

(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
26. November 2015 (26.11.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/176930 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F02D 41/18 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/059300

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. April 2015 (29.04.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 209 793.2 22. Mai 2014 (22.05.2014) DE

(71) Anmelder: CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH
[DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder: BURKHARDT, Thomas; Rainstallweg 6f,
93073 Neutraubling (DE). DINGL, Jürgen; Rotdornweg
34, 93055 Regensburg (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, DE, 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 OPERATING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BETREIBEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE

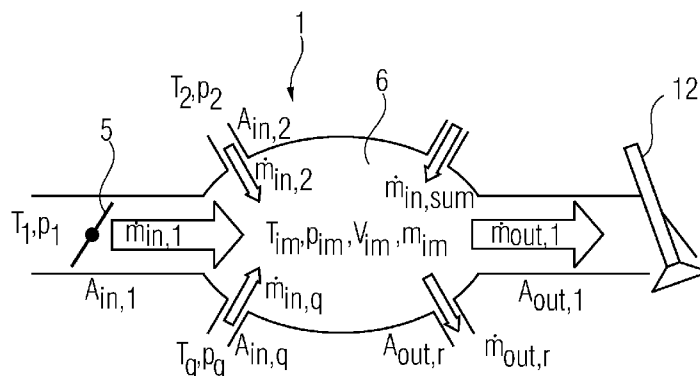


FIG 2

(57) Abstract: Disclosed is a method for operating an internal combustion engine comprising an intake tract (1) and one or more cylinders (Z1 to Z4), each of which is assigned gas inlet valves (12) and gas outlet valves (13), wherein gas exchange valves comprise gas inlet valves (12) and gas outlet valves (13). In said method, in a first operating state a model temperature of a gas in the intake tract (1) is determined cyclically for a current point in time on the basis of a predetermined intake runner model and independently of a measured value for the temperature of the gas, said value being associated with the current point in time. The model temperature for the current point in time is determined on the basis of a model temperature that has been determined for a preceding point in time. A cylinder air mass present in the respective cylinder after the gas exchange valves have been closed is determined on the basis of the model temperature that has been determined for the current point in time.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2015/176930 A1



Bei einem Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine umfassend einen Ansaugtrakt (1) und einen oder mehrere Zylinder (Z1 bis Z4), denen jeweils Gaseinlassventile (12) und Gasauslassventile (13) zugeordnet sind, wobei Gaswechselventile Gaseinlassventile (12) und Gasauslassventile (13) umfassen, wird in einem ersten Betriebszustand zyklisch eine Modelltemperatur eines Gases im Ansaugtrakt (1) für einen aktuellen Zeitpunkt ermittelt abhängig von einem vorgegebenen Saugrohrmodell und frei von einem Temperaturmesswert des Gases, der dem aktuellen Zeitpunkt zugeordnet ist. Die Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt wird ermittelt abhängig von einer Modelltemperatur, die für einen vorangegangenen Zeitpunkt ermittelt wurde. Abhängig von der für den aktuellen Zeitpunkt ermittelten Modelltemperatur wird eine Zylinderluftmasse ermittelt, die sich nach Schließen der Gaswechselventile in dem jeweiligen Zylinder befindet.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben einer Brennkraftmaschine

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem oder mehreren Zylindern, denen jeweils Gaseinlassventile zugeordnet sind.

Immer strengere gesetzliche Vorschriften bezüglich zulässiger
10 Schadstoffemissionen von Kraftfahrzeugen, in denen Brennkraftmaschinen angeordnet sind, machen es erforderlich, die Schadstoffemissionen bei dem Betrieb der Brennkraftmaschine so gering wie möglich zu halten. Dies kann zum einen erfolgen, indem die Schadstoffemissionen verringert werden, die während der
15 Verbrennung des Luft-/Kraftstoff-Gemisches in den jeweiligen Zylindern der Brennkraftmaschine entstehen. Zum anderen sind in Brennkraftmaschinen Abgasnachbehandlungssysteme im Einsatz, die die Schadstoffemissionen, die während des Verbrennungsprozesses des Luft-/Kraftstoff-Gemisches in den jeweiligen Zylindern
20 erzeugt werden, in unschädliche Stoffe umwandeln. Zu diesem Zweck werden Abgaskatalysatoren eingesetzt, die Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide in unschädliche Stoffe umwandeln.

- 25 Sowohl das gezielte Beeinflussen des Erzeugens der Schadstoffemissionen während der Verbrennung in dem jeweiligen Zylinder als auch das Umwandeln der Schadstoffkomponenten mit einem hohen Wirkungsgrad durch den Abgaskatalysator setzen ein sehr präzise eingestelltes Luft-/Kraftstoff-Verhältnis in dem
30 jeweiligen Zylinder voraus.

Ein Saugrohrmodell ist beispielsweise in dem Fachbuch "Handbuch Verbrennungsmotor, Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven", Herausgeber Richard van Basshuysen/Fred Schäfer, 2.

verbesserte Auflage, Juni 2002, Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, Seiten 557 bis 559, beschrieben. Ferner sind derartige Saugrohrmodelle auch in EP 0820559 B1 und EP 0886725 B1 beschrieben.

5

Die Aufgabe, die der Erfindung zugrunde liegt, ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben einer Brennkraftmaschine zu schaffen, das beziehungsweise die einen Beitrag leistet für einen zuverlässigen und emissionsarmen Betrieb der Brennkraftmaschine.

10

Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

15

Die Erfindung zeichnet sich aus einerseits durch ein Verfahren und andererseits durch eine korrespondierende Vorrichtung zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Ansaugtrakt und einem oder mehreren Zylindern, denen jeweils Gaseinlassventile und Gasauslassventile zugeordnet sind, wobei Gaswechselventile Gaseinlassventile und Gasauslassventile umfassen.

20

In einem ersten Betriebszustand wird zyklisch eine Modelltemperatur eines Gases im Ansaugtrakt für einen aktuellen Zeitpunkt ermittelt abhängig von einem vorgegebenen Saugrohrmodell und frei von einem Temperaturmesswert des Gases, der dem aktuellen Zeitpunkt zugeordnet ist. Die Modelltemperatur wird für den aktuellen Zeitpunkt ermittelt abhängig von einer Modelltemperatur, die für einen vorangegangenen Zeitpunkt ermittelt wurde. Abhängig von der für den aktuellen Zeitpunkt ermittelten Modelltemperatur wird eine Zylinderluftmasse ermittelt, die sich nach Schließen der Gaswechselventile in dem jeweiligen Zylinder befindet.

25

30

Der erste Betriebszustand ist insbesondere ein instationärer Betriebszustand. Der vorangegangene Zeitpunkt ist insbesondere dem letzten Zyklus zugeordnet.

- 5 Ein Temperatursensor im Ansaugtrakt hat häufig eine relativ große Verzögerung. Indem die Zylinderluftmasse frei von einem Temperaturmesswert ermittelt wird, der dem aktuellen Zeitpunkt zugeordnet ist, kann sehr schnell eine Zylinderluftmasse ermittelt werden und dadurch ein Beitrag zu einem zuverlässigen und
10 emissionsarmen Betrieb der Brennkraftmaschine geleistet werden, da die Zylinderluftmasse als Grundlage für die Kraftstoffzumessung genutzt werden kann.

- Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird in einem
15 zweiten Betriebszustand ein Temperaturmesswert des Gases bereitgestellt, der repräsentativ ist für eine Temperatur des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt. Abhängig von der Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt und dem bereitgestellten Temperaturmesswert wird ein Temperaturkorrekturwert ermittelt. Der
20 Temperaturkorrekturwert wird dem Saugrohrmodell zugeordnet und zumindest in dem ersten und dem zweiten Betriebszustand wird die Modelltemperatur für den aktuellen Zustand abhängig von dem Temperaturkorrekturwert mittels des Saugrohrmodells ermittelt.

- 25 Der zweite Betriebszustand ist insbesondere ein quasistationärer Betriebszustand. Der quasistationäre Betriebszustand zeichnet sich beispielsweise dadurch aus, dass alle Eingangssignale des Saugrohrmodells eine vorgegebene Zeit, wie beispielsweise mehrere Sekunden, im Wesentlichen konstant sind. Da sich die
30 Temperatur des Gases in dem zweiten Betriebszustand im Wesentlichen nicht verändert, ist der Temperaturmesswert des Gases, der repräsentativ ist für eine Temperatur des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt, beispielsweise der Temperaturmesswert des Gases, der dem aktuellen Zeitpunkt zugeordnet ist oder ein

Temperaturmesswert des Gases, der dem vorangegangenen Zeitpunkt zugeordnet ist.

Der Temperaturkorrekturwert wird beispielsweise derart ermittelt, dass die Differenz zwischen Modelltemperatur und Temperaturmesswert minimiert wird. Beispielsweise wird mittels des Temperaturkorrekturwerts die Modellgröße „Temperatur des Drosselklappenmassenstroms“ des Saugrohrmodells korrigiert. Möglich ist alternativ oder zusätzlich auch die Einführung eines zusätzlichen, nicht physikalisch modellierten Modelleingangs „Wärmestrom durch die Saugrohrwand“, der derart mittels des Temperaturkorrekturwerts korrigiert wird, dass die Differenz zwischen Modelltemperatur und Temperaturmesswert minimiert wird. Auf diese Weise kann die Ermittlung der Zylinderluftmasse besonders genau erfolgen.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird in dem zweiten Betriebszustand der Temperaturmesswert des Gases bereitgestellt, der repräsentativ ist für eine Temperatur des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt und die Modelltemperatur wird für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Temperaturmesswert angepasst.

In dem zweiten Betriebszustand spielt die relativ große Verzögerung des Temperatursensors gegebenenfalls keine Rolle, da sich die Werte des Sensors im Wesentlichen nicht ändern. Somit kann in dem zweiten Betriebszustand die Modelltemperatur einfach an den Temperaturmesswert angepasst werden. Diese Anpassung kann wiederum bei einem Wechsel in den ersten Betriebszustand genutzt werden, da im ersten Betriebszustand die Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt ermittelt wird abhängig von einer Modelltemperatur, die für einen vorangegangenen Zeitpunkt ermittelt wurde. Hierdurch kann somit die Zylinderluftmasse in

beiden Betriebszuständen besonders genau und trotzdem sehr schnell ermittelt werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird die

5 Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Temperaturmesswert angepasst, indem die Modelltemperatur um einen vorgegebenen Faktor in Richtung des Temperaturmesswerts korrigiert wird.

10 Auf diese Weise kann die Korrektur der Zylinderluftmasse besonders robust und sehr einfach erfolgen, da beispielsweise sehr wenige Berechnungsschritte für die Korrektur notwendig sind.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird die

15 Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Temperaturmesswert angepasst, indem die Modelltemperatur abhängig von dem Betrag der Differenz der Modelltemperatur und dem bereitgestellten Temperaturmesswert in Richtung des Temperaturmesswerts korrigiert wird.

