit der Füllungserfassung. Zudem ist die Ladungswechselrechnung rechenintensiv.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine zur Verfügung zu stellen, die die oben genannten Nachteile wenigstens teilweise überwindet.

Diese Aufgabe wird durch das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 1 und die erfindungsgemäße Vorrichtung nach Anspruch 9 gelöst.

Ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine, wobei der Zylinder über ein Einlassventil mit einem Saugrohr und über ein Auslassventil mit einem Auslasskanal verbunden ist, enthält die Schritte:

Bereitstellen einer Datenbasis mit einem Datensatz betreffend eine Menge einer Füllungskomponente in Abhängigkeit eines Abgasgegendrucks im Auslasskanal, wobei der Schritt des Bereitstellens der Datenbasis enthält:

Bereitstellen von Messdaten, die an einem Prüfstand gemessen sind, und

Bereitstellen von Simulationsdaten, die mittels einer Ladungswechselrechnung berechnet sind,

Bestimmen einer Basisfunktion, die die Abhängigkeit der Menge der Füllungskomponente vom Abgasgegendruck qualitativ beschreibt, und

Anpassen der Basisfunktion an den Datensatz der Datenbasis durch geeignete Wahl von variablen Parametern der Basisfunktion.

Ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine, insbesondere zum Ausführen des erwähnten Verfahrens, wobei der Zylinder über ein Einlassventil mit einem Saugrohr und über ein Auslassventil mit einem Auslasskanal verbunden ist, umfasst

eine Schnittstelle zum Bereitstellen einer Datenbasis mit einem Datensatz betreffend eine Menge einer Füllungskomponente in Abhängigkeit eines Abgasgegendrucks im Auslasskanal, wobei der Datensatz Messdaten, die an einem Prüfstand gemessen sind, und Simulationsdaten, die mittels einer Ladungswechselrechnung berechnet sind, enthält,

eine Bestimmungseinheit zum Bestimmen einer Basisfunktion, die die Abhängigkeit der Menge der Füllungskomponente vom Abgasgegendruck qualitativ beschreibt, und

eine Korrekturereinheit zum Anpassen der Basisfunktion an den Datensatz der Datenbasis durch geeignete Wahl von variablen Parametern der Basisfunktion.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine basiert auf einer Ausgestaltung der Verbrennungskraftmaschine, bei der der Zylinder über ein Einlassventil mit einem Saugrohr und über ein Auslassventil mit einem Auslasskanal, insbesondere einem Auslasskanal einer Auspuffanlage, verbunden ist. Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird eine Datenbasis mit einem Datensatz betreffend eine Menge einer Füllungskomponente in Abhängigkeit von einem Abgasgegendruck im Auslasskanal bereitgestellt. Der Schritt des Bereitstellens der Datenbasis enthält das Bereitstellen von Messdaten, die an einem Prüfstand gemessen sind, und das Bereitstellen von Simulationsdaten, die mittels einer Ladungswechselrechnung berechnet sind. Nach dem Bereitstellen der Datenbasis wird auf dieser Grundlage eine Basisfunktion bestimmt, die die Abhängigkeit der Menge der Füllungskomponente vom Abgasgegendruck qualitativ beschreibt. Ein nachfolgender Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens enthält das Anpassen der

Basisfunktion an den Datensatz der Datenbasis durch geeignete Wahl von variablen Parametern der Basisfunktion.

Die Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine erfolgt nunmehr in Abhängigkeit des Abgasgegendrucks. Da die Füllung in dem Zylinder auch bei konstantem Saugrohrdruck veränderbar ist, sobald eine Änderung des Abgasgegendrucks vorliegt, kann auf Basis der Füllungserfassung in Abhängigkeit des Abgasgegendrucks eine genaue Darstellung der Füllungsänderung zur Verfügung gestellt werden. Außerdem kann mit Hilfe der anpassbaren Basisfunktion ein gutes Extrapolationsergebnis erzielt werden, wodurch die Robustheit erhöht werden kann. Zudem setzt sich die Datenbasis mit dem Datensatz aus Messdaten, die an einem Prüfstand gemessen sind, und aus Simulationsdaten, die mittels der Ladungswechselrechnung berechnet sind, zusammen. Damit lässt sich ein verbessertes Modell bereitstellen, das aufgrund der erhöhten Anzahl an Datenpunkten die tatsächliche Füllung sehr gut wiedergibt. Das mit Hilfe der angepassten Basisfunktion bereitgestellte Modell ist sehr robust und verringert Fehler sowohl in den Simulationswerten als auch in den realen Messdaten.

Auf der Grundlage des Modells, das durch das erfindungsgemäße Verfahren bereitgestellt wird, können die füllungsbeeinflussenden Stelleinheiten sehr genau gesteuert werden. Damit wird es möglich, dass sich auch bei hohen Drehzahlen die Öffnungszeiten von Einlass- und Auslassventil teilweise überschneiden (Scavenging), so dass ein Teil der angesaugten kalten Frischluft das im Zylinder befindliche heiße Abgas in den Abgaskrümmen spült, wodurch die Füllung weiter verbessert werden kann.

Das Verfahren zur Füllungserfassung kann insbesondere bei der Entwicklung von Verbrennungskraftmaschinen, die auf dem Grundprinzip des Otto-Prozesses basieren, Anwendung finden. Alternativ kann das Verfahren zur Füllungserfassung auch bei der Entwicklung von Dieselmotoren zum Einsatz kommen.

Die Menge der Füllungskomponente kann als eine Masse der Frischluftkomponente, beispielsweise eine Ruhemasse oder eine molare Masse, oder als ein Volumen der Frischluftkomponente sein.

Die Füllung des Zylinders einer Verbrennungskraftmaschine setzt sich aus verschiedenen Mengenanteilen an Füllungskomponenten, wie der Frischluft, dem Restgas und/oder der durchgespülten Luft, zusammen. Je nach Ausgestaltung der Verbrennungskraftmaschine

können noch zusätzliche Füllungskomponenten von Bedeutung sein, beispielsweise rückgeführtes Abgas. Der Datensatz der Datenbasis, die gemäß des erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellt wird, kann also beispielsweise eine Frischluftmasse, eine Restgasmasse, eine durchgespülte Luftmasse oder eine zusätzliche Gasmasse sein. Das Verfahren zur Füllungserfassung zielt somit darauf ab, zumindest die Frischluftmenge und/oder die Restgasmenge in einem Zylinder zu bestimmen. Gegebenenfalls können auch die durchgespülte Luftmenge oder eine Menge einer anderen Füllungskomponente berechnet werden. Die Datenbasis kann auch zwei oder mehr Datensätze enthalten, die unterschiedliche Füllungskomponenten betreffen. Beispielsweise kann die Datenbasis einen Datensatz betreffend die Frischluftmenge und einen Datensatz betreffend die Restgasmenge enthalten. Gegebenenfalls kann die Datenbasis zudem einen Datensatz betreffend die Spülluftmenge enthalten.

Als Frischluft kann bei einer Direkteinspritzung die in das Saugrohr eingeleitete Umgebungsluft verstanden werden, deren Zusammensetzung im Wesentlichen der Zusammensetzung des Gasgemisches der Erdatmosphäre entsprechen kann. Wird eine Abgasrückführung eingesetzt, so kann als Frischluft auch ein Gemisch aus Umgebungsluft und rückgeführtem Abgas angesehen werden. Bei Einspritzung eines Luft-Kraftstoff-Gemisches in den Zylinder kann als Frischluft auch ein Gemisch aus in das Saugrohr eingeleiteter Umgebungsluft und Kraftstoff verstanden werden.

Unter Restgas ist die aus dem Zylinder abgeleitete verbrannte Luft zu verstehen. Fließt Frischluft beim Ladungswechsel durch den Zylinder und gelangt unverbrannt in den Auslasskanal, beispielsweise zwischen den Schritten Ausstoßen und Ansaugen, so bezeichnet man diese Gasmenge als Spülluft.

Zum Bereitstellen der Messdaten können die Mengen der Füllungskomponente bzw. jeder Füllungskomponente beispielsweise an einem Prüfstand gemessen werden. Die die Mengen der Füllungskomponenten oder mehrerer Füllungskomponenten betreffenden Messdaten können alternativ oder zusätzlich auch aus gemessenen Größen berechnet werden. Zum Beispiel kann die Frischluftmenge an dem Prüfstand gemessen werden und die Restgasmenge auf Basis der gemessenen Frischluftmenge berechnet werden. Alternativ oder zusätzlich können die Mengen der Füllungskomponente bzw. jeder Füllungskomponente beispielsweise aus einem Speichermedium, insbesondere aus einem elektronischen Datenspeicher, abgerufen werden, in das zuvor an einem Prüfstand gemessene Messdaten und/oder aus gemessenen Größen berechnete Werte gespeichert wurden. Je nach den Anforderungen können die

Messdaten somit direkt gemessen werden, aus gemessenen Größen berechnet werden, und/oder wiederverwendet werden, falls geeignete Messdaten bereits zu anderen Zwecken gemessen bzw. berechnet wurden und somit im gespeicherten Zustand vorliegen. Der Messaufwand kann somit in Grenzen gehalten werden.

Die Simulationsdaten können vorzugsweise mit Hilfe der Ladungswechselrechnung, insbesondere der eindimensionalen Ladungswechselrechnung, bestimmt werden. Dazu kann beispielsweise ein geeigneter Simulationsalgorithmus, der beispielsweise durch einen Prozessor ausgeführt wird, zum Einsatz kommen. Auf dem Gebiet der Simulation von Motordaten ist zum Beispiel die GT Power Engine Simulation Software der Firma Gamma Technologies bekannt. Die Berechnung der Simulationsdaten ist jedoch nicht nur auf die Simulation mit Hilfe von GT Power Engine Simulation Software beschränkt, sondern kann auch mit anderen Simulationsalgorithmen bereitgestellt werden. Alternativ oder zusätzlich können auch bereits zuvor durch Simulation bestimmte Simulationsdaten, die auf einem Speichermedium hinterlegt sind, zum Bereitstellen der Simulationsdaten abgerufen werden. Damit kann, sofern geeignete Simulationsdaten bereits vorhanden sind, der Rechenaufwand effektiv reduziert werden.