20

Auf diese Weise kann die Korrektur der Zylinderluftmasse besonders robust und sehr genau erfolgen, da auf einfache Weise die Differenz für die Korrektur genutzt wird.

25 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird zyklisch ein Modelldruck eines Gases im Ansaugtrakt für einen aktuellen Zeitpunkt ermittelt abhängig von dem vorgegebenen Saugrohrmodell und frei von einem Druckmesswert des Gases, der dem aktuellen Zeitpunkt zugeordnet ist. Der Modelldruck wird für den aktuellen
30 Zeitpunkt ermittelt abhängig von einem Modelldruck, der für einen vorangegangenen Zeitpunkt ermittelt wurde. Abhängig von dem für den aktuellen Zeitpunkt ermittelten Modelldruck wird die Zylinderluftmasse ermittelt.

Auch ein Drucksensor im Ansaugtrakt kann gegebenenfalls Messfehler aufweisen. Indem die Zylinderluftmasse frei von einem dem Druckmesswert ermittelt wird, der dem aktuellen Zeitpunkt zugeordnet ist, kann sehr schnell eine Zylinderluftmasse ermittelt werden und dadurch ein Beitrag zu einem zuverlässigen und emissionsarmen Betrieb der Brennkraftmaschine geleistet werden, da die Zylinderluftmasse als Grundlage für die Kraftstoffzumessung genutzt werden kann.

10 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird in dem zweiten Betriebszustand ein Druckmesswert des Gases bereitgestellt, der repräsentativ ist für einen Druck des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt. Ein Druckkorrekturwert wird ermittelt abhängig von dem Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt und dem
15 bereitgestellten Druckmesswert. Der Druckkorrekturwert wird dem Saugrohrmodell zugeordnet und zumindest in dem ersten und dem zweiten Betriebszustand wird der Modelldruck für den aktuellen Zustand abhängig von dem Druckkorrekturwert mittels des Saugrohrmodells ermittelt.

20 Der Druckkorrekturwert wird beispielsweise derart ermittelt, dass die Differenz zwischen Modelldruck und Druckmesswert minimiert wird. Beispielsweise wird eine Modellgröße des Saugrohrmodells, die repräsentativ ist für die wirksame
25 Querschnittsfläche der Drosselklappe derart mittels des Druckkorrekturwerts korrigiert, dass die Differenz zwischen Modelldruck und Druckmesswert minimiert wird. Auf diese Weise kann die Ermittlung der Zylinderluftmasse besonders genau erfolgen.

30 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird in dem zweiten Betriebszustand ein Druckmesswert des Gases bereitgestellt, der repräsentativ ist für einen Druck des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt und der Modelldruck wird für den aktuellen

Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Druckmesswert angepasst.

Da sich der die Druck des Gases in dem zweiten Betriebszustand im Wesentlichen nicht verändert, ist der Druckmesswert des Gases, der repräsentativ ist für einen Druck des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt, beispielsweise der Druckmesswert des Gases, der dem aktuellen Zeitpunkt zugeordnet ist oder ein Druckmesswert des Gases, der dem vorangegangenen Zeitpunkt zugeordnet ist.

In dem zweiten Betriebszustand ändern sich die Werte des Drucksensors im Wesentlichen nicht. Somit kann in dem zweiten Betriebszustand der Modelldruck einfach an den Druckmesswert angepasst werden. Diese Anpassung kann wiederum bei einem Wechsel in den ersten Betriebszustand genutzt werden, da im ersten Betriebszustand der Modelldruck ermittelt wird abhängig von einem Modelldruck, die für einen vorangegangenen Zeitpunkt ermittelt wurde. Hierdurch kann somit die Zylinderluftmasse in beiden Betriebszuständen besonders genau und trotzdem sehr schnell ermittelt werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird der Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Druckmesswert angepasst, indem der Modelldruck um einen vorgegebenen Faktor in Richtung des Druckmesswerts korrigiert wird.

Auf diese Weise kann die Korrektur der Zylinderluftmasse besonders robust und sehr einfach erfolgen, da beispielsweise sehr wenige Berechnungsschritte für die Korrektur notwendig sind.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird der Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Druckmesswert angepasst, indem der Modelldruck

abhängig von dem Betrag der Differenz des Modelldrucks und dem bereitgestellten Druckmesswert in Richtung des Druckmesswerts korrigiert wird.

- 5 Auf diese Weise kann die Korrektur der Zylinderluftmasse besonders robust und sehr genau erfolgen, da auf einfache Weise die Differenz für die Korrektur genutzt wird.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind im Folgenden anhand der
10 schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Brennkraftmaschine mit einer zugeordneten
Steuervorrichtung,

- 15 Figur 2 einen Ausschnitt eines Ansaugtrakts der Brennkraftmaschine und

Figur 3 eine auf eine Funktion $x(t)$ angewandte Trapezintegrationsformel

20

Elemente gleicher Konstruktion oder Funktion sind figurenübergreifend mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

- Eine Brennkraftmaschine umfasst einen Ansaugtrakt 1, einen
25 Motorblock 2, einen Zylinderkopf 3 und einen Abgastrakt 4.

Der Ansaugtrakt 1 umfasst bevorzugt eine Drosselklappe 5, einen Sammler 6 und ein Saugrohr 7, das hin zu einem Zylinder Z1 über einen Einlasskanal in einen Brennraum 9 des Motorblocks 2 geführt
30 ist. Der Motorblock 2 umfasst eine Kurbelwelle 8, welche über eine Pleuelstange 10 mit einem Kolben 11 des Zylinders Z1 gekoppelt ist. Die Brennkraftmaschine umfasst neben dem Zylinder Z1 vorzugsweise weitere Zylinder Z2, Z3, Z4. Die Brennkraftmaschine kann aber auch jede beliebige andere Anzahl an Zylindern um-

fassen. Die Brennkraftmaschine ist bevorzugt in einem Kraftfahrzeug angeordnet.

5 In dem Zylinderkopf 3 sind bevorzugt ein Einspritzventil 18 und eine Zündkerze 19 angeordnet. Alternativ kann das Einspritzventil 18 auch in dem Saugrohr 7 angeordnet sein.

10 In dem Abgastrakt 4 ist vorzugsweise ein Abgaskatalysator 21 angeordnet, der bevorzugt als Dreiwegekatalysator ausgebildet ist.

15 Ferner kann auch eine Phasen-Verstelleinrichtung vorgesehen sein, die beispielsweise mit der Kurbelwelle 8 und einer Einlassnockenwelle gekoppelt ist. Die Einlassnockenwelle ist mit einem Gaseinlassventil 12 des jeweiligen Zylinders gekoppelt. Die Phasen-Verstelleinrichtung ist dazu ausgebildet, ein Verstellen einer Phase der Einlassnockenwelle zu der Kurbelwelle 8 zu ermöglichen. Ferner kann grundsätzlich die Phasen-Verstelleinrichtung alternativ oder zusätzlich auch dazu ausgebildet
20 sein, eine Phase einer Auslassnockenwelle zu der Kurbelwelle 8 zu verstellen, wobei die Auslassnockenwelle mit einem Gasauslassventil 13 gekoppelt ist.

25 Ferner kann auch eine Schaltnappe oder ein sonstiger Schaltmechanismus zum Verändern einer effektiven Saugrohrlänge in dem Ansaugtrakt 1 vorgesehen sein. Darüber hinaus können auch beispielsweise eine oder mehrere Drallklappen vorgesehen sein.

30 Ferner kann auch ein Lader vorgesehen sein, der beispielsweise als Abgasturbolader ausgebildet sein kann und so eine Turbine und einen Kompressor umfasst.

Eine Steuervorrichtung 25 ist vorgesehen, der Sensoren zugeordnet sind, die verschiedene Messgrößen erfassen und jeweils den

Messwert der Messgröße ermitteln. Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine umfassen die Messgrößen und aus den Messgrößen abgeleitete Größen. Die Steuervorrichtung 25 ist dazu ausgebildet, abhängig von mindestens einer Messgröße Stellgrößen zu ermitteln, die dann in ein oder mehrere Stellsignale zum Steuern der Stellglieder mittels entsprechender Stellantriebe umgesetzt werden. Die Steuervorrichtung 25 kann auch als Vorrichtung zum Betreiben der Brennkraftmaschine bezeichnet werden. Die Sensoren sind beispielsweise ein Pedalstellungsgeber 26, der eine Fahrpedalstellung eines Fahrpedals 27 erfasst, ein Luftmassensensor 28, der einen Luftmassenstrom stromaufwärts der Drosselklappe 5 erfasst, ein Drosselklappenstellungssensor 30, der einen Öffnungsgrad der Drosselklappe 5 erfasst, ein Umgebungsdrucksensor 32, der einen Umgebungsdruck einer Umgebung der Brennkraftmaschine erfasst, ein Saugrohrdrucksensor 34, der einen Saugrohrdruck in dem Sammler 6 erfasst, ein Kurbelwellenwinkelsensor 36, der einen Kurbelwellenwinkel erfasst, dem dann eine Drehzahl der Brennkraftmaschine zugeordnet wird. Ferner ist eine Abgassonde 42 vorgesehen, die stromaufwärts des Abgaskatalysators 21 angeordnet ist und beispielsweise einen Restsauerstoffgehalt des Abgases der Brennkraftmaschine erfasst und deren Messsignal repräsentativ ist für ein Luft-/Kraftstoff-Verhältnis stromaufwärts der Abgassonde 42 vor der Verbrennung. Zum Erfassen der Position der Einlassnockenwelle und/oder der Auslassnockenwelle können ein Einlassnockenwellen-Sensor beziehungsweise ein Auslassnockenwellen-Sensor vorgesehen sein. Darüber hinaus ist bevorzugt ein Temperatursensor vorgesehen, der eine Umgebungstemperatur der Brennkraftmaschine erfasst, und/oder ein weiterer Temperatursensor vorgesehen, dessen Messsignal repräsentativ ist für eine Ansauglufttemperatur in dem Ansaugtrakt 1, die auch als Saugrohrtemperatur bezeichnet werden kann. Ferner kann auch ein Abgasdrucksensor vorgesehen sein, dessen Messsignal repräsentativ ist für einen Abgaskrümmerdruck, also einem Druck in dem Abgastrakt 4.

Je nach Ausführungsform kann eine beliebige Untermenge der genannten Sensoren vorhanden sein oder es können auch zusätzliche Sensoren vorhanden sein.