Typischerweise ergibt sich stationär bei aufgeladenem Motor exakt ein Abgasgegendruck, solange relevante füllungsbeeinflussende Größen wie eine Drehzahl, ein Saugrohrdruck, eine Einlassnockenwellenphase, eine Auslassnockenwellenphase und/oder andere Größen, konstant sind. Genau dieser Abgasgegendruck kann messtechnisch stationär am Prüfstand zusammen mit der entsprechenden Füllungskomponente erfasst werden. In der Dynamik kann ein Abgasturbolader einen Querschnitt (Strömungsquerschnitt) verringern und es kann sich bei den gleichen konstanten Einflussgrößen (Drehzahl, Saugrohrdruck, Einlassnockenwellenphase, Auslassnockenwellenphase und/oder andere Größen) ein anderer Abgasgegendruck einstellen, weshalb sich die Füllungskomponente in der Dynamik nicht oder nur mit großem Aufwand messtechnisch erfassen lässt. Eine Variation des Abgasgegendruckes, bei ansonsten konstanten Einflussgrößen, kann jedoch durch die Simulation ergänzt werden. Es kann beispielsweise exakt ein Datenpunkt gemessen und die anderen simuliert sein, um die Basisfunktion in Abhängigkeit vom Abgasgegendruck beschreiben zu können. Die simulierten Daten können u.U. in der Dynamik real erreicht werden, nicht aber stationär gemessen werden.

Aus einer qualitativen Betrachtung der Messdaten und Simulationsdaten des einen Datensatzes oder mehrerer Datensätze betreffend eine der Füllungskomponenten kann qualitativ eine Basisfunktion abgeleitet werden. Die Basisfunktion kann in grober Näherung eine Funktion sein,

die einen ersten und zweiten Kurvenabschnitt, die jeweils konstanten Funktionen folgen, und einen dritten Kurvenabschnitt, der eine lineare Steigung enthält, aufweisen. In einer genaueren Näherung kann die Basisfunktion als Funktion bestimmt sein, die einen ersten Kurvenabschnitt und einen zweiten Kurvenabschnitt, die jeweils konstanten Funktionen folgen, und mindestens zwei gekrümmte Abschnitte, die zwischen dem ersten und dem zweiten Kurvenabschnitt angeordnet sind, enthalten.

In einer noch feineren Näherung kann die Basisfunktion eine Sigmoidfunktion (Schwanenhalsfunktion oder S-Funktion) sein. Eine Sigmoidfunktion ist als mathematische Funktion mit einem S-förmigen Graphen zu verstehen. Die Sigmoidfunktion kann eine Reihe von Parametern enthalten, die einen Einfluss von füllungsbeeinflussenden Größen, beispielsweise der Drehzahl, des Saugrohrdrucks, der Steuerphase des Einlassventils, der Steuerphase des Auslassventils, des Einlassventilhubs und/oder des Auslassventilhubs, auf die Menge der Füllungskomponente wiedergeben. Zudem können auch weitere füllungsbeeinflussende Größen wie eine Saugrohrtemperatur, eine Motortemperatur, eine Abgastemperatur, ein Abgasgegendruck nach einer Turbine, eine Stellung einer Ladungsbewegungsklappe, eine Saugrohrlängenumschaltung, eine Zylinderabschaltung und/oder ein sogenanntes „Second Event“ (ein weiteres Öffnen des Einlass- oder Auslassventils), die Menge der Füllungskomponente beeinflussen. Diese weiteren füllungsbeeinflussenden Größen können als weitere Parameter, als Add-On-Modell, durch physikalisch-basierte Korrekturen und/oder durch ein separates Füllungsmodell in der Sigmoidfunktion berücksichtigt werden.

Typische Basisfunktionen für die verschiedenen Füllungskomponenten werden nachfolgend aufgeführt.

Die Basisfunktion für die Berechnung der Frischluftmasse kann beispielsweise lauten:

$$y_{fl} = \frac{P2}{1 + \frac{e^{P3(P4-x)}}{1 + e^{\frac{2P3P5(P4-x)}{|P3+P5|}}} + \left(1 - \frac{1}{1 + e^{\frac{2P3P5(P4-x)}{|P3+P5|}}} \right) e^{P5(P4-x)}} \quad (I)$$

Dabei ist y_{fl} die normierte Frischluftmasse, x der normierte Abgasgegendruck und $P2$, $P3$, $P4$ und $P5$ variable Parameter der Basisfunktion, die so veränderbar sind, dass die Basisfunktion

optimal an den Datensatz der jeweiligen Füllungskomponente angepasst ist. Der normierte Abgasgegendruck lässt sich gemäß der Gleichung

$$x = \frac{p_{ag} - p_{ag \min}}{p_{ag \max}} \quad (II)$$

berechnen, wobei p_{ag} der Abgasgegendruck, $p_{ag \min}$ der minimale Abgasgegendruck und $p_{ag \max}$ der maximale Abgasgegendruck ist. Die Frischluftmasse m_{fl} lässt sich berechnen durch

$$m_{fl} = y_{fl} \cdot m_{fl \max} - m_{fl \min} \quad (III),$$

wobei $m_{fl \min}$ die minimale Frischluftmasse und $m_{fl \max}$ die maximale Frischluftmasse ist.

Wie aus Gleichung I beispielhaft hervorgeht, kann eine Basisfunktion für die Modellierung einer Frischluftmasse vier Parameter P2, P3, P4 und P5 enthalten, wobei diese vier Parameter eine x-Verschiebung, d.h. eine Verschiebung der Basisfunktion zu einem höheren oder niedrigeren Abgasgegendruck, eine Amplitude, eine untere Krümmung und eine obere Krümmung der Basisfunktion festlegen können. Die vier Parameter bzw. die x-Verschiebung, die Amplitude und die obere und die untere Krümmung der Basisfunktion können zum Beispiel von der Drehzahl, dem Saugrohrdruck, der Steuerphase des Einlassventils und/oder der Steuerphase des Auslassventils abhängig sein. Eine solche Abhängigkeit wird weiter unten bezüglich eines konkreten Beispiels im Detail beschrieben. Die Steuerphase des Einlassventils und/oder des Auslassventils kann durch die Stellung der Einlassnockenwelle und/oder die Stellung der Auslassnockenwelle bestimmt sein. Alternativ können das Einlassventil und/oder das Auslassventil auch anderweitig, beispielsweise elektronisch, mechanisch oder magnetisch steuerbar sein.

Für die Restgasmasse lässt sich beispielsweise die folgende Funktion als Basisfunktion einsetzen:

$$y_{rg} = \frac{Q^2}{1 + \frac{e^{Q^3(Q^4-x)}}{1 + e^{\frac{2Q^3Q^5(Q^4-x)}{|Q^3+Q^5|}}} + \left(1 - \frac{1}{1 + e^{\frac{2Q^3Q^5(Q^4-x)}{|Q^3+Q^5|}}} \right) e^{Q^5(Q^4-x)}} \quad (IV),$$

wobei y_{rg} die normierte Restgasmasse, x der normierte Abgasgegendruck, der entsprechend der Gleichung II definiert ist, und Q2, Q3, Q4 und Q5 variable Parameter der Basisfunktion sind. Analog zur Frischluftmasse lässt sich die Restgasmasse m_{rg} gemäß

$$m_{rg} = y_{rg} \cdot m_{rg \max} - m_{rg \min} \quad (V)$$

berechnen, wobei $m_{rg \min}$ die minimale Restgasmasse und $m_{rg \max}$ die maximale Restgasmasse ist.

Auch eine Basisfunktion für die Modellierung einer Restgasmasse kann vier Parameter Q2, Q3, Q4 und Q5 enthalten. Die Parameter Q2, Q3, Q4 und Q5 können wiederum eine X-Verschiebung bzw. eine Verschiebung der Basisfunktion zu einem höheren oder niedrigeren Abgasgegendruck, eine Amplitude, eine untere Krümmung und/oder eine obere Krümmung der Basisfunktion festlegen. Weiterhin können die vier Parameter von der Drehzahl, dem Saugrohrdruck, der Steuerphase des Einlassventils und/oder der Steuerphase des Auslassventils abhängen.

Die durch die Gleichungen I und IV beschriebenen Basisfunktionen für die Frischluftmasse bzw. die Restgasmasse ergeben den typischen Verlauf einer S-Funktion.

Ein Beispiel für eine Basisfunktion für die Modellierung einer Spülluftmasse kann der folgenden Gleichung folgen:

$$y_{sl} = R1 + R2 \left(\frac{1}{1 + e^{R3(R4-x)}} + \frac{1}{1 + e^{R3(R5-x)}} \right) \quad (VI)$$

Dabei ist y_{sl} die normierte Spülluftmasse, x der durch die Gleichung II definierte normierte Abgasgegendruck und R1, R2, R3, R4 und R5 variable Parameter der Basisfunktion. Die Basisfunktion für die Spülluftmasse kann beispielsweise eine aus zwei Sigmoidfunktionen zusammengesetzte Funktion sein. Die Parameter R1, R2, R3, R4 und R5 können eine X-Verschiebung bzw. eine Verschiebung der Basisfunktion zu einem höheren oder niedrigeren Abgasgegendruck, eine Amplitude, eine untere Krümmung, eine mittlere obere Krümmung, eine mittlere untere Krümmung und/oder eine obere Krümmung der Basisfunktion festlegen.

Die Basisfunktion kann nicht nur für einen bestimmten Betriebszustand der Verbrennungskraftmaschine bestimmt werden, sondern für eine Reihe von unterschiedlichen Betriebs-

zuständen, da die Füllungskomponenten einer Zylinderfüllung beispielsweise von einem Saugrohrdruck, einer Motordrehzahl, einer Steuerphase des Einlassventils und/oder einer Steuerphase des Auslassventils der Verbrennungskraftmaschine abhängen können. Daher kann es nützlich sein, die Basisfunktionen jeweils für unterschiedliche Saugrohrdrücke, Motordrehzahlen, Steuerphasen des Einlassventils und/oder Steuerphasen des Auslassventils zu bestimmen. Dazu kann beispielsweise eine Datenbasis zur Verfügung gestellt werden, die unterschiedliche Datensätze betreffend die Füllungskomponente bzw. jede Füllungskomponente für die verschiedenen Betriebszustände der Verbrennungskraftmaschine enthält. Für jeden dieser Datensätze können anschließend die variablen Parameter bestimmt werden. Die variablen Parameter können von mindestens einer den Betriebszustand bestimmenden Größe, wie dem Saugrohrdruck, der Drehzahl und den Steuerphasen des Einlassventils und des Auslassventils, abhängen. In manchen Beispielen können die variablen Parameter jeweils vom Saugrohrdruck, der Drehzahl und den Steuerphasen des Einlassventils und des Auslassventils abhängen. Durch die betriebszustandsabhängige Bestimmung der variablen Parameter lässt sich die Masse einer oder jeder Füllungskomponente sehr genau und zuverlässig modellieren.

Um die Massen der Füllungskomponenten auch für nicht-messbare Betriebszustände modellieren zu können, können die variablen Parameter für nicht-messbare Betriebszustände auf Basis der bereits bestimmten variablen Parameter abgeschätzt werden, insbesondere simuliert, extrapoliert oder intrapoliert werden.

Die bestimmten variablen Parameter für die unterschiedlichen messbaren und/oder simulierbaren Betriebszustände und/oder die abgeschätzten Parameter für nicht-messbare Betriebszustände können beispielsweise in einer Speichereinheit, beispielsweise einem elektronischen Datenspeicher, abgelegt werden. Es kann hilfreich sein, die variablen Parameter der Basisfunktion in mehrdimensionalen Kennräumen abzulegen. Alternativ kann ein Modell der Basisfunktion in künstlichen neuronalen Netzen abgelegt werden. Weitere Alternativen des Ablegens des Modells liegen in der Nutzung von Polynom-Modellen oder gaußschen Prozessmodellen.

Mit Hilfe der mehrdimensionalen Kennräume ist es möglich, variable Parameter für verschiedenste Betriebszustände, beispielsweise verschiedene Drehzahlen n , Saugrohrdrücke p_s und verschiedene Stellungen des Einlassventils φ_{ENW} und des Auslassventils φ_{ANW} , festzuhalten und so exakt die Massen der Füllungskomponenten in ganz bestimmten

Betriebszuständen zu modellieren. Dazu können die variablen Parameter, beispielsweise für die Frischluftmasse nach Gleichung I die Parameter

$$P2 = KR_{P2}(n, \varphi_{ENW}, \varphi_{ANW}, p_s)$$

$$P3 = KR_{P3}(n, \varphi_{ENW}, \varphi_{ANW}, p_s)$$

$$P4 = KR_{P4}(n, \varphi_{ENW}, \varphi_{ANW}, p_s)$$

$$P5 = KR_{P5}(n, \varphi_{ENW}, \varphi_{ANW}, p_s),$$

entnommen werden. Damit kann die Masse einer bzw. jeder Füllungskomponente schnell und ohne großen Rechenaufwand bestimmt werden.

Der Saugrohrdruck kann eine wesentliche Rolle bei der Bestimmung von Mengen von Füllungskomponenten spielen. Unter Umständen kann es daher günstig sein, aufgrund der starken Beeinflussung der Mengen der Füllungskomponenten von dem Saugrohrdruck eine Basisfunktion in Abhängigkeit sowohl des Abgasgegendrucks als auch des Saugrohrdrucks zur Verfügung zu stellen. Dazu kann beispielsweise eine Datenbasis mit Messdaten und Simulationsdaten betreffend die Menge einer oder jeder der Füllungskomponenten in Abhängigkeit des Abgasgegendrucks im Auslasskanal und des Saugrohrdrucks im Saugrohr bereitgestellt werden. Auf Basis dieser Datenbasis kann eine Basisfunktion bestimmt werden, die die Abhängigkeit der Menge der Füllungskomponente sowohl vom Abgasgegendruck als auch vom Saugrohrdruck qualitativ beschreibt.

Für eine Frischluftmasse m_{fl} kann die Basisfunktion beispielsweise folgender Gleichung folgen:

$$m_{fl} = S1 + \left(S21 + \frac{S23}{1 + e^{-S25(p_s - S24 - \frac{1}{2}S26)}} - \frac{S23}{1 + e^{-S25(p_s - S24 + \frac{1}{2}S26)}} \right) p_{ag} + \frac{S31 + \frac{S33}{1 + e^{-S35(p_s - S34)}}}{1 + e^{-\left(S51 + \frac{S53}{1 + e^{-S55(p_s - S54)}} \right) (p_{ag} S4)}} \quad (VII),$$

wobei p_s der Saugrohrdruck, p_{ag} der Abgasgegendruck und $S1$, $S21$, $S23$, $S24$, $S25$, $S26$, $S31$, $S33$, $S34$, $S35$, $S51$, $S53$, $S54$, $S55$ und $S4$ variable Parameter sind. Entsprechende Basisfunktionen in Abhängigkeit vom Abgasgegendruck und vom Saugrohrdruck lassen sich auch für eine Restgasmasse und für eine Spülluftmasse finden. Die jeweiligen Basisfunktionen können mehrere variable Parameter enthalten. Die variablen Parameter, die durch die

Anpassung der Basisfunktion erhalten wurden, und gegebenenfalls solche, die aus den aus der Anpassung erhaltenen Parametern abgeschätzt wurden, können wiederum in Kennräumen abgelegt werden, sodass zur Modellierung letztlich nur die jeweiligen Parameter aufgerufen werden müssen und nicht die zugrundeliegenden Datensätze gespeichert werden müssen.

Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine. Die Vorrichtung kann zum Beispiel zum Durchführen des oben beschriebenen Verfahrens zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine eingesetzt werden. Die Vorrichtung ist so ausgestaltet, dass die Füllung eines Zylinders, der über ein Einlassventil mit dem Saugrohr und über ein Auslassventil mit einem Auslasskanal verbunden ist, erfassbar ist. Die Vorrichtung enthält eine Schnittstelle, wie z.B. eine Hardwareschnittstelle, zum Bereitstellen einer Datenbasis, die so ausgebildet ist, dass eine Datenbasis mit einem Datensatz betreffend eine Menge einer Füllungskomponente in Abhängigkeit eines Abgasgegendrucks im Auslasskanal bereitstellbar ist. Dieser Datensatz enthält Messdaten, die an einem Prüfstand gemessen sind, und Simulationsdaten, die mittels einer Ladungswechselrechnung berechnet sind. Die Vorrichtung enthält weiterhin eine Bestimmungseinheit zum Bestimmen einer Basisfunktion, die derart ausgebildet ist, dass eine Basisfunktion, die die Abhängigkeit der Menge der Füllungskomponente vom Abgasgegendruck qualitativ beschreibt, bestimmbar ist. Ferner umfasst die Vorrichtung eine Korrekturereinheit zum Anpassen der Basisfunktion an Daten der Datenbasis, die so ausgebildet ist, dass die Basisfunktion an zumindest den einen Datensatz der Datenbasis durch geeignete Wahl von variablen Parametern der Basisfunktion anpassbar ist. Die Bestimmungseinheit und die Korrekturereinheit können elektronische Bauteile aufweisen, wie einen Mikroprozessor, einen Datenspeicher und dergleichen. In manchen Ausführungsbeispielen können die Bestimmungseinheit und die Korrekturereinheit als ein einziger Prozessor verwirklicht sein.

Die Vorrichtung zur Füllungserfassung kann zur Bestimmung einer Menge einer oder mehrerer Füllungskomponenten wie z.B. einer Frischluftmenge, einer Restgasmenge, einer Spülluftmenge und/oder einer Menge einer zusätzlichen Füllungskomponente ausgebildet sein. Die Basisfunktion kann zum Beispiel eine Sigmoidfunktion sein, wie sie hinsichtlich des Verfahrens im Detail beschrieben wurde. Entsprechend können die Parameter der Basisfunktion abhängig von dem Betriebszustand der Verbrennungskraftmaschine, insbesondere von einem Saugrohrdruck, einer Motordrehzahl, einer Steuerphase des Eingangsventils, einer Steuerphase des Auslassventils, einem Einlassventilhub, einem Auslassventilhub, einem Abgasgegendruck nach Abgasturbolader, einer Ansaug- und Abgastemperatur und/oder anderen füllungsbeeinflussenden Größen, sein.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann ferner eine Messeinheit zum Messen der Mengen der Füllungskomponente in Abhängigkeit vom Abgasgegendruck an dem Prüfstand enthalten. Die Messeinheit kann ein Druckmessgerät sein. Die Messeinheit kann weiterhin eine Recheneinrichtung enthalten, um aus gemessenen Größen die als Messdaten verwendeten Mengen der Füllungskomponente zu berechnen. Diese Messeinheit kann über die Schnittstelle mit der Bestimmungseinheit und der Korrekturereinheit der Vorrichtung verbunden sein, so dass Messdaten, die an dem Prüfstand gemessen werden oder berechnet werden, an die Bestimmungseinheit und die Korrekturereinheit übertragen werden können. Alternativ können die Messdaten der an dem Prüfstand gemessenen Mengen der Füllungskomponente oder der aus gemessenen Größen berechneten Mengen der Füllungskomponente auch aus einem Speicher, in den sie zuvor eingespeichert wurden, ausgelesen werden. Der Speicher, der als elektronischer Datenspeicher ausgebildet sein kann, kann in die Vorrichtung integriert sein oder als externer Speicher ausgebildet sein.

Alternativ oder zusätzlich kann die Vorrichtung weiterhin eine Simulationsvorrichtung zum Erzeugen von Simulationsdaten enthalten. Die Simulationsvorrichtung kann beispielsweise ein Prozessor sein, der mit einer Software zur Simulation, beispielsweise einer Software zur Ladungswechselrechnung, versehen ist. Die Software zur Ladungswechselrechnung kann beispielsweise die GT Power Engine Simulation Software der Firma Gamma Technologies sein. Alternativ oder zusätzlich können Simulationsdaten auch aus einem Speicher, insbesondere einem Datenspeicher, in den sie zuvor abgelegt wurden, abgerufen werden.

Die hinsichtlich des Verfahrens im Detail beschriebenen Merkmale bezüglich der Bestimmung der Basisfunktion und/oder der Bestimmung der variablen Parameter sowie bezüglich der Modellierung können entsprechend auf die Vorrichtung zur Füllungserfassung übertragen werden.

Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens und/oder der erfindungsgemäßen Vorrichtung lassen sich für verschiedene Betriebszustände die variablen Parameter der Basisfunktion bestimmen und in geeigneter Art und Weise hinterlegen. Auf Basis dieser können Modelle der Mengen einer oder jeder Füllungskomponente erstellt werden, die die Menge der Füllungskomponente in Betriebszuständen, die weder durch Messungen noch Simulationen bestimmt werden können, darstellen. Damit können die die Füllung des Zylinders beeinflussenden Komponenten, beispielsweise die Ein- und Auslassventile sowie die Drosselklappe und der Turbolader einer Verbrennungskraftmaschine, optimal gesteuert werden,

auch wenn Betriebszustände, die normalerweise gar nicht oder nur schwierig messbar oder simulierbar sind, betroffen sind. Die Modellierung der Mengen der Füllungskomponenten lässt sich somit flexibel gestalten und führt zu einer robusten, zuverlässigen Modellierung, die geeignet ist, den Entwicklungsprozess einer Verbrennungskraftmaschine zu optimieren.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun beispielhaft und unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Füllungserfassung;

Fig. 2 Messdaten betreffend die Frischluftmasse in einem Zylinder;

Fig. 3 eine graphische Darstellung einer Basisfunktion;

Fig. 4A – 4D den Einfluss der variablen Parameter auf den Graphen der Basisfunktion;

Fig. 5 eine Darstellung von Messdaten, Simulationsdaten und der Basisfunktion;

Fig. 6 eine schematische Darstellung der Vorrichtung zur Füllungserfassung;

Fig. 7 eine Verwendung der ermittelten Parameter der Basisfunktion;

Fig. 8 Messdaten betreffend eine Restgasmasse;

Fig. 9 eine Basisfunktion hinsichtlich der Restgasmasse;

Fig. 10 Messdaten betreffend eine Spülluftmasse; und

Fig. 11 eine Basisfunktion hinsichtlich der Spülluftmasse.