- 5 Die Stellglieder sind beispielsweise die Drosselklappe 5, die Gaseinlass- und Gasauslassventile 12, 13, das Einspritzventil 18 oder die Phasen-Verstelleinrichtung oder die Zündkerze 19 oder ein Abgasrückführventil.
- 10 Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis, d.h. das Verhältnis der an der Verbrennung im Zylinder teilnehmenden Luftmasse $m_{air,cyl}$, die auch als Zylinderluftmasse bezeichnet werden kann, zur an der Verbrennung im Zylinder teilnehmenden Kraftstoffmasse m_{fuel} ist ein wichtiger Einflussfaktor für die Schadstoffemissionen einer
- 15 Brennkraftmaschine. Die Zylinderluftmasse $m_{air,cyl}$ wird in der Steuereinrichtung (Motorsteuergerät) aufgrund vieler verfügbarer Größen geschätzt und dient als Grundlage für die Kraftstoffzumessung. Zur Einhaltung aktueller und zukünftiger Schadstoffemissionsgrenzwerte muss die Zylinderluftmasse im
- 20 Motorsteuergerät unter allen stationären und transienten Motorbetriebsbedingungen auf wenige Prozent genau bekannt sein.

Druck und Temperatur des sich im Ansaugtrakt 1 befindenden Gases (Saugrohrdruck p_{im} und Saugrohrtemperatur T_{im}) sind wesentliche

25 Einflussfaktoren auf die vom Motor angesaugte Zylinderluftmasse $m_{air,cyl}$ und müssen für eine korrekte Schätzung der Zylinderluftmasse im Motorsteuergerät möglichst genau bekannt sein.

Der Saugrohrdruck p_{im} kann auch als Modelldruck eines Gases im

30 Ansaugtrakt 1 bezeichnet werden. Die Saugrohrtemperatur T_{im} kann auch als Modelltemperatur eines Gases im Ansaugtrakt 1 bezeichnet werden.

Moderne Brennkraftmaschinen sind praktisch immer mit dem weiteren Temperatursensor zur Messung der Gastemperatur im Ansaugtrakt 1 ausgerüstet, der auch als Saugrohrtemperatursensor bezeichnet werden kann. Typische Saugrohrtemperatursensoren für die Serienanwendung zeigen ein starkes PT1-Verhalten mit Zeitkonstanten in der Größenordnung von 5 s. Zusätzlich sind moderne Brennkraftmaschinen praktisch immer mit dem Saugrohrdrucksensor 34 und/oder dem Luftmassensensor 28 mit jeweils vernachlässigbarer Zeitkonstante (wenige Millisekunden) ausgerüstet. Dabei kann entweder den gemessenen Saugrohrdruck $p_{im,mes}$ direkt als Modelleingang zur Bestimmung der Zylinderluftmasse verwendet werden oder ein mittels eines (allgemein als Saugrohrmodell bezeichneten) Zustandsbeobachters modelliert werden und auf den gemessenen Saugrohrdruck $p_{im,mes}$ oder gemessenen Luftmassenstrom $\dot{m}_{air,mes}$ abgeglichenen Saugrohrdruck $p_{im,mdl}$ als Modelleingang zur Bestimmung der Zylinderluftmasse verwendet werden. Weiterhin kann die Saugrohrtemperatur als Modelleingang zur Bestimmung der Zylinderluftmasse verwendet werden. Dabei nutzt man entweder die gemessene Saugrohrtemperatur $T_{im,mes}$ direkt oder einen korrigierte Saugrohrtemperatur $T_{im,mdl}$, für den der Messwert um Korrekturen zur Beschreibung stationärer Aufwärmeeffekte zwischen Temperatursensor und Einlassventil erweitert wird.

Dies hat zur Folge, dass zwar alle gemessenen/beobachteten Änderungen des Saugrohrdrucks schnell - d.h. mit einer Verzögerung weniger Millisekunden - in die Modellierung der Zylinderluftmasse eingehen, Änderungen der Saugrohrtemperatur aber nur langsam mit der durch den Sensor vorgegebenen Dynamik mit einer Zeitkonstante von mehreren Sekunden.

Folgend wird erläutert, wie dazu beigetragen werden kann, die aus wechselnden Aktuatorpositionen der Brennkraftmaschine resul-

tierenden Änderungen des Saugrohrdrucks p_{im} und der Saugrohrtemperatur T_{im} genau und schnell zu modellieren, d.h. ohne die aus der großen Zeitkonstanten des Temperatursensors resultierende Verzögerung. Insbesondere ist eine derart modellierte Saugrohrtemperatur schneller verfügbar, als ein mit für Serienbrennkraftmaschinen verfügbaren Temperatursensoren erfasster Messwert. Dadurch wird die Modellierung der Zylinderluftmasse $m_{air,cyl}$ verbessert und damit ein Beitrag zur Verminderung der Schadstoffemissionen von Brennkraftmaschinen geleistet.

Systemgrenzen und Voraussetzungen

Das betrachtete System umfasst den Ansaugtrakt 1 einer Brennkraftmaschine mit dem darin befindlichen Gas. Es ist abgegrenzt durch die Saugrohrwand, die Gaseinlassventile 13 der Zylinder Z1 bis Z4 der Brennkraftmaschine, die Drosselklappe 5 und die Einlässe eventueller weiterer Gasmassenströme wie z.B. für Tankentlüftung, Kurbelgehäuseentlüftung oder Kraftstoffeinblasung. Die Modellierung folgt einer 0D-Betrachtung, Orte im Ansaugtrakt 1 werden nicht unterschieden.

Im Ansaugtrakt 1 mit dem konstanten Volumen V_{im} befindet sich eine Gasmasse m_{im} mit dem aktuellen Saugrohrdruck p_{im} und der aktuellen Saugrohrtemperatur T_{im} (Fig. 2). Es gilt die allgemeine Gasgleichung

$$p_{im} \cdot V_{im} = m_{im} \cdot R \cdot T_{im} \quad ((1)).$$

Berücksichtigte Massenflüsse

Es gibt im allgemeinen Fall mehrere vom Saugrohrdruck beeinflusste Massenzuflüsse $\dot{m}_{in,1}, \dot{m}_{in,2}, \dots, \dot{m}_{in,q}$ aus q Quellen mit bekannten Gaszuständen (d.h. Quelldrücken $p_{0,1}, p_{0,2}, \dots, p_{0,q}$ und Quelltemperaturen $T_{0,1}, T_{0,2}, \dots, T_{0,q}$). Diese q Massenzuflüsse fließen über q Drosselstellen mit den wirksamen Querschnittsflächen $A_{in,1}, A_{in,2}, \dots, A_{in,q}$ in den Ansaugtrakt 1:

$$\dot{m}_{in,i} = A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi(\Pi_i); \quad i \in [1..q] \quad ((2)),$$

mit: $\dot{m}_{in,i}$ - Massenstrom, $T_{0,i}$ - Temperatur vor Drosselstelle, $p_{0,i}$ - Druck vor Drosselstelle des über die i-te Drosselstelle zufließenden Gases,

$$C(T_{0,i}) = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{(\kappa - 1) \cdot R \cdot T_{0,i}}} \quad ((3))$$

Temperaturfaktor mit κ - Isentropenexponent, $R = c_p - c_v$ - spezifischer Gaskonstante, c_p - spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck, c_v - spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen des zufließenden Gases,

$$\Pi_i = \frac{p_{im}}{p_{0,i}} \quad ((4))$$

Druckverhältnis an der i-ten Drosselstelle,

$$\Psi(\Pi_i) = \begin{cases} \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{1}{\kappa - 1}} \sqrt{\frac{\kappa - 1}{\kappa + 1}} & \text{für } \Pi_i < 0,53, \text{ d.h. überkritisches Druckverhältnis} \\ \sqrt{\left(\frac{p_{im}}{p_{0,i}} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_{im}}{p_{0,i}} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}}} & \text{für } \Pi_i \geq 0,53, \text{ d.h. unterkritisches Druckverhältnis} \end{cases} \quad ((5)).$$

Durchflusskoeffizient an der i-ten Drosselstelle, kann für den Betriebspunkt Π_i linearisiert werden zu

$$\Psi(\Pi_i) = \Psi_{offset}(\Pi_i) - \Psi_{slope}(\Pi_i) \cdot \Pi_i \quad ((6))$$

Als Vereinfachung werden für alle im Ansaugtrakt 1 fließenden Gase jeweils einheitlicher Werte für Isentropenexponent, Gaskonstante und Wärmekapazitäten angenommen.

5

Diese Massenzuflüsse gelten als vom Saugrohrdruck beeinflusst,

- weil das Druckverhältnis Π_i über die jeweilige Drosselstelle zumindest in manchen Betriebszuständen unterkritisch, d.h. $\Pi_i \geq 0,53$ sein kann,

10

- weil der Durchflusskoeffizient $\Psi(\Pi_i)$ dann nach Gleichung ((5)) vom Saugrohrdruck p_{im} abhängig ist und
- weil diese Massenströme als Funktion des Saugrohrdrucks - nicht nur als Wert - in das Saugrohrmodell eingehen sollen.

15

Beispiele für vom Saugrohrdruck beeinflusste Zuflüsse in den Ansaugtrakt 1 sind der Massenstrom einer externen Abgasrückführung, der Kurbelgehäuseentlüftungsmassenstrom, der Tankentlüftungsmassenstrom sowie der in praktisch allen Be-

20

triebszuständen dominierende Drosselklappenmassenstrom. Wesentlich ist, dass sich diese Zuflüsse nach dem Saugrohrdruck p_{im} linearisieren, d.h. als lineare Funktionen des Saugrohrdrucks in der Form $\dot{m}_{in,i} = L_{in,i} \cdot p_{im} + K_{in,i}$ mit $i \in [1 \dots q]$ darstellen lassen.

25

Es gibt im allgemeinen Fall mehrere vom Saugrohrdruck p_{im} beeinflusste Massenabflüsse in s verschiedene Senken. Beispiele für Abflüsse aus dem Ansaugtrakt 1 sind Leckagemassenströme im aufgeladenen Betrieb sowie der in praktisch allen Betriebs-

30

zuständen dominierende Einlassventilmassenstrom. Praktisch gibt es in der fehlerfrei arbeitenden Brennkraftmaschine nur einen Massenstrom aus dem Ansaugtrakt 1, das ist der Einlassven-

tilmassenstrom in den jeweils ansaugenden Zylinder. Dieser wird im Folgenden als Abflussmassenstrom $\dot{m}_{out}$ bezeichnet. Er wird im jeweiligen Motorbetriebspunkt nach dem Saugrohrdruck p_{im} linearisiert, d.h. als lineare Funktion des Saugrohrdrucks p_{im} mit den Parametern $\eta_{slope}, \eta_{offset}$ (Steigung und Offset der volumetrischen Effizienz) angenähert:

$$\dot{m}_{out} = \eta_{slope} \cdot p_{im} - \eta_{offset} \quad ((7)).$$

Das negative Vorzeichen des Offsets ist nicht zwingend.