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Füllungserfassung in einer Verbrennungskraftmaschine ist in den Figuren 1 bis 4D dargestellt. Das Ausführungsbeispiel bezieht sich auf die Bestimmung einer Frischluftmasse in dem Zylinder der Verbrennungskraftmaschine.

Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm für das erfindungsgemäße Verfahren zur Füllungserfassung 10. In einem ersten Schritt 100 werden Messdaten der Frischluftmasse in Abhängigkeit von einem Abgasgegendruck bereitgestellt. Ein Beispiel für die Messdaten ist in Fig. 2 gezeigt. Fig. 2 zeigt Messwerte 30 der Frischluftmasse m_{fl} in Abhängigkeit vom Abgasgegendruck p_{ag} für unterschiedliche Saugrohrdrücke $p_{s1} = 1400$ mbar, $p_{s2} = 1600$ mbar, $p_{s3} = 1800$ mbar, $p_{s4} = 2200$ mbar und $p_{s5} = 2600$ mbar bei konstanter Drehzahl $n = 1300$ 1/min und konstanter Stellung des Einlassventils bei -20°KW und des Auslassventils bei 5°KW dar. Die Messwerte für jeweils einen konstanten Saugrohrdruck stellen einen Ausschnitt eines Datensatzes dar. Die Messwerte 30 bezüglich des gleichen Saugrohrdrucks zeigen ein flach abfallendes Plateau, das mit steigendem Saugrohrdruck zunehmend abfällt.

In einem weiteren Schritt 101 werden Simulationsdaten bereitgestellt. Die Simulationsdaten sind beispielsweise mit Hilfe von Ladungswechselrechnungen bestimmt. Das Bereitstellen der Messdaten 100 und das Bereitstellen der Simulationsdaten 101 führt zum Bereitstellen 102 einer Datenbasis, die Datensätze für unterschiedliche Betriebszustände, beispielsweise für unterschiedliche Saugrohrdrücke, betreffend die Frischluftmasse enthält. In Fig. 3 sind die Messdaten 30 (mit einem Kreuz gekennzeichnet) und die Simulationsdaten 31 (mit Punkten gekennzeichnet) eines Datensatzes als normierte Werte dargestellt, wobei diese für einen einzigen Saugrohrdruck bzw. einen einzigen Betriebszustand aufgenommen sind.

In Schritt 103 des Verfahrens wird eine Basisfunktion bestimmt, die qualitativ einen Verlauf abbildet, der dem in den Schritten 101 und 102 bestimmten Datensatz in Fig. 3 folgt. Die Basisfunktion kann beispielsweise eine Funktion entsprechend der Gleichung I sein.

Wie in Fig. 2 bereits angedeutet ist und durch die Figuren 4A – 4D qualitativ dargestellt ist, ist die Form der Basisfunktion 20 abhängig von dem Betriebszustand der Verbrennungskraftmaschine, z.B. von dem Saugrohrdruck, der Drehzahl und der Steuerphase des Einlass- und des Auslassventils. Mit Bezug auf den durch die Gleichung I beschriebenen qualitativen Verlaufs zeigt Fig. 4A den Einfluss des Parameters P2 auf die Amplitude der Basisfunktion. Wie aus Fig. 4B hervorgeht, beschreibt der Parameter P4 die x-Verschiebung, d.h. die Verschiebung zu einem kleineren oder größeren normierten Abgasgegendruck. Die Parameter P3 und P5 bestimmen, wie in den Figuren 4C und 4D dargestellt, die obere bzw. die untere Krümmung der Sigmoidfunktion.

In einem Schritt 104 wird daher die Gleichung I an den Datensatz, wie in Fig. 3 dargestellt, angepasst. In einem optionalen anschließenden Schritt können die Parameter P2, P3, P4 und

P5 beispielsweise in einem Speicher hinterlegt werden. Beispielsweise können die Parameter in 4D Kennräumen in Abhängigkeit von dem Saugrohrdruck, der Drehzahl, der Steuerphase des Einlassventils und der Steuerphase des Auslassventils abgelegt werden. Das Ablegen kann ergänzt sein durch eine Simulation der Parameter in Betriebszuständen, die weder durch die Messung am Prüfstand noch durch Simulationsdaten zugänglich sind.

Zur Verdeutlichung der Abhängigkeit der Frischluftmasse vom Betriebszustand, beispielsweise vom Saugrohrdruck, ist in Fig. 5 eine dreidimensionale Darstellung der Frischluftmasse m_{fi} in Abhängigkeit vom Saugrohrdruck p_s und vom Abgasgegendruck p_{ag} dargestellt. Die Messdaten 30 und die Simulationsdaten 31 sind in einem recht engen Bereich gemessen bzw. berechnet, da andere Betriebszustände gar nicht oder nur schwierig zugänglich sind. Die Basisfunktion 20 bzw. die Sigmoidfunktion ist an die Messwerte 30 und die Simulationswerte 31 angepasst. Es ist erkennbar, dass sich die Form der Sigmoidfunktion 20 und damit die Parameter P2, P3, P4 und P5 in Abhängigkeit vom Saugrohrdruck p_s nicht vernachlässigbar ändern. Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es somit möglich, die Frischluftmasse m_{fi} auch für solche Betriebszustände analytisch zu modellieren, die nicht ohne Weiteres anderweitig zugänglich, d.h. messbar bzw. simulierbar, sind.

Fig. 6 zeigt nun eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Füllungserfassung, beispielsweise zur Bestimmung der Frischluftmasse m_{fi} in einem Zylinder. Die Vorrichtung 4 enthält eine Schnittstelle 40 zum Bereitstellen einer Datenbasis, wie sie hinsichtlich Fig. 1 bereits beschrieben wurde. Dazu enthält die Vorrichtung 4 beispielsweise eine Messeinheit 41 zum Messen der Frischluftmasse m_{fi} an einem Prüfstand und/oder eine Simulationsvorrichtung 42 zum Erzeugen von Simulationsdaten bezüglich der Frischluftmasse m_{fi} und/oder mindestens einen Speicher 43, in dem Messdaten und/oder Simulationsdaten hinterlegt sind. Die Vorrichtung 4 enthält zudem eine Bestimmungseinheit 44 zum Bestimmen einer Basisfunktion 20, die die Abhängigkeit der Masse der Frischluftmasse vom Abgasgegendruck p_{ag} qualitativ beschreibt. Weiterhin enthält die Vorrichtung eine Korrekturereinheit 45 zum Anpassen der Basisfunktion 20 an zumindest den einen Datensatz der Datenbasis durch geeignete Wahl von Parametern der Basisfunktion 20. Die Vorrichtung 4 kann zudem einen Speicher 46 zum Ablegen der variablen Parameter der Basisfunktion enthalten. Optional kann die Vorrichtung 4 auch eine Bearbeitungsvorrichtung 47 enthalten, die die variablen Parameter der Basisfunktion beispielsweise in vierdimensionalen Kennräumen ablegt und/oder für unterschiedliche Betriebszustände, die messtechnisch und/oder simulationstechnisch nicht anfahrbar sind, berechnet. Die Bearbeitungsvorrichtung 47 kann mit dem Speicher 46 verbunden sein, um die entsprechenden Kennräume und/oder Extrapolationsdaten zu speichern.

Sind die Parameter P2, P3, P4 und P5 in Kennräumen 50 hinterlegt, so kann später auf diese zurückgegriffen werden, um für bestimmte Betriebszustände den optimalen Verlauf der Frischluftmasse bestimmen zu können. Entsprechendes ist schematisch in der Fig. 7 gezeigt.

Das in Fig. 1 dargestellte Verfahren 10 und die in Fig. 6 dargestellte Vorrichtung 40 wurde bisher lediglich hinsichtlich der Bestimmung der Frischluftmasse m_{fl} beschrieben. Analog kann mit Hilfe eines entsprechenden Verfahrens und einer entsprechenden Vorrichtung auch die Restgasmasse m_{rg} bestimmt werden. Dazu werden die in Fig. 8 dargestellten Messwerte 30 aufgenommen und zudem Simulationsdaten bereitgestellt. Fig. 8 zeigt die Messwerte 30 der Restgasmasse m_{rg} in Abhängigkeit vom Abgasgegendruck p_{agg} für unterschiedliche Saugrohrdrücke $p_{s1} = 1400$ mbar, $p_{s2} = 1600$ mbar, $p_{s3} = 1800$ mbar, $p_{s4} = 2200$ mbar und $p_{s5} = 2600$ mbar bei konstanter Drehzahl $n = 1300$ 1/min und konstanter Stellung des Einlassventils bei -20°KW und des Auslassventils bei 15°KW . Die Messdaten 30 und die Simulationsdaten 31 sind in Fig. 9 in normierter Form dargestellt. Die Messwerte 30 bezüglich des gleichen Saugrohrdrucks zeigen ein leicht ansteigendes Plateau, das mit steigendem Saugrohrdruck in einen Anstieg übergeht. Zudem zeigt Fig. 9 die qualitative Form des Verlaufs der Basisfunktion 20 für die Restgasmasse m_{rg} . Diese muss jedoch noch an die tatsächlichen Daten (Messdaten 30 und Simulationsdaten 31) angepasst werden, was mit Hilfe einer Parameteranpassung erfolgt. Die in Fig. 9 dargestellte Basisfunktion 20 lässt sich beispielsweise durch die Gleichung IV beschreiben, wobei die Parameter Q2, Q3, Q4 und Q5 die Form, insbesondere die Amplitude, die X-Verschiebung und die Krümmung der oberen und unteren Krümmung in Abhängigkeit vom Betriebszustand bestimmen.

Entsprechend kann das Verfahren in Fig. 1 bzw. die Vorrichtung in Fig. 6 auch für die Berechnung der Spülluftmasse m_{sl} eingesetzt werden. In Analogie zu den Messwerten der Frischluftmasse in Fig. 2 und den Messwerten der Restgasmasse in Fig. 8 sind in Fig. 10 Messwerte der Spülluftmasse m_{sl} in Abhängigkeit vom Abgasgegendruck p_{ag} für unterschiedliche Saugrohrdrücke $p_{s1} = 1400$ mbar, $p_{s2} = 1600$ mbar, $p_{s3} = 1800$ mbar, $p_{s4} = 2200$ mbar und $p_{s5} = 2600$ mbar bei konstanter Drehzahl $n = 1300$ 1/min und konstanter Stellung des Einlassventils bei -20°KW und des Auslassventils bei 5°KW dargestellt. Die Messwerte 30 bezüglich des gleichen Saugrohrdrucks zeigen mit steigendem Saugrohrdruck ein Gefälle entlang einer bestimmten Krümmung. Werden die Simulationswerte zudem in Betracht gezogen, zeigt sich der in Fig. 11 dargestellte qualitative Verlauf, der durch die Gleichung VI wiedergegeben werden kann. Die Gleichung VI zeigt letztlich zwei ineinander übergehende S-Funktionen. Die variablen Parameter R1, R2, R3, R4 und R5 der Gleichung VI sind wiederum

abhängig von den Betriebszuständen und können auf Basis verschiedener Datensätze ermittelt und abgeschätzt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren bzw. die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Füllungserfassung eines Zylinders einer Verbrennungskraftmaschine lässt sich somit auf die Bestimmung der Massen jeder der Füllungskomponenten, also der Frischluftmasse, der Restgasmasse und/oder der Spülluftmasse, anwenden und/oder beliebig kombinieren.

Bezugszeichenliste

10	Verfahren zur Füllungserfassung
100	Bereitstellen von Messdaten
101	Bereitstellen von Simulationsdaten
102	Bereitstellen der Datenbasis
103	Bestimmen der Basisfunktion
104	Anpassen der Basisfunktion
20	Basisfunktion
30	Messwerte
31	Simulationswerte
4	Vorrichtung zur Füllungserfassung
40	Schnittstelle
41	Messeinrichtung
42	Simulationsvorrichtung
43	Speicher für Messwerte und/oder Simulationsdaten
44	Bestimmungseinheit
45	Korrekturereinheit
46	Speicher für Parameter
47	Bearbeitungsvorrichtung
50	Kennraum

Patentansprüche

1. Verfahren (10) zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine, wobei der Zylinder über ein Einlassventil mit einem Saugrohr und über ein Auslassventil mit einem Auslasskanal verbunden ist, mit den Schritten:
 - Bereitstellen (102) einer Datenbasis mit einem Datensatz betreffend eine Menge einer Füllungskomponente in Abhängigkeit eines Abgasgedrucks (p_{ag}) im Auslasskanal, wobei der Schritt des Bereitstellens (102) der Datenbasis enthält:
 - Bereitstellen (100) von Messdaten (30), die an einem Prüfstand gemessen sind, und
 - Bereitstellen (101) von Simulationsdaten (31), die mittels einer Ladungswechselrechnung berechnet sind,
 - Bestimmen (103) einer Basisfunktion (20), die die Abhängigkeit der Menge der Füllungskomponente vom Abgasgedruck (p_{ag}) qualitativ beschreibt, und
 - Anpassen (104) der Basisfunktion (20) an den Datensatz der Datenbasis durch geeignete Wahl von variablen Parametern der Basisfunktion (20).
2. Verfahren (10) nach Anspruch 1, wobei die Menge der Füllungskomponente eine Masse der Frischluftkomponente oder ein Volumen der Frischluftkomponente ist.
3. Verfahren (10) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Masse der Füllungskomponente eine Frischluftmasse, Restgasmasse oder eine durchgespülte Luftmasse ist.
4. Verfahren (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bereitstellen (100) von Messdaten das Messen von Mengen der Füllungskomponente an dem Prüfstand und/oder das Abrufen von gespeicherten Messdaten zur Füllungskomponente, die an dem Prüfstand gemessen wurden, enthält und/oder wobei das Bereitstellen (101) von Simulationsdaten das Berechnen von Simulationsdaten auf Basis der Ladungswechselrechnung enthält.

5. Verfahren (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Basisfunktion (20) einen ersten Kurvenabschnitt, einen zweiten Kurvenabschnitt und mindestens zwei gekrümmte Kurvenabschnitte, die zwischen dem ersten und dem zweiten Kurvenabschnitt angeordnet sind, enthält, wobei die Basisfunktion (20) in dem ersten und dem zweiten Kurvenabschnitt einer konstanten Funktion folgt.
6. Verfahren (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Basisfunktion (20) eine Sigmoidfunktion ist.
7. Verfahren (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Datenbasis die Menge der Füllungskomponente betreffend unterschiedliche Datensätze enthält und wobei die variablen Parameter der Basisfunktion (20) für jeden Datensatz bestimmt werden, wobei die variablen Parameter der Basisfunktion (20) insbesondere von einem Saugrohrdruck, einer Motordrehzahl, einer Steuerphase des Einlassventils, einer Steuerphase des Auslassventils, einem Einlassventilhub, und/oder einem Auslassventilhub der Verbrennungskraftmaschine, abhängig sind.
8. Verfahren (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die bestimmten variablen Parameter der Basisfunktion (20) für unterschiedliche Betriebszustände der Verbrennungskraftmaschine hinterlegt werden.
9. Verfahren (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messdaten (30) und Simulationsdaten (31) betreffend die Menge der Füllungskomponente der Datenbasis auch von einem Saugrohrdruck (p_s) im Saugrohr abhängen und wobei eine Basisfunktion (20), die auch die Abhängigkeit der Menge der Füllungskomponente vom Saugrohrdruck (p_s) qualitativ beschreibt, bestimmt wird.
10. Vorrichtung (4) zur Füllungserfassung in einem Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine, insbesondere zum Ausführen des Verfahrens (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Zylinder über ein Einlassventil mit einem Saugrohr und über ein Auslassventil mit einem Auslasskanal verbunden ist, mit einer Schnittstelle (40) zum Bereitstellen einer Datenbasis mit einem Datensatz betreffend eine Menge einer Füllungskomponente in Abhängigkeit eines Abgasgegendrucks (p_{ag}) im Auslasskanal, wobei der Datensatz Messdaten (30), die an einem Prüfstand gemessen sind, und Simulationsdaten (31), die mittels einer Ladungswechselrechnung berechnet sind, enthält,

einer Bestimmungseinheit (44) zum Bestimmen einer Basisfunktion (20), die die Abhängigkeit der Menge der Füllungskomponente vom Abgasgegendruck qualitativ beschreibt, und

einer Korrekturereinheit (45) zum Anpassen der Basisfunktion (20) an den Datensatz der Datenbasis durch geeignete Wahl von variablen Parametern der Basisfunktion (20).

11. Vorrichtung (10) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Vorrichtung (10) ferner eine Messeinheit (41) zum Messen der Mengen der Füllungskomponente an dem Prüfstand und/oder eine Simulationsvorrichtung (42) zum Erzeugen der Simulationsdaten (31) enthält.