Es gibt im allgemeinen Fall weitere, vom Saugrohrdruck p_{im} nicht beeinflusste Massenzuflüsse $\dot{m}_{in,q+1}, \dot{m}_{in,q+2}, \dots, \dot{m}_{in,q+r}$ aus r Quellen mit bekannten Gaszuständen (d.h. Quelldrücken $p_{0,q+1}, p_{0,q+2}, \dots, p_{0,q+r}$ und Quelltemperaturen $T_{0,q+1}, T_{0,q+2}, \dots, T_{0,q+r}$). Für sie gelten die Gleichungen ((2)) bis ((6)) entsprechend. Diese Massenzuflüsse gelten als nicht vom Saugrohrdruck p_{im} beeinflusst,

- weil entweder das Druckverhältnis über die jeweilige Drosselstelle in allen Betriebszuständen überkritisch ist, d.h. $\Pi_i < 0,53$, der Durchflusskoeffizient Ψ dann nach Gleichung ((5)) konstant ist und der jeweilige Wert des Zuflussmassenstroms unabhängig vom Saugrohrdruck p_{im} berechnet werden kann (z.B. am Gaseinblaseventil für CNG) oder
- weil trotz eines möglicherweise unterkritischer Druckverhältnisses $\Pi_i \geq 0,53$ an einer Drosselstelle als Modellvereinfachung der zugehörige Massenstrom auf Basis eines alten Werts des Saugrohrdrucks $p_{im,n-1}$ außerhalb des Saugrohrmodells berechnet wird und dann nur als Wert (nicht als Funktion des Saugrohrdrucks) in das Saugrohrmodell eingeht.

Im Ansaugtrakt 1 gilt das Gesetz der Massenerhaltung (Massenbilanz) allgemein für s Abflüsse und speziell für einen Abfluss. Im Folgenden wird ohne Einschränkung der Allgemeinheit nur ein Abfluss betrachtet

5

$$\dot{m}_{im} = \sum_{i=1}^{q+r} \dot{m}_{in,i} - \sum_{j=1}^s \dot{m}_{out,j} = \sum_{i=1}^{q+r} \dot{m}_{in,i} - \dot{m}_{out} \quad ((8)).$$

Modellbildung

10 Die Enthalpie H_{im} des Gases im Ansaugtrakt 1 mit konstantem Volumen V_{im} ist gleich der Summe von Verdrängungsarbeit

$V_{im} \cdot p_{im}$, Wärmeenergie W_{therm} , potentieller Energie W_{pot} und kinetischer Energie W_{kin} des Gases im Ansaugtrakt 1:

15
$$H_{im} = W_{therm} + W_{pot} + W_{kin} + p_{im} \cdot V_{im} \quad ((9)).$$

Die potentielle Energie des Gases im Ansaugtrakt 1 W_{pot} kann vernachlässigt werden, da zwischen Ansaugtrakteintritt und -austritt kein signifikanter Höhenunterschied besteht und die
 20 potentielle Energie von Gasen aufgrund ihrer relativ kleinen Dichte generell vernachlässigbar ist. Die kinetische Energie des Gases im Saugrohr W_{kin} ist im für den Betrieb von Brennkraftmaschinen relevanten Druck- und Temperaturbereich um mindestens den Faktor 100 kleiner als die jeweilige Verdrängungsarbeit und Wärmeenergie des Gases und kann deshalb auch
 25 vernachlässigt werden. Als Enthalpie des Gases im Ansaugtrakt 1 ergibt sich damit

$$\begin{aligned}
 H_{im} &= W_{therm} + p_{im} \cdot V_{im} \\
 &= c_v \cdot T_{im} \cdot m_{im} + p_{im} \cdot V_{im} \quad ((10)),
 \end{aligned}$$

mit: T_{im} - Temperatur, m_{im} - Masse des Gases im Ansaugtrakt 1.

5 Für den Ansaugtrakt 1 als offenes System mit $q+r$ Zuflüssen und einem Abfluss gilt unter Vernachlässigung von Wärmeübergängen durch die Saugrohrwand (auf die weiter unten nochmals eingegangen werden wird) die Enthalpiebilanz

$$\begin{aligned}
 10 \quad \frac{d}{dt} H_{im} &= \sum_{i=1}^{q+r} \left(\dot{m}_{in,i} \cdot \left(h_{in,i} + \frac{1}{2} \cdot v_{in,i}^2 + g \cdot z_{in,i} \right) \right) - \dot{m}_{out} \cdot \left(h_{out} + \frac{1}{2} \cdot v_{out}^2 + g \cdot z_{out} \right) \\
 &\quad ((11)),
 \end{aligned}$$

mit: $h_{in,i}$ - spezifische Enthalpie, $v_{in,i}$ - Fließgeschwindigkeit,

$z_{in,i}$ - Höhe des i-ten Massenzuflusses, h_{out} - spezifische Ent-

halpie, v_{out} - Fließgeschwindigkeit, z_{out} - Höhe des Massen-

15 abflusses, g - Erdbeschleunigung.

Durch die oben beschriebene Vernachlässigung von kinetischer und potentieller Energie des Gases im Ansaugtrakt 1 werden

Fließgeschwindigkeiten und Höhen vernachlässigt und Gleichung

20 ((11)) vereinfacht sich zu

$$\frac{d}{dt} H_{im} = \sum_{i=1}^{q+r} (\dot{m}_{in,i} \cdot h_{in,i}) - \dot{m}_{out} \cdot h_{out} \quad ((12)).$$

Die abfließenden Massen haben Saugrohrtemperatur T_{im} , damit ist

25 die spezifische Enthalpie des Abflussmassenstroms

$$h_{out} = c_p \cdot T_{im} \quad ((13)).$$

Die zufließenden Massen haben jeweils die Temperatur ihrer Quelle $T_{0,i}$, damit ist die spezifische Enthalpie des i-ten

5 Zuflussmassenstroms

$$h_{in,i} = c_p \cdot T_{0,i} \quad ((14)).$$

Durch Einsetzen der Gleichungen ((10)), ((13)), ((14)) in Gleichung ((12)) ergibt sich

10

$$c_v \cdot \dot{m}_{im} \cdot T_{im} + c_v \cdot m_{im} \cdot \dot{T}_{im} + \dot{p}_{im} \cdot V_{im} + p_{im} \cdot \dot{V}_{im} = c_p \cdot \sum_{i=1}^{q+r} (\dot{m}_{in,i} \cdot T_{0,i}) - \dot{m}_{out} \cdot c_p \cdot T_{im} \quad ((15)).$$

Wegen des konstanten Saugrohrvolumens ist $p_{im} \cdot \dot{V}_{im} = 0$. Unter

15 Berücksichtigung der funktionalen Abhängigkeiten aus ((1)), ((2)), ((4)) und ((8)) ergibt sich aus ((15)) durch Umstellen

$$\dot{p}_{im} \cdot V_{im} = c_p \cdot \left(\sum_{i=1}^{q+r} (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot T_{0,i}) - \dot{m}_{out}(p_{im}) \cdot T_{im} \right) - c_v \cdot (\dot{m}_{im}(p_{im}) \cdot T_{im} + m_{im}(p_{im}, T_{im}) \cdot \dot{T}_{im}) \quad ((16))$$

20

eine erste implizite Differentialgleichung erster Ordnung der Variablen Saugrohrdruck p_{im} und Saugrohrtemperatur T_{im} .

Die Ableitung der allgemeinen Gasgleichung für das Gas im

25 Ansaugtrakt 1 ((1)) nach der Zeit liefert

$$\dot{p}_{im} \cdot V_{im} + p_{im} \cdot \dot{V}_{im} = \dot{m}_{im} \cdot R \cdot T_{im} + m_{im} \cdot R \cdot \dot{T}_{im} \quad ((17)).$$

Wegen des konstanten Saugrohrvolumens ist $p_{im} \cdot \dot{V}_{im} = 0$. Unter Berücksichtigung der funktionalen Abhängigkeiten aus ((1)), ((2)), ((4)) und ((8)) ergibt sich aus ((17))

$$5 \quad \dot{p}_{im} \cdot V_{im} = \dot{m}_{im}(p_{im}) \cdot R \cdot T_{im} + m_{im}(p_{im}, T_{im}) \cdot R \cdot \dot{T}_{im} \quad ((18))$$

eine zweite implizite Differentialgleichung erster Ordnung der Variablen Saugrohrdruck p_{im} und Saugrohrtemperatur T_{im} .

10 Diskretisierung des Modells

Die beiden Differentialgleichungen erster Ordnung der Variablen Saugrohrdruck p_{im} und Saugrohrtemperatur T_{im} ((16)) und ((18)) werden so umgeformt, dass einmal der Saugrohrdruckgradient $\dot{p}_{im}$ und einmal der Saugrohrtemperaturgradient $\dot{T}_{im}$ eliminiert werden.

Die Differenz der Gleichungen ((18)) - ((16)) eliminiert den Saugrohrdruckgradient $\dot{p}_{im}$. Nach Einsetzen der Massenbilanz

20 ((8)) liefert das Umstellen nach $\dot{T}_{im}$

$$\dot{T}_{im} = \frac{1}{m_{im}(p_{im}, T_{im})} \cdot \sum_{i=1}^{q+r} (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot (T_{0,i} - T_{im})) \quad ((19)).$$

Auf die Saugrohrtemperatur T_{im} wird die allgemeingültige Trapez-Integrationsformel (siehe Figur 3) zur zeitlichen Diskretisierung des Modells

25

$$x_n = x(t_n) = x(t_{n-1}) + \frac{\dot{x}(t_{n-1}) + \dot{x}(t_n)}{2} \cdot (t_n - t_{n-1}) \quad ((20)),$$

mit der Abtastzeit (sampling time) $t_s = t_n - t_{n-1}$ angewandt:

5

$$T_{im} = T_{im,n} = T_{im,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot (\dot{T}_{im,n-1} + \dot{T}_{im}) \quad ((21)).$$

Alte Saugrohrtemperatur $T_{im,n-1}$ und alter Saugrohrtemperatur-

gradient $\dot{T}_{im,n-1}$ sind zum Zeitpunkt n aus dem vorhergehenden

10 Berechnungsschritt $n-1$ bekannte Werte. Durch Einsetzen von Gleichung ((19)) in ((21)) wird auch der Saugrohrtemperaturgradient $\dot{T}_{im}$ eliminiert:

$$T_{im} = T_{im,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \dot{T}_{im,n-1} + \frac{t_s}{2 \cdot m_{im}(p_{im}, T_{im})} \cdot \sum_{i=1}^{q+r} (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot (T_{0,i} - T_{im}))$$

15 ((22)).