1/8

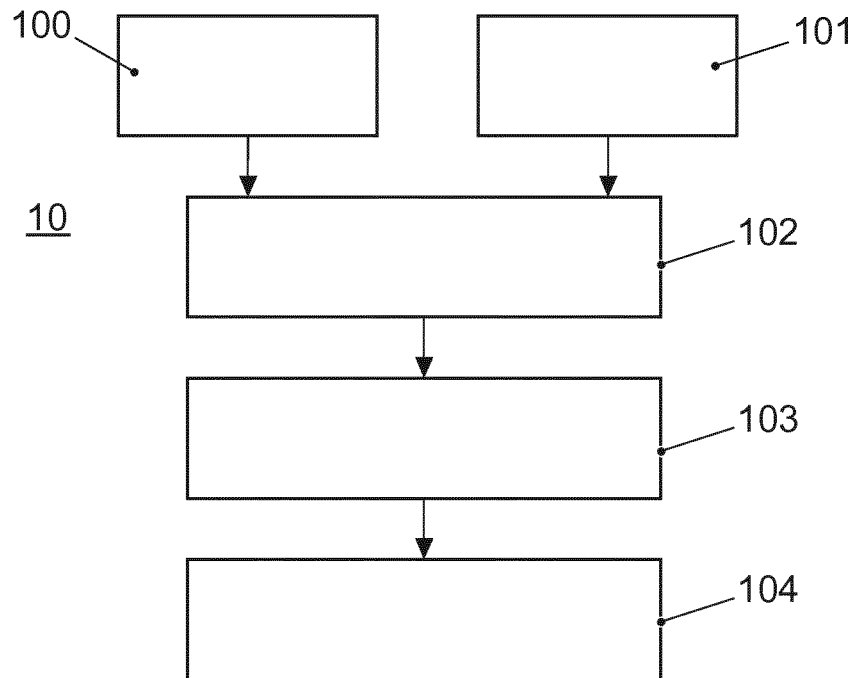


FIG. 1

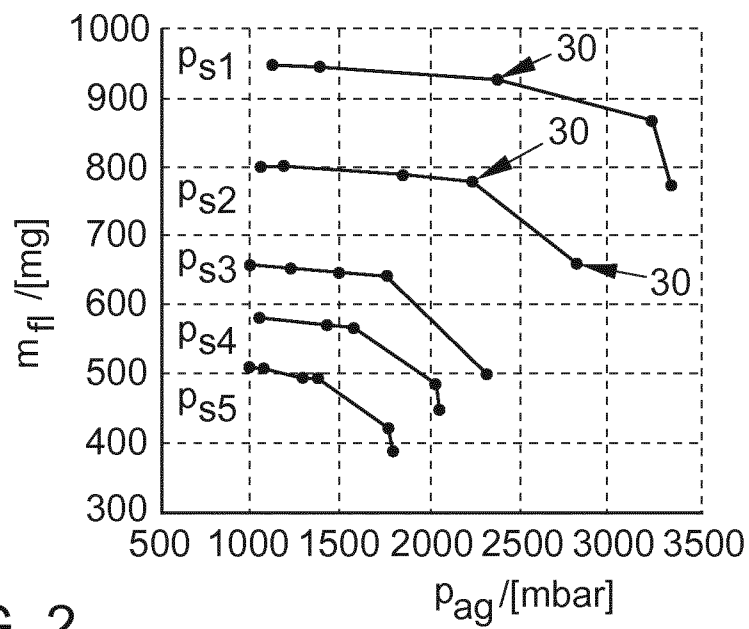


FIG. 2

2/8

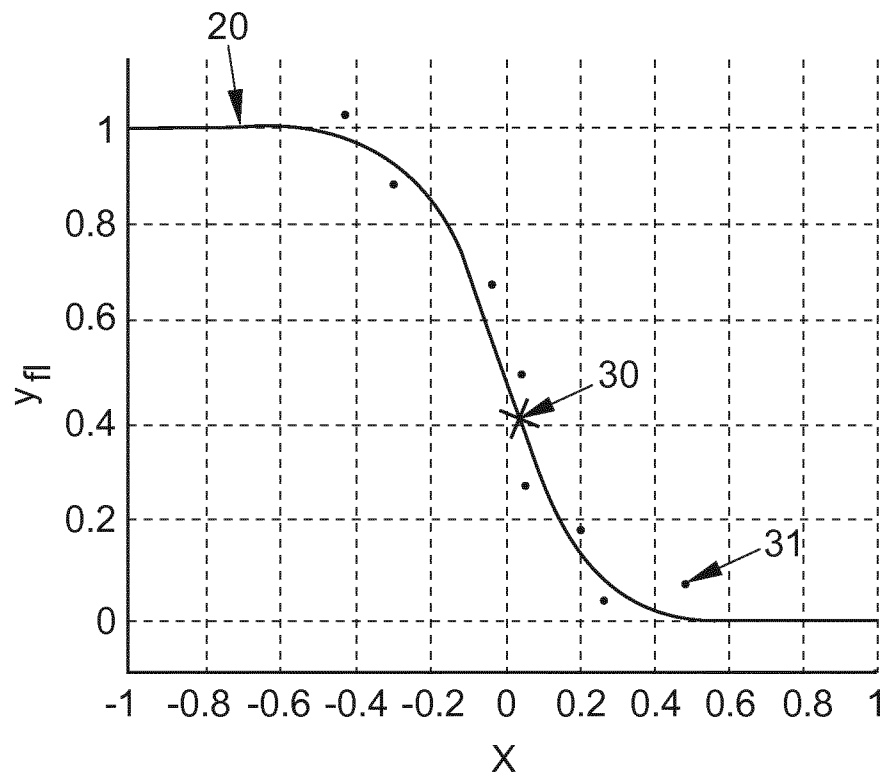


FIG. 3

3/8

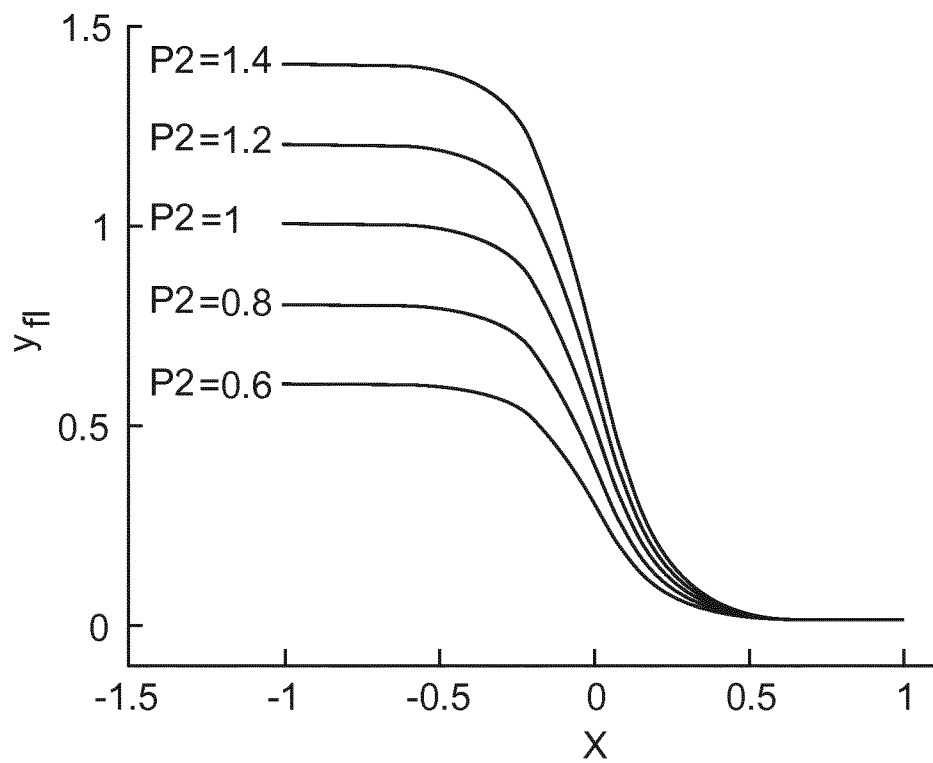


FIG. 4A

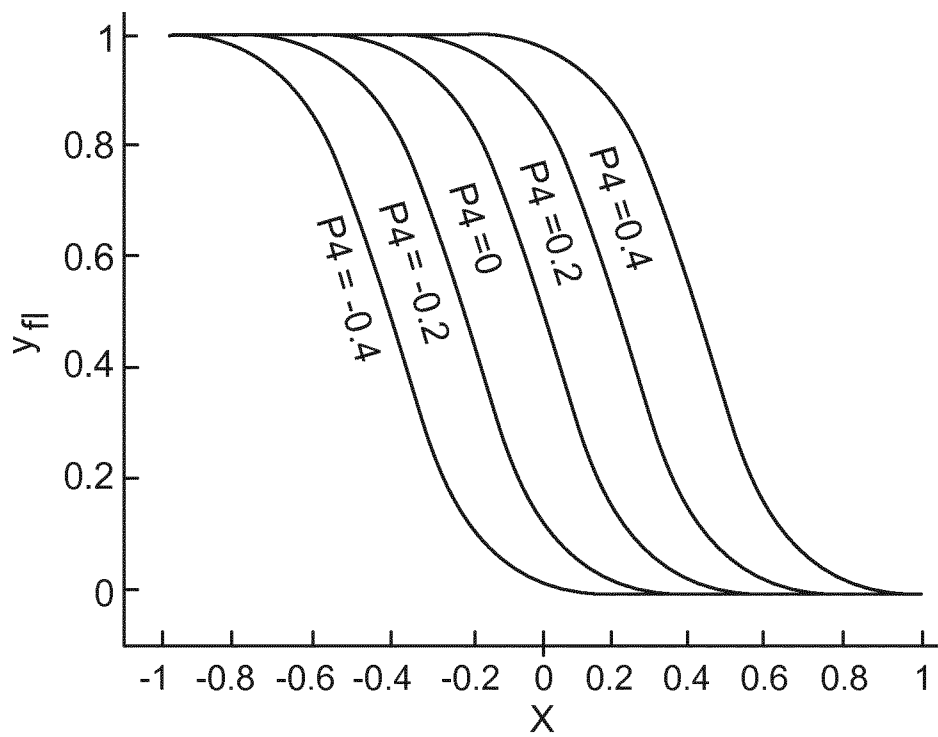


FIG. 4B

4/8

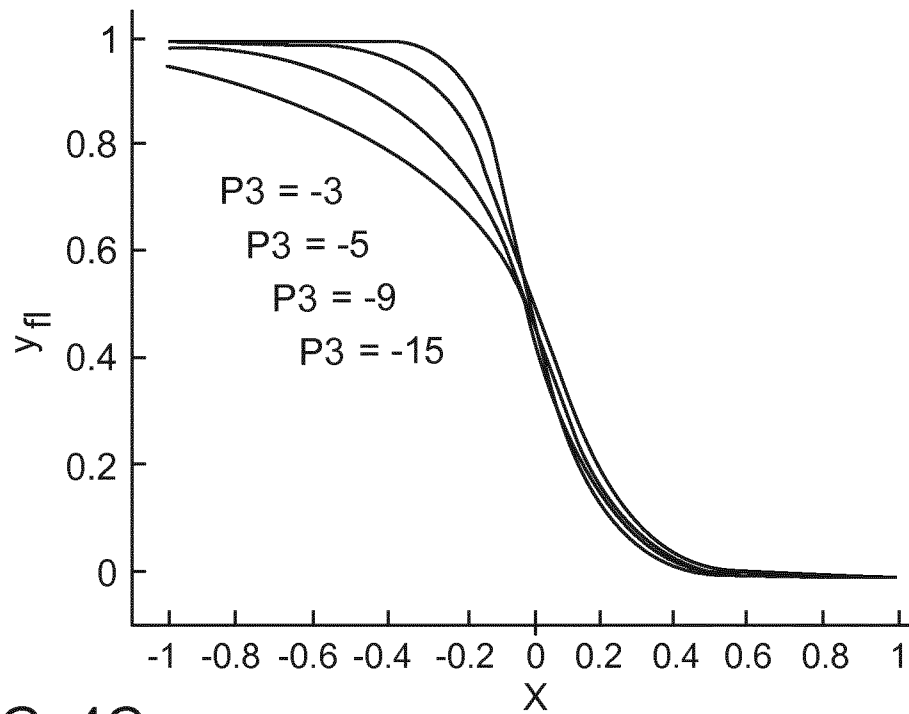


FIG. 4C

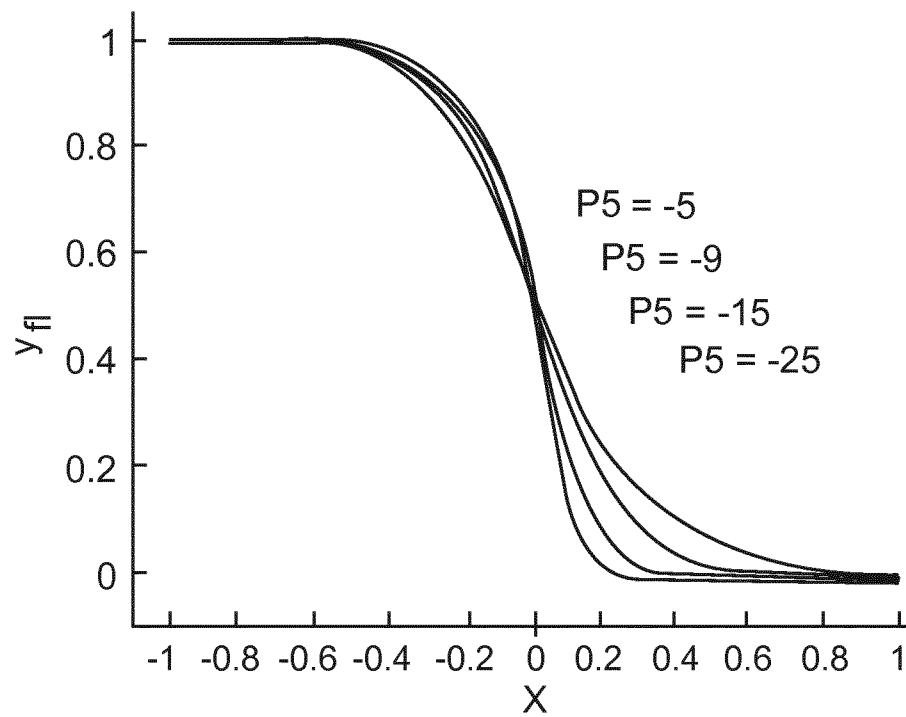


FIG. 4D

5/8

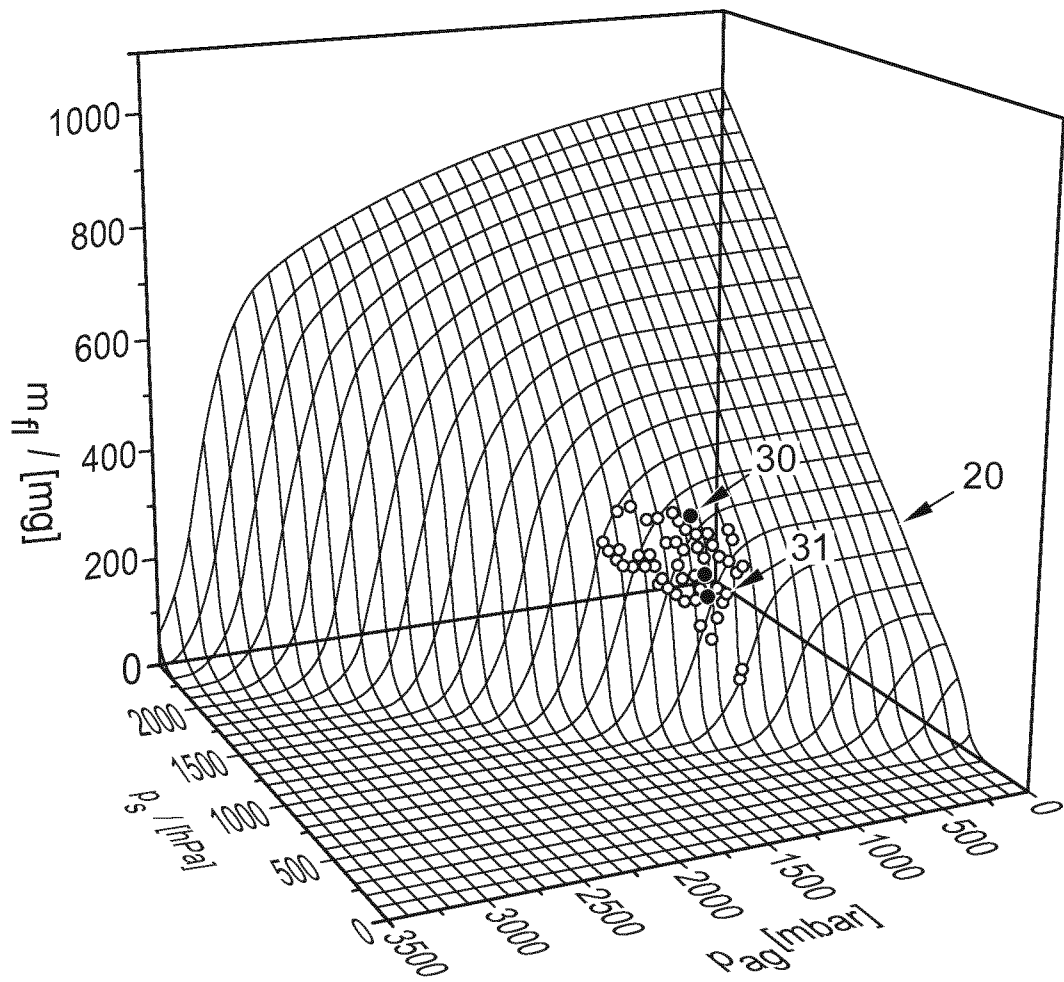


FIG. 5

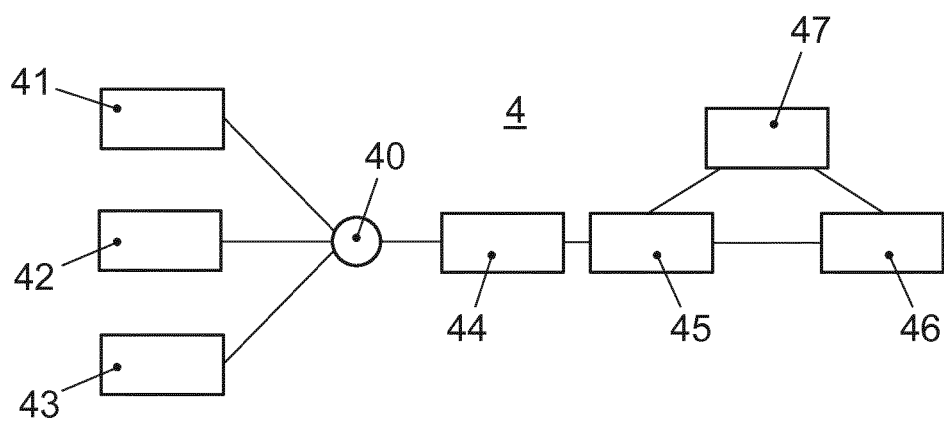


FIG. 6

6/8

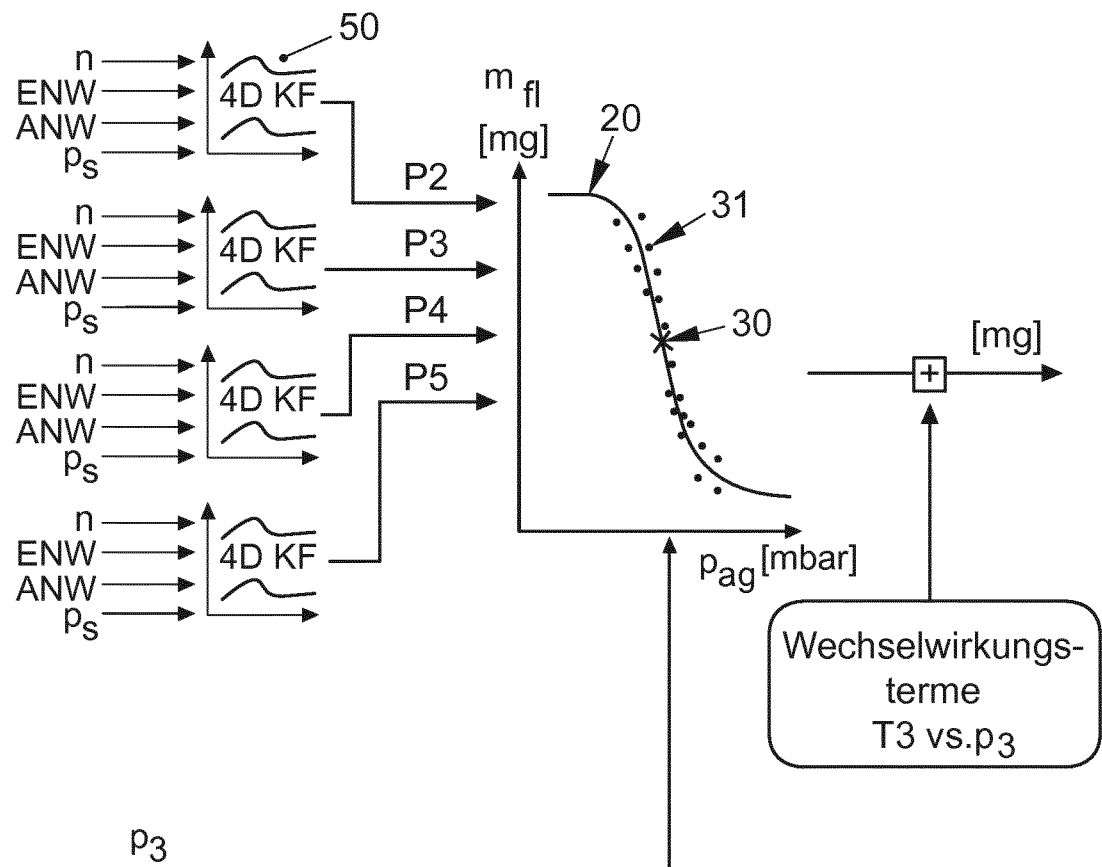


FIG. 7

7/8

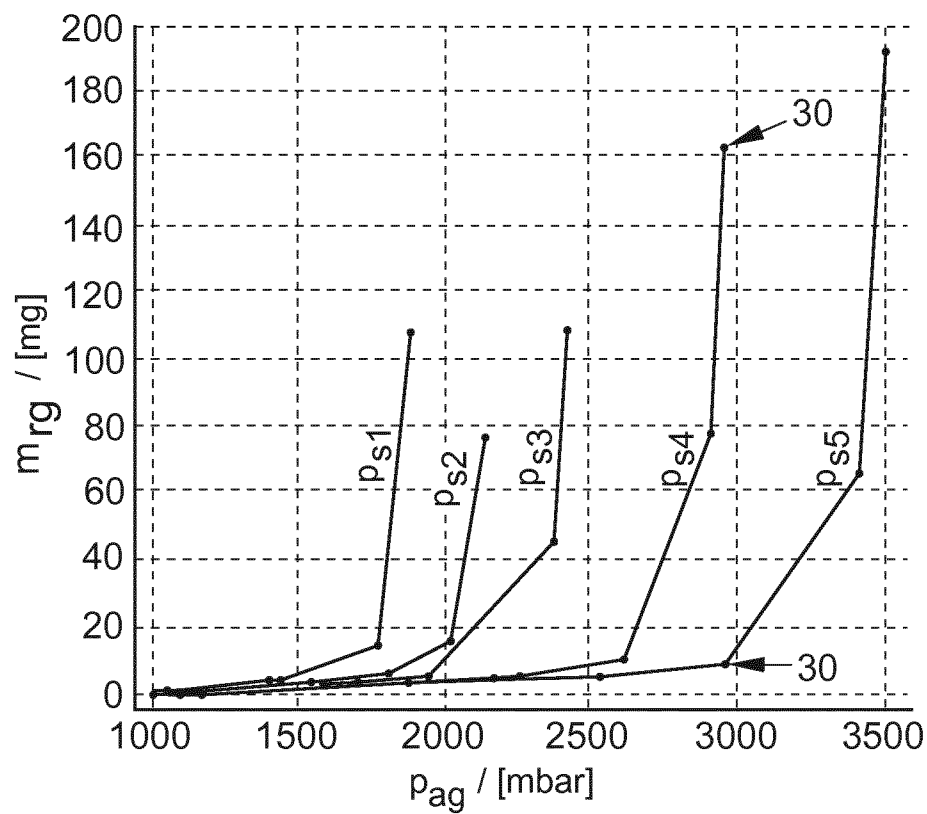


FIG. 8

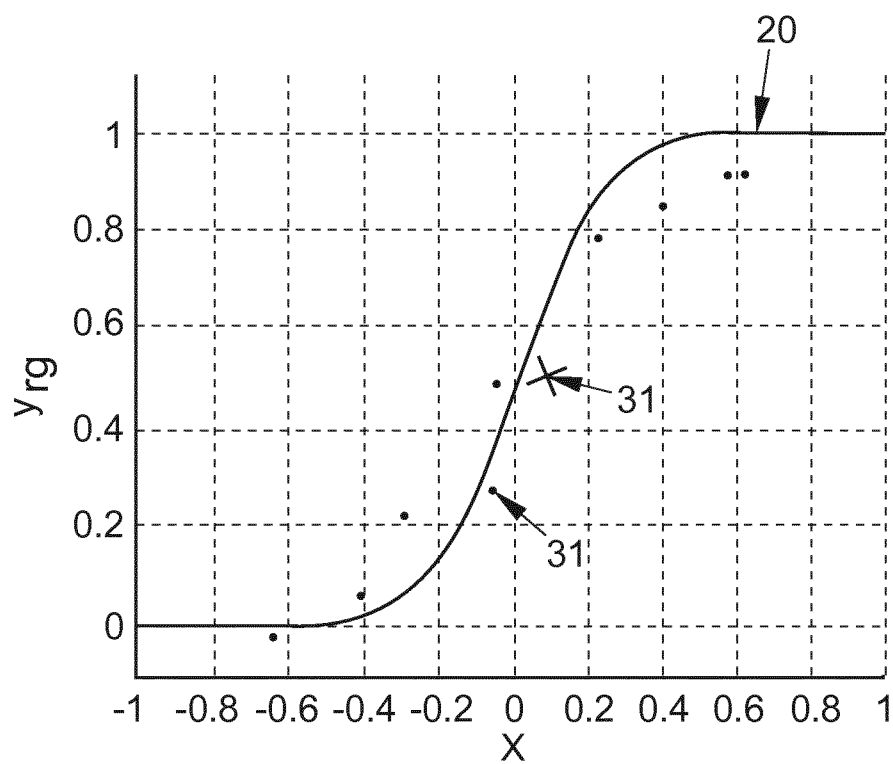


FIG. 9

8/8

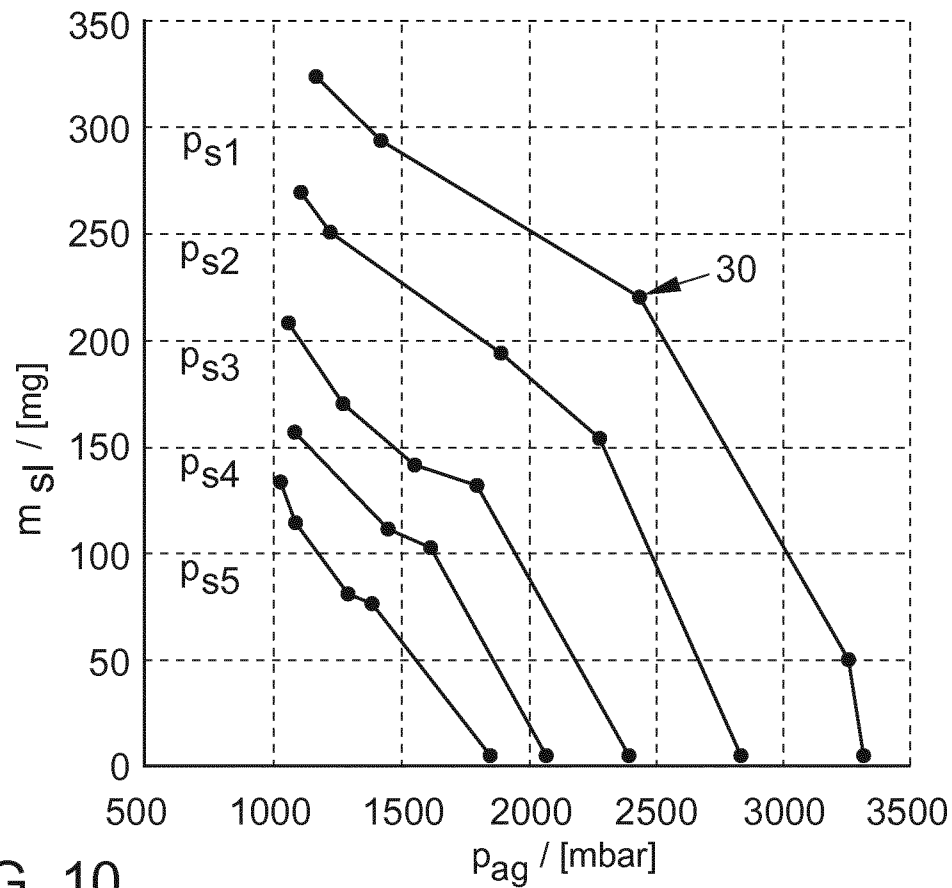


FIG. 10

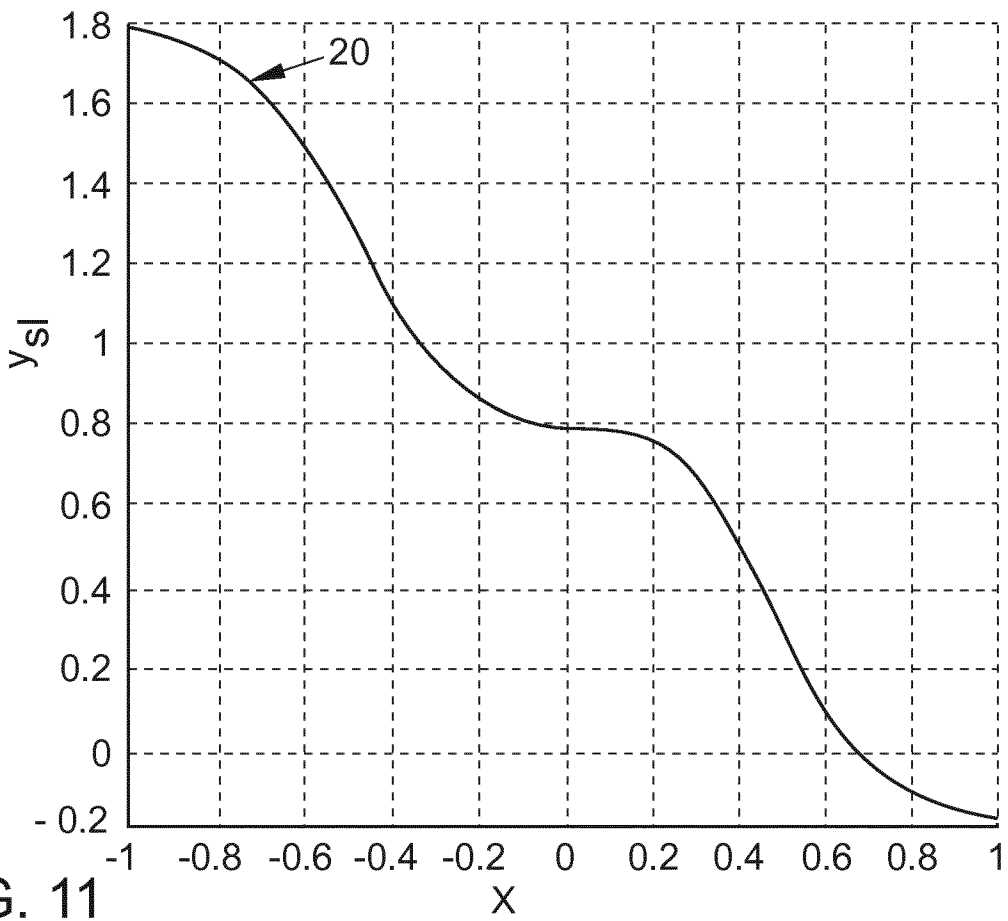


FIG. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/061094

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F02D41/14 F02D41/24
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)
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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	ALEXANDER A STOTSKY ED - ALEXANDER A STOTSKY: "Cylinder Flow Estimation", 1 January 2009 (2009-01-01), AUTOMOTIVE ENGINES: CONTROL, ESTIMATION, STATISTICAL DETECTION ENGINES, PAGE(S) 15 - 45, XP008177013, ISBN: 978-3-642-00163-5 [retrieved on 2009-03-30] page 15, line 1 - page 16, line 2 Kapitel 2.1 Kapitel 2.2.1 Absatz "Spline Interpolation" ----- -/-	1-11



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 application or patent 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