Die Terme mit zu Beginn der Berechnungen für Zeitpunkt n bekannten Werten werden zur Vereinfachung der weiteren Herleitung zusammengefasst:

20

$$G_{0,1} = T_{im,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \dot{T}_{im,n-1} \quad ((23)).$$

Ein Ersetzen der aktuellen Gasmasse im Ansaugtrakt 1 in Gleichung ((22)) nach Gleichung ((1))

25

$$m_{im} = \frac{p_{im} \cdot V_{im}}{R \cdot T_{im}} \quad ((24))$$

würde die in T_{im} lineare Gleichung ((22)) mit einem quadratischen Term T_{im}^2 verkomplizieren. Da die Gasmasse im Ansaugtrakt 1 nicht springen kann und sich in einem Rechenschritt nur relativ wenig verändert, kann ohne großen Genauigkeitsverlust zur Vereinfachung von Gleichung ((22)) die aktuelle, unbekannte Gasmasse m_{im} durch die alte, im vorhergehenden Rechenschritt

bestimmte Gasmasse $m_{im,n-1} = \frac{V_{im}}{R} \cdot \frac{p_{im,n-1}}{T_{im,n-1}}$ ersetzt werden:

$$T_{im} = G_{0,1} + \frac{t_s \cdot R \cdot T_{im,n-1}}{2 \cdot V_{im} \cdot p_{im,n-1}} \cdot \sum_{i=1}^{q+r} (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot (T_{0,i} - T_{im})) \quad ((25)).$$

Die Terme mit zu Beginn der Berechnungen für Zeitpunkt n bekannten Werten werden zur Vereinfachung der weiteren Herleitung zusammengefasst

$$E = \frac{t_s \cdot R \cdot T_{im,n-1}}{2 \cdot V_{im} \cdot p_{im,n-1}} \quad ((26)).$$

Die q vom Saugrohrdruck beeinflussten und die r vom Saugrohrdruck unbeeinflussten Zuflüsse werden separat geschrieben

$$\begin{aligned} T_{im} &= G_{0,1} + E \cdot \sum_{i=1}^q (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot (T_{0,i} - T_{im})) + E \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k} \cdot (T_{0,k} - T_{im})) \\ &= G_{0,1} + E \cdot \sum_{i=1}^q (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot (T_{0,i} - T_{im})) + E \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k} \cdot T_{0,k}) - E \cdot T_{im} \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k}) \end{aligned} \quad ((27)).$$

Die Terme mit zu Beginn der Berechnungen für Zeitpunkt n bekannten Werten werden zur Vereinfachung der weiteren Herleitung zusammengefasst

5

$$G_{0,2} = E \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k} \cdot T_{0,k}) \quad ((28)) \quad \text{und}$$

$$G_{1,1} = -E \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k}) \quad ((29)).$$

Das Ersetzen der vom Saugrohrdruck beeinflussten Zuflüsse nach Gleichung ((2)) in ((27)) ergibt

10

$$T_{im} = G_{0,1} + E \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi(\Pi_i) \cdot (T_{0,i} - T_{im})) + G_{0,2} + G_{1,1} \cdot T_{im} \quad ((30)).$$

Das Ersetzen des Durchflusskoeffizienten an der i -ten Drosselstelle nach Gleichung ((4)) und ((6)) in ((30)) ergibt

15

$$T_{im} = G_{0,1} + G_{0,2} + G_{1,1} \cdot T_{im} + E \cdot \sum_{i=1}^q \left(A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \left(\Psi_{offset}(\Pi_i) - \Psi_{slope}(\Pi_i) \cdot \frac{p_{im}}{p_{0,i}} \right) \cdot (T_{0,i} - T_{im}) \right) \quad ((31)),$$

$$T_{im} = G_{0,1} + G_{0,2} + G_{1,1} \cdot T_{im} + E \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{offset}(\Pi_i) \cdot (T_{0,i} - T_{im})) - p_{im} \cdot E \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{slope}(\Pi_i) \cdot (T_{0,i} - T_{im})) \quad ((32))$$

20

und

$$\begin{aligned}
T_{im} &= G_{0,1} + G_{0,2} + G_{1,1} \cdot T_{im} \\
&+ E \cdot \sum_{i=1}^q \left(A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{offset}(\Pi_i) \cdot T_{0,i} \right) \\
&- T_{im} \cdot E \cdot \sum_{i=1}^q \left(A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{offset}(\Pi_i) \right) \\
&- p_{im} \cdot E \cdot \sum_{i=1}^q \left(A_{in,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{slope}(\Pi_i) \cdot T_{0,i} \right) \\
&+ p_{im} \cdot T_{im} \cdot E \cdot \sum_{i=1}^q \left(A_{in,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{slope}(\Pi_i) \right)
\end{aligned} \quad ((33)) .$$

Die Terme mit zu Beginn der Berechnungen für Zeitpunkt n bekannten Werten werden zur Vereinfachung der weiteren Herleitung zu-

5 zusammengefasst

$$G_{0,3} = E \cdot \sum_{i=1}^q \left(A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{offset}(\Pi_i) \cdot T_{0,i} \right) \quad ((34)) ,$$

$$G_{1,2} = -E \cdot \sum_{i=1}^q \left(A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{offset}(\Pi_i) \right) \quad ((35)) ,$$

$$G_{2,1} = -E \cdot \sum_{i=1}^q \left(A_{in,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{slope}(\Pi_i) \cdot T_{0,i} \right) \quad ((36)) \text{ und}$$

$$10 \quad G_{3,1} = E \cdot \sum_{i=1}^q \left(A_{in,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{slope}(\Pi_i) \right) \quad ((37)) .$$

Gleichung ((33)) vereinfacht sich damit zu

$$15 \quad T_{im} = (G_{0,1} + G_{0,2} + G_{0,3}) + (G_{1,1} + G_{1,2}) \cdot T_{im} + G_{2,1} \cdot p_{im} + G_{3,1} \cdot p_{im} \cdot T_{im} \quad ((38))$$

und weiter zu

$$0 = \frac{G_{0,1} + G_{0,2} + G_{0,3}}{G_{3,1}} + \frac{G_{1,1} + G_{1,2} - 1}{G_{3,1}} \cdot T_{im} + \frac{G_{2,1}}{G_{3,1}} \cdot p_{im} + p_{im} \cdot T_{im} \quad ((39)).$$

Analog zur Eliminierung des Saugrohrdruckgradienten in Gleichung ((19)) ff. wird in einer zweiten parallelen Transformation der Saugrohrtemperaturgradient aus dem Gleichungssystem ((16)), ((18)) eliminiert. Eine Multiplikation von Gleichung ((16)) mit der spezifischen Gaskonstante R ergibt

$$\dot{p}_{im} \cdot V_{im} = c_p \cdot \left(\sum_{i=1}^{q+r} (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot T_{0,i}) - \dot{m}_{out}(p_{im}) \cdot T_{im} \right) - c_v \cdot (\dot{m}_{im}(p_{im}) \cdot T_{im} + m_{im}(p_{im}, T_{im}) \cdot \dot{T}_{im}) \quad ((40)).$$

Eine Multiplikation von Gleichung ((18)) mit der spezifischen Wärmekapazität c_v liefert

$$c_v \cdot \dot{p}_{im} \cdot V_{im} = c_v \cdot \dot{m}_{im}(p_{im}) \cdot R \cdot T_{im} + c_v \cdot m_{im}(p_{im}, T_{im}) \cdot R \cdot \dot{T}_{im} \quad ((41)).$$

Die Summe der Gleichungen ((40)) und ((41)) ergibt

$$(c_v + R) \cdot \dot{p}_{im} \cdot V_{im} = R \cdot c_p \cdot \left(\sum_{i=1}^{q+r} (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot T_{0,i}) - \dot{m}_{out}(p_{im}) \cdot T_{im} \right) \quad ((42))$$

und unter Berücksichtigung der Definition der spezifischen Gaskonstante $R = c_p - c_v$

$$\dot{p}_{im} = \frac{R}{V_{im}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{q+r} (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot T_{0,i}) - \dot{m}_{out}(p_{im}) \cdot T_{im} \right) \quad ((43)).$$

Auf den Saugrohrdruck p_{im} wird die allgemeingültige Trapez-Integrationsformel ((20)) mit der Abtastzeit (sampling time)

$t_s = t_n - t_{n-1}$ angewandt:

$$p_{im} = p_{im,n} = p_{im,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot (\dot{p}_{im,n-1} + \dot{p}_{im}) \quad ((44)).$$

Alter Saugrohrdruck $p_{im,n-1}$ und alter Saugrohrdruckgradient

$\dot{p}_{im,n-1}$ sind zum Zeitpunkt n aus dem vorhergehenden Berechnungsschritt $n-1$ bekannte Werte. Durch Einsetzen von Gleichung

((43)) in ((44)) wird auch der Saugrohrdruckgradient $\dot{p}_{im}$ eliminiert

$$p_{im} = p_{im,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \dot{p}_{im,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \frac{R}{V_{im}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{q+r} (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot T_{0,i}) - \dot{m}_{out}(p_{im}) \cdot T_{im} \right) \quad ((45)).$$

15

Die Terme mit zu Beginn der Berechnungen für Zeitpunkt n bekannten Werten werden zur Vereinfachung der weiteren Herleitung zusammengefasst:

$$F_{0,1} = p_{im,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \dot{p}_{im,n-1} \quad ((46)) \quad \text{und}$$

$$D = \frac{t_s \cdot R}{2 \cdot V_{im}} \quad ((47)).$$

Die q vom Saugrohrdruck beeinflussten und die r vom Saugrohrdruck unbeeinflussten Zuflüsse werden separat geschrieben

25

$$p_{im} = F_{0,1} + D \cdot \sum_{i=1}^q (\dot{m}_{in,i}(p_{im}) \cdot T_{0,i}) + D \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k} \cdot T_{0,k}) - D \cdot \dot{m}_{out}(p_{im}) \cdot T_{im} \quad ((48)) .$$

Das Ersetzen des Abflussmassenstroms nach Gleichung ((7)) und der
5 Zuflussmassenströme nach Gleichung ((2)) ergibt

$$p_{im} = F_{0,1} + D \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi(\Pi_i) \cdot T_{0,i}) + D \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k} \cdot T_{0,k}) - D \cdot \dot{m}_{out}(p_{im}) \cdot T_{im} \quad ((49)) .$$

10 Das Ersetzen des Durchflusskoeffizienten an der i-ten Drosselstelle nach Gleichung ((4)) und ((6)) in ((49)) ergibt

$$\begin{aligned} p_{im} = & F_{0,1} \\ & + D \cdot \sum_{i=1}^q \left(A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \left(\Psi_{offset}(\Pi_i) - \Psi_{slope}(\Pi_i) \cdot \frac{p_{im}}{p_{0,i}} \right) \cdot T_{0,i} \right) \\ & + D \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k} \cdot T_{0,k}) \\ & - D \cdot (\eta_{slope} \cdot p_{im} - \eta_{offset}) \cdot T_{im} \end{aligned} \quad ((50)) \text{ und}$$

15

$$\begin{aligned} p_{im} = & F_{0,1} \\ & + D \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{offset}(\Pi_i) \cdot T_{0,i}) \\ & - D \cdot p_{im} \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{slope}(\Pi_i) \cdot T_{0,i}) \\ & + D \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k} \cdot T_{0,k}) \quad ((51)) . \\ & + D \cdot \eta_{offset} \cdot T_{im} \\ & - D \cdot \eta_{slope} \cdot p_{im} \cdot T_{im} \end{aligned}$$