5 October 2015

Date of mailing of the international search report

09/10/2015

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

Kämper, Fabian

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/061094

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	ALEXANDER A STOTSKY ED - ALEXANDER A STOTSKY: "Engine Friction Estimation at Start", 1 January 2009 (2009-01-01), AUTOMOTIVE ENGINES: CONTROL, ESTIMATION, STATISTICAL DETECTION ENGINES, PAGE(S) 85 - 99, XP008177012, ISBN: 978-3-642-00163-5 [retrieved on 2009-03-30] Kapitel 5.5 -----	1-11
Y	US 2013/111900 A1 (HAGNER DAVE G [US] ET AL) 9 May 2013 (2013-05-09) figure 2 paragraph [0033] -----	1-11
Y	"Ladungswechsel Chapter 10.2 ED - Basshuysen Richard van; Schäfer Fred", 1 January 2011 (2011-01-01), HANDBUCH VERBRENNUNGSMOTOR: GRUNDLAGEN, KOMPONENTEN, SYSTEME, PERSPEKTIVEN, VIEWEG+TEUBNER VERLAG, 2011, DE, PAGE(S) 471 - 474, XP008177082, ISBN: 978-3-8348-1549-1 the whole document -----	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/061094

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2013111900 A1	09-05-2013	CN 103104366 A US 2013111900 A1	15-05-2013 09-05-2013

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F02D41/14 F02D41/24
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	ALEXANDER A STOTSKY ED - ALEXANDER A STOTSKY: "Cylinder Flow Estimation", 1. Januar 2009 (2009-01-01), AUTOMOTIVE ENGINES: CONTROL, ESTIMATION, STATISTICAL DETECTION ENGINES, PAGE(S) 15 - 45, XP008177013, ISBN: 978-3-642-00163-5 [gefunden am 2009-03-30] Seite 15, Zeile 1 - Seite 16, Zeile 2 Kapitel 2.1 Kapitel 2.2.1 Absatz "Spline Interpolation" ----- -/-	1-11