Die Terme mit zu Beginn der Berechnungen für Zeitpunkt n bekannten Werten werden zur Vereinfachung der weiteren Herleitung zusammengefasst:

$$F_{0,2} = D \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k} \cdot T_{0,k}) \quad ((52)),$$

$$F_{0,3} = D \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{offset}(\Pi_i) \cdot T_{0,i}) \quad ((53)),$$

$$F_{1,1} = D \cdot \eta_{offset} \quad ((54)),$$

$$F_{2,1} = -D \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{slope}(\Pi_i) \cdot T_{0,i}) \quad ((55)) \text{ und}$$

$$F_{3,1} = -D \cdot \eta_{slope} \quad ((56)).$$

10

Gleichung ((51)) vereinfacht sich damit zu

$$p_{im} = (F_{0,1} + F_{0,2} + F_{0,3}) + F_{1,1} \cdot T_{im} + F_{2,1} \cdot p_{im} + F_{3,1} \cdot p_{im} \cdot T_{im} \quad ((57))$$

15 und weiter zu

$$0 = \frac{F_{0,1} + F_{0,2} + F_{0,3}}{F_{3,1}} + \frac{F_{1,1}}{F_{3,1}} \cdot T_{im} + \frac{F_{2,1} - 1}{F_{3,1}} \cdot p_{im} + p_{im} \cdot T_{im} \quad ((58)).$$

Lösung des Gleichungssystems

20

Die Gleichungen ((39)) und ((58)) bilden ein Gleichungssystem der Variablen Saugrohrdruck p_{im} und Saugrohrtemperatur T_{im} der Form

$$p_{im} \cdot T_{im} + a \cdot p_{im} + b \cdot T_{im} + c = 0 \quad ((59)) \text{ und}$$

25

$$p_{im} \cdot T_{im} + d \cdot p_{im} + e \cdot T_{im} + f = 0 \quad ((60)),$$

$$\text{mit} \quad \begin{aligned} a &= \frac{G_{2,1}}{G_{3,1}}, & d &= \frac{F_{2,1}-1}{F_{3,1}}, \\ b &= \frac{G_{1,1}+G_{1,2}-1}{G_{3,1}}, & e &= \frac{F_{1,1}}{F_{3,1}}, \\ c &= \frac{G_{0,1}+G_{0,2}+G_{0,3}}{G_{3,1}}, & f &= \frac{F_{0,1}+F_{0,2}+F_{0,3}}{F_{3,1}}. \end{aligned}$$

Als Differenz der Gleichungen ((59)) und ((60)) ergibt sich das
5 linearisierte Saugrohrmodell im aktuellen Betriebspunkt

$$(a-d) \cdot p_{im} + (b-e) \cdot T_{im} + c - f = 0 \quad ((61)).$$

Für $b=e$ würden laut Gleichung ((61)) beliebige Saugrohr-
10 temperaturänderungen keine Änderung des Saugrohrdruck bewirken,
was im Widerspruch zur allgemeinen Gasgleichung ((1)) steht.
Damit ist der Fall $b=e$ physikalisch nicht relevant. Für $b \neq e$
lässt sich Gleichung ((61)) umstellen zu

$$15 \quad T_{im} = \frac{d-a}{b-e} \cdot p_{im} + \frac{f-c}{b-e} \quad ((62)).$$

Durch Einsetzen von Gleichung ((62)) in entweder Gleichung ((59))
oder ((60)) ergibt sich jeweils

$$20 \quad (d-a) \cdot p_{im}^2 + (f-c-a \cdot e + b \cdot d) \cdot p_{im} + (b \cdot f - c \cdot e) = 0 \quad ((63)).$$

Für $a=d$ würden laut Gleichung ((61)) beliebige Saugrohr-
druckänderungen keine Änderung der Saugrohrtemperatur bewirken,
was im Widerspruch zur allgemeinen Gasgleichung ((1)) steht.

Damit ist auch der Fall $a=d$ physikalisch nicht relevant. Für $a \neq d$ lässt sich Gleichung ((63)) umstellen zu

$$p_{im}^2 + \frac{f-c-a \cdot e+b \cdot d}{d-a} \cdot p_{im} + \frac{b \cdot f-c \cdot e}{d-a} = x^2 + P \cdot x + Q = 0 \quad ((64))$$

Die Lösungsformel der quadratischen Gleichung

$$\begin{aligned} p_{im} &= -\frac{P}{2} \pm \sqrt{\frac{P^2}{4} - Q} \\ &= -\frac{f-c-a \cdot e+b \cdot d}{2 \cdot (d-a)} \pm \sqrt{\frac{(f-c-a \cdot e+b \cdot d)^2}{4 \cdot (d-a)^2} - \frac{b \cdot f-c \cdot e}{d-a}} \quad ((65)) \end{aligned}$$

liefert für die praktisch relevanten Fälle für den Zeitpunkt n immer zwei Lösungen. Als Näherung des Saugrohrdrucks für den Zeitpunkt n wird wegen der real vorhandenen Stetigkeit des Saugrohrdrucks jeweils die näher an der alten Lösung für den Zeitpunkt $n-1$ liegende Lösung verwendet.

Zusammenfassend werden Saugrohrdruck P_{im} und Saugrohrtemperatur

T_{im} für den Zeitpunkt n aus den Gleichungen ((60)), ((62)) und ((65)) modelliert als

$$p_{im,mdl} = -\frac{f-c-a \cdot e+b \cdot d}{2 \cdot (d-a)} \pm \sqrt{\frac{(f-c-a \cdot e+b \cdot d)^2}{4 \cdot (d-a)^2} - \frac{b \cdot f-c \cdot e}{d-a}} \quad ((66))$$

und

$$T_{im,mdl} = \frac{d-a}{b-e} \cdot p_{im} + \frac{f-c}{b-e} \quad ((67))$$

mit

$$a = \frac{G_{2,1}}{G_{3,1}} ,$$

$$b = \frac{G_{1,1} + G_{1,2} - 1}{G_{3,1}} ,$$

$$c = \frac{G_{0,1} + G_{0,2} + G_{0,3}}{G_{3,1}} ,$$

$$5 \quad d = \frac{F_{2,1} - 1}{F_{3,1}} ,$$

$$e = \frac{F_{1,1}}{F_{3,1}} ,$$

$$f = \frac{F_{0,1} + F_{0,2} + F_{0,3}}{F_{3,1}} ,$$

$$D = \frac{t_s \cdot R}{2 \cdot V_{im}} ,$$

$$E = \frac{t_s \cdot R \cdot T_{im,mdl,n-1}}{2 \cdot V_{im} \cdot p_{im,mdl,n-1}} ,$$

$$10 \quad F_{0,1} = p_{im,mdl,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \dot{p}_{im,mdl,n-1} ,$$

$$F_{0,2} = D \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k} \cdot T_{0,k}) ,$$

$$F_{0,3} = D \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{offset}(\Pi_i) \cdot T_{0,i}) ,$$

$$F_{1,1} = D \cdot \eta_{offset} ,$$

$$F_{2,1} = -D \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{slope}(\Pi_i) \cdot T_{0,i}) ,$$

$$15 \quad F_{3,1} = -D \cdot \eta_{slope} ,$$

$$G_{0,1} = T_{im,mdl,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \dot{T}_{im,mdl,n-1},$$

$$G_{0,2} = E \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k} \cdot T_{0,k}),$$

$$G_{0,3} = E \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{offset}(\Pi_i) \cdot T_{0,i}),$$

$$G_{1,1} = -E \cdot \sum_{k=1}^r (\dot{m}_{in,k}),$$

$$5 \quad G_{1,2} = -E \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot p_{0,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{offset}(\Pi_i)) \quad ,$$

$$G_{2,1} = -E \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{slope}(\Pi_i) \cdot T_{0,i}) \quad \text{und}$$

$$G_{3,1} = E \cdot \sum_{i=1}^q (A_{in,i} \cdot C(T_{0,i}) \cdot \Psi_{slope}(\Pi_i)).$$

Abgleich des Saugrohrmodells auf den gemessenen Gaszustand

10

Im quasistationären Betrieb, d.h. nachdem alle Eingangssignale in das Saugrohrmodell für mehrere Sekunden im Wesentlichen konstant gewesen sind, ist es vorteilhaft, wenn das Saugrohrmodell den mit dem Sensor messbaren Saugrohrdruck $p_{im,mdl} =$

15

$p_{im,mes}$ und die messbare Saugrohrtemperatur $T_{im,mdl} = T_{im,mes}$ ausgibt. Die durch die Gleichungen ((66)) und ((67)) gegebenen Form des Saugrohrmodells kann dies nicht sicherstellen, da sie nicht vom gemessenen Saugrohrdruck $p_{im,mes}$ oder von der gemessenen Saugrohrtemperatur $T_{im,mes}$ abhängig sind. Insbesondere die

20

zu Gleichung ((11)) angenommene Vernachlässigung von Wärmeübergängen durch die Saugrohrwand verfälscht das Saugrohrmodell

stationär signifikant. Um Messwerte und Modellausgänge stationär trotzdem zusammenzuführen, sind drei Verfahren möglich:

1. Beobachterkorrektur: Beispielsweise ein oder mehrere Eingänge des Modells können automatisch so korrigiert werden, dass die Modellabweichungen $T_{im,mes} - T_{im,mdl}$ und/oder $p_{im,mes} - p_{im,mdl}$ minimiert werden.

Hierfür wird in dem quasistationären Betrieb ein Temperaturmesswert des Gases bereitgestellt, der repräsentativ ist für eine Temperatur des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt. Abhängig von der Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt und dem bereitgestellten Temperaturmesswert wird ein Temperaturkorrekturwert ermittelt. Der Temperaturkorrekturwert wird dem Saugrohrmodell zugeordnet und zumindest in einem instationären Betrieb und dem quasistationären Betrieb wird die Modelltemperatur für den aktuellen Zustand abhängig von dem Temperaturkorrekturwert mittels des Saugrohrmodells ermittelt.

Der Temperaturkorrekturwert wird beispielsweise derart ermittelt, dass die Differenz zwischen Modelltemperatur und Temperaturmesswert minimiert wird. Beispielsweise wird mittels des Temperaturkorrekturwerts die Modellgröße „Temperatur des Drosselklappenmassenstroms“ des Saugrohrmodells korrigiert. Möglich ist alternativ oder zusätzlich auch die Einführung eines zusätzlichen, nicht physikalisch modellierten Modelleingangs „Wärmestrom durch die Saugrohrwand“, der derart mittels des Temperaturkorrekturwerts korrigiert wird, dass die Differenz zwischen Modelltemperatur und Temperaturmesswert minimiert wird.

Alternativ oder zusätzlich wird in dem quasistationären Betrieb ein Druckmesswert des Gases bereitgestellt, der repräsentativ

ist für einen Druck des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt. Ein Druckkorrekturwert wird ermittelt abhängig von dem Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt und dem bereitgestellten Druckmesswert. Der Druckkorrekturwert wird dem Saugrohrmodell zugeordnet und zumindest in dem ersten und dem zweiten Betriebszustand wird der Modelldruck für den aktuellen Zustand abhängig von dem Druckkorrekturwert mittels des Saugrohrmodells ermittelt.

Der Druckkorrekturwert wird beispielsweise derart ermittelt, dass die Differenz zwischen Modelldruck und Druckmesswert minimiert wird. Beispielsweise wird eine Modellgröße des Saugrohrmodells, die repräsentativ ist für die wirksame Querschnittsfläche der Drosselklappe derart mittels des Druckkorrekturwerts korrigiert, dass die Differenz zwischen Modelldruck und Druckmesswert minimiert wird.

2. Inkrementelle Modellkorrektur: Alternativ oder zusätzlich werden die Modelltemperatur und/oder der Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Temperaturmesswert und/oder Druckmesswert angepasst, indem die Modelltemperatur und/oder der Modelldruck um einen vorgegebenen Faktor in Richtung des Temperaturmesswerts und/oder des Druckmesswerts korrigiert werden. Hierzu werden insbesondere die Modellausgänge $T_{im,mdl}$ und $p_{im,mdl}$ aus Gleichungen ((66)), ((67)) in jedem Abtastschritt um vorgegebene, zu kalibrierende Inkremente $T_{im,inc}$ und $p_{im,inc}$ in Richtung Messwerte verschoben:

$$p_{im,mdl,cor1} = p_{im,mdl} + \text{sgn}(p_{im,mes} - p_{im,mdl}) \cdot T_{inc} \quad ((68)) \text{ und}$$

$$T_{im,mdl,cor1} = T_{im,mdl} + \text{sgn}(T_{im,mes} - T_{im,mdl}) \cdot T_{inc} \quad ((69)).$$

Die Parameter des Saugrohrmodells ((66)), ((67)) müssen entsprechend korrigiert werden:

$$E = \frac{t_s \cdot R \cdot T_{im,mdl,cor1,n-1}}{2 \cdot V_{im} \cdot p_{im,mdl,cor1,n-1}} \quad ((70)),$$

$$5 \quad F_{0,1} = p_{im,mdl,cor1,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \dot{p}_{im,mdl,cor1,n-1} \quad \text{und}$$

$$G_{0,1} = T_{im,mdl,cor1,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \dot{T}_{im,mdl,cor1,n-1} \quad .$$

3. Anteilige Modellkorrektur: Alternativ oder zusätzlich werden die Modelltemperatur und/oder der Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Temperaturmesswert und/oder Druckmesswert angepasst, indem die Modelltemperatur abhängig von dem Betrag der Differenz der Modelltemperatur und dem bereitgestellten Temperaturmesswert in Richtung des Temperaturmesswerts korrigiert wird und/oder indem der Modelldruck abhängig von dem Betrag der Differenz des Modelldrucks und dem bereitgestellten Druckmesswert in Richtung des Druckmesswerts korrigiert wird. Es werden also insbesondere die Modellausgänge $T_{im,mdl}$ und $p_{im,mdl}$ aus Gleichungen ((66)), ((67)) in jedem Abtastschritt um zu kalibrierende Anteile der Modellfehler $FT_{im,inc}$ und $Fp_{im,inc}$ in Richtung Messwerte verschoben:

$$p_{im,mdl,cor2} = p_{im,mdl} + (p_{im,mes} - p_{im,mdl}) \cdot F_{p_{inc}} \quad ((71)) \quad \text{und}$$

$$T_{im,mdl,cor2} = T_{im,mdl} + (T_{im,mes} - T_{im,mdl}) \cdot F_{T_{inc}} \quad ((72)) \quad .$$

25 Die Parameter des Saugrohrmodells ((66)), ((67)) müssen entsprechend korrigiert werden:

$$E = \frac{t_s \cdot R \cdot T_{im,mdl,cor\ 2,n-1}}{2 \cdot V_{im} \cdot p_{im,mdl,cor\ 2,n-1}} \quad ((73)),$$

$$F_{0,1} = p_{im,mdl,cor\ 2,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \dot{p}_{im,mdl,cor\ 2,n-1} \quad \text{und}$$

$$G_{0,1} = T_{im,mdl,cor\ 2,n-1} + \frac{t_s}{2} \cdot \dot{T}_{im,mdl,cor\ 2,n-1} \quad .$$

5

Mit dem vorgeschlagenen Verfahren lässt sich in Serienmotorsteuergeräten der Einfluss schneller Änderungen der Temperatur des Gases im Ansaugtrakt 1 auf die Zylinderluftmasse genauer beschreiben als dies aufgrund einer Messung mit einem für
10 Serienmotoren verfügbaren Temperatursensoren möglich ist. Durch die genauere Kraftstoffzumessung infolge der genaueren Bestimmung der Zylinderluftmasse können Schadstoffemissionen des Brennkraftmaschine vermindert werden.

15 Die Steuervorrichtung 25 ist dazu ausgebildet, das oben beschriebene Vorgehen auszuführen und so insbesondere die Zylinderluftmasse, die sich nach Schließen der Gaswechselventile in dem jeweiligen Zylinder befindet, zu ermitteln.

20 In diesem Zusammenhang ist sie insbesondere dazu ausgebildet, das unter dem Punkt Zusammenfassung beschriebene Vorgehen unter Berücksichtigung des sonstigen obigen erläuternden Vorgehens durchzuführen. Zu diesem Zweck weist sie insbesondere einen Programm- und Datenspeicher auf und eine entsprechende Re-
25 cheneinheit, wie einen Mikroprozessor.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine umfassend einen Ansaugtrakt (1) und einen oder mehrere Zylinder (Z1 bis Z4), denen jeweils Gaseinlassventile (12) und Gasauslassventile (13) zugeordnet sind, wobei Gaswechselventile Gaseinlassventile (12) und Gasauslassventile (13) umfassen, bei dem in einem ersten Betriebszustand
- zyklisch eine Modelltemperatur eines Gases im Ansaugtrakt (1) für einen aktuellen Zeitpunkt ermittelt wird abhängig von einem vorgegebenen Saugrohrmodell und frei von einem Temperaturmesswert des Gases, der dem aktuellen Zeitpunkt zugeordnet ist,
 - wobei die Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt ermittelt wird abhängig von einer Modelltemperatur, die für einen vorangegangenen Zeitpunkt ermittelt wurde,
 - abhängig von der für den aktuellen Zeitpunkt ermittelten Modelltemperatur eine Zylinderluftmasse ermittelt wird, die sich nach Schließen der Gaswechselventile in dem jeweiligen Zylinder befindet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem in einem zweiten Betriebszustand
- ein Temperaturmesswert des Gases bereitgestellt wird, der repräsentativ ist für eine Temperatur des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt,
 - ein Temperaturkorrekturwert abhängig von der Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt und dem bereitgestellten Temperaturmesswert ermittelt wird,
 - der Temperaturkorrekturwert dem Saugrohrmodell zugeordnet wird und
 - zumindest in dem ersten und dem zweiten Betriebszustand die Modelltemperatur für den aktuellen Zustand abhängig von

dem Temperaturkorrekturwert mittels des Saugrohrmodells ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem in dem zweiten Betriebszustand

- der Temperaturmesswert des Gases bereitgestellt wird, der repräsentativ ist für eine Temperatur des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt und

- die Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Temperaturmesswert angepasst wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem die Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Temperaturmesswert angepasst wird, indem die Modelltemperatur um einen vorgegebenen Faktor in Richtung des Temperaturmesswerts korrigiert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 2, 3 oder 4, bei dem die Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Temperaturmesswert angepasst wird, indem die Modelltemperatur abhängig von dem Betrag der Differenz der Modelltemperatur und dem bereitgestellten Temperaturmesswert in Richtung des Temperaturmesswerts korrigiert wird.

6. Verfahren nach einem vorhergehenden Ansprüche, bei dem zyklisch ein Modelldruck eines Gases im Ansaugtrakt (1) für einen aktuellen Zeitpunkt ermittelt wird abhängig von dem vorgegebenen Saugrohrmodell und frei von einem Druckmesswert des Gases, der dem aktuellen Zeitpunkt zugeordnet ist,

- wobei der Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt ermittelt wird abhängig von einem Modelldruck, der für einen vorangegangenen Zeitpunkt ermittelt wurde,
- abhängig von dem für den aktuellen Zeitpunkt ermittelten Modelldruck die Zylinderluftmasse ermittelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem in dem zweiten Betriebszustand

- ein Druckmesswert des Gases bereitgestellt wird, der repräsentativ ist für einen Druck des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt,
- ein Druckkorrekturwert ermittelt wird abhängig von dem Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt und dem bereitgestellten Druckmesswert,
- der Druckkorrekturwert dem Saugrohrmodell zugeordnet wird und
- zumindest in dem ersten und dem zweiten Betriebszustand der Modelldruck für den aktuellen Zustand abhängig von dem Druckkorrekturwert mittels des Saugrohrmodells ermittelt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, bei dem in dem zweiten Betriebszustand

- der Druckmesswert des Gases bereitgestellt wird, der repräsentativ ist für einen Druck des Gases zu dem aktuellen Zeitpunkt und
- der Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Druckmesswert angepasst wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem der Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Druckmesswert angepasst wird, indem der Modelldruck um einen vorgegebenen Faktor in Richtung des Druckmesswerts korrigiert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, bei dem der Modelldruck für den aktuellen Zeitpunkt abhängig von dem bereitgestellten Druckmesswert angepasst wird, indem der Modelldruck abhängig von dem Betrag der Differenz des Modelldrucks und dem bereitgestellten Druckmesswert in Richtung des Druckmesswerts korrigiert wird.
11. Vorrichtung zum Betreiben einer Brennkraftmaschine umfassend einen Ansaugtrakt (1) und einen oder mehrere Zylinder (Z1 bis Z4), denen jeweils Gaseinlassventile (12) und Gasauslassventile (13) zugeordnet sind, wobei Gaswechselventile Gaseinlassventile (12) und Gasauslassventile (13) umfassen, wobei die Vorrichtung dazu ausgebildet ist in einem ersten Betriebszustand
- zyklisch eine Modelltemperatur eines Gases im Ansaugtrakt (1) für einen aktuellen Zeitpunkt zu ermitteln abhängig von einem vorgegebenen Saugrohrmodell und frei von einem Temperaturmesswert des Gases, der dem aktuellen Zeitpunkt zugeordnet ist,
 - wobei die Modelltemperatur für den aktuellen Zeitpunkt ermittelt wird abhängig von einer Modelltemperatur, die für einen vorangegangenen Zeitpunkt ermittelt wurde,
 - abhängig von der für den aktuellen Zeitpunkt ermittelten Modelltemperatur eine Zylinderluftmasse zu ermitteln, die sich nach Schließen der Gaswechselventile in dem jeweiligen Zylinder befindet.