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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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

5. Oktober 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

09/10/2015

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

Kämper, Fabian

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	ALEXANDER A STOTSKY ED - ALEXANDER A STOTSKY: "Engine Friction Estimation at Start", 1. Januar 2009 (2009-01-01), AUTOMOTIVE ENGINES: CONTROL, ESTIMATION, STATISTICAL DETECTION ENGINES, PAGE(S) 85 - 99, XP008177012, ISBN: 978-3-642-00163-5 [gefunden am 2009-03-30] Kapitel 5.5 -----	1-11
Y	US 2013/111900 A1 (HAGNER DAVE G [US] ET AL) 9. Mai 2013 (2013-05-09) Abbildung 2 Absatz [0033] -----	1-11
Y	"Ladungswechsel Chapter 10.2 ED - Basshuysen Richard van; Schäfer Fred", 1. Januar 2011 (2011-01-01), HANDBUCH VERBRENNUNGSMOTOR: GRUNDLAGEN, KOMPONENTEN, SYSTEME, PERSPEKTIVEN, VIEWEG+TEUBNER VERLAG, 2011, DE, PAGE(S) 471 - 474, XP008177082, ISBN: 978-3-8348-1549-1 das ganze Dokument -----	1-11

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/EP2015/061094

Im Recherchenbericht
angeführtes Patentdokument

Datum der
Veröffentlichung

Mitglied(er) der Patentfamilie

Datum der
Veröffentlichung

US 2013111900	A1	09-05-2013	CN	103104366	A	15-05-2013
			US	2013111900	A1	09-05-2013