1/2

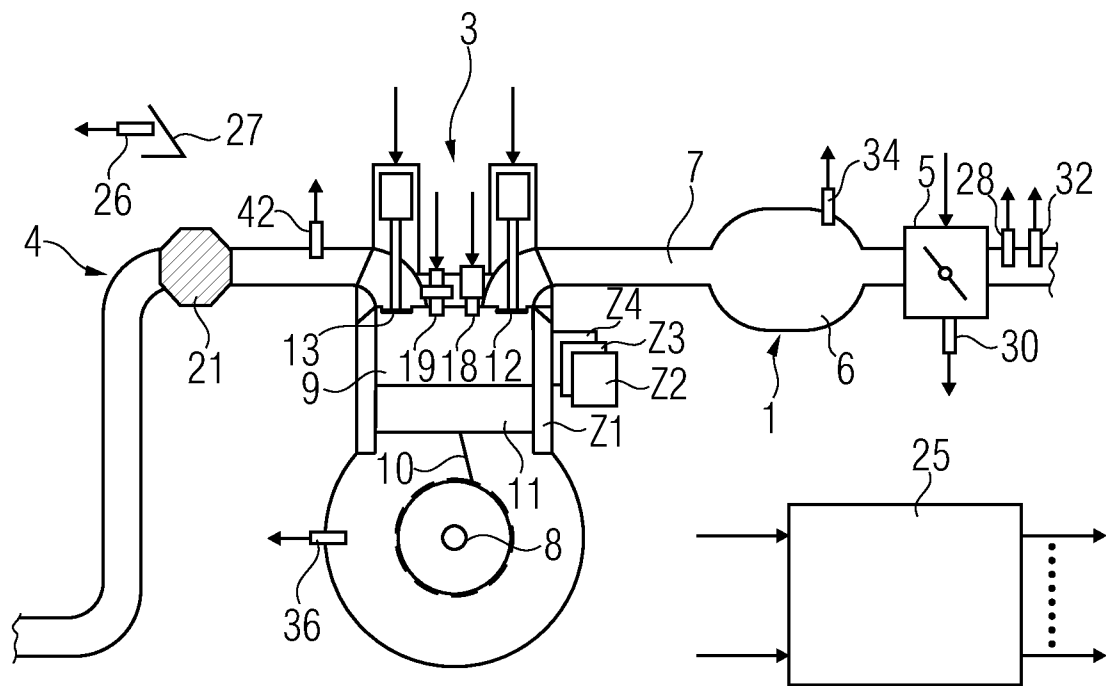


FIG 1

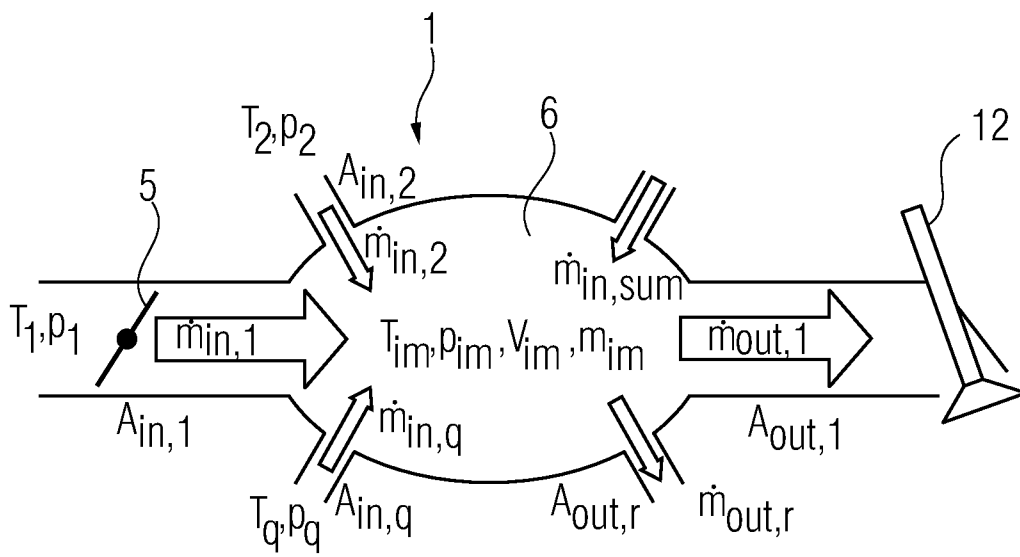


FIG 2

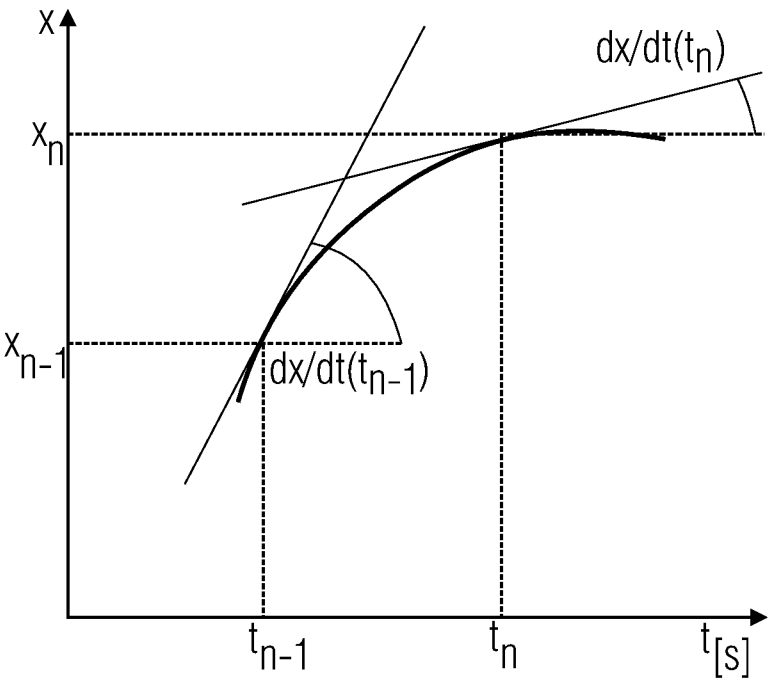


FIG 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/059300

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F02D41/18
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.
X	EP 1 795 728 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 13 June 2007 (2007-06-13)	1,6,11
Y	abstract figures 1, 2, 9, 10 claim 1 paragraph [0002] paragraph [0012] paragraph [0031] paragraph [0049] - paragraph [0054] paragraph [0082] - paragraph [0084] paragraph [0092] - paragraph [0108] the whole document ----- -/-	2-5,7-10



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 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

14 July 2015

Date of mailing of the international search report

13/10/2015

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/EP2015/059300

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 443 199 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 4 August 2004 (2004-08-04)	1,6,11
Y	abstract figures 1, 6, 15 paragraph [0002] paragraph [0043] paragraph [0046] - paragraph [0064] paragraph [0096] the whole document	2-5,7-10
X	EP 2 527 634 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 28 November 2012 (2012-11-28)	1,6,11
Y	figures 1,2,7 paragraph [0037] - paragraph [0061] the whole document	2-5,7-10
X	DE 11 2009 002079 T5 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 5 July 2012 (2012-07-05)	1,6,11
Y	figures 1, 2, 11, 12 paragraph [0009] paragraph [0128] - paragraph [0151] paragraph [0152] - paragraph [0153] paragraph [0169] - paragraph [0177] paragraph [0197] - paragraph [0198] paragraph [0210] - paragraph [0229] the whole document	2-5,7-10
X	EP 1 837 512 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 26 September 2007 (2007-09-26)	1,6,11
Y	abstract figures 1, 12, 18 paragraph [0049] - paragraph [0080] paragraph [0148] - paragraph [0160] paragraph [0169] - paragraph [0172] paragraph [0197] - paragraph [0226] the whole document	2-5,7-10
Y	WO 2009/092504 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]; BURKHARDT THOMAS [DE]; DINGL JUERGEN) 30 July 2009 (2009-07-30) page 5, line 20 - page 6, line 2	2,3,7,8
Y	Frank Allgöwer: "Zustandsrekonstruktion mittels Beobachtern", 19 February 2002 (2002-02-19), pages 1-4, XP055201237, Retrieved from the Internet: URL: http://www.ist.uni-stuttgart.de/education/courses/RTI/download/handouts/Handout_Beobachter.pdf [retrieved on 2015-07-09] Bemerkungen 1 bis 3 the whole document	2,4,5,7,9,10
	----- -/--	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/059300

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	"Regelungstechnik. Mehrgrössensysteme Digitale Regelung passage ED - Jan Lunze", 1 January 2002 (2002-01-01), REGELUNGSTECHNIK. MEHRGRÖSSENSYSTEME DIGITALE REGELUNG, SPRINGER VERLAG, DE, PAGE(S) 294 - 299, XP007923174, ISBN: 3-540-43116-0 Kapitel 8.2.1 "Struktur des Beobachters" -----	2,4,5,7, 9,10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/059300

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1795728	A1	13-06-2007	CN 101014762 A 08-08-2007
			EP 1795728 A1 13-06-2007
			JP 3922277 B2 30-05-2007
			JP 2006070881 A 16-03-2006
			KR 20070061860 A 14-06-2007
			US 2007255483 A1 01-11-2007
			WO 2006028157 A1 16-03-2006
EP 1443199	A1	04-08-2004	CN 1571880 A 26-01-2005
			EP 1443199 A1 04-08-2004
			JP 3963171 B2 22-08-2007
			KR 20050036851 A 20-04-2005
			US 2004260482 A1 23-12-2004
			WO 03033897 A1 24-04-2003
EP 2527634	A1	28-11-2012	CN 102713223 A 03-10-2012
			EP 2527634 A1 28-11-2012
			JP 5177463 B2 03-04-2013
			US 2012272714 A1 01-11-2012
			WO 2011086707 A1 21-07-2011
DE 112009002079	T5	05-07-2012	CN 102137995 A 27-07-2011
			DE 112009002079 T5 05-07-2012
			US 2011172898 A1 14-07-2011
			WO 2010023547 A1 04-03-2010
EP 1837512	A1	26-09-2007	CN 101094980 A 26-12-2007
			EP 1837512 A1 26-09-2007
			JP 4222308 B2 12-02-2009
			JP 2006194107 A 27-07-2006
			KR 20070061838 A 14-06-2007
			US 2008033627 A1 07-02-2008
			WO 2006075539 A1 20-07-2006
WO 2009092504	A1	30-07-2009	DE 102008005958 A1 06-08-2009
			WO 2009092504 A1 30-07-2009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F02D41/18
 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.
X	EP 1 795 728 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 13. Juni 2007 (2007-06-13)	1,6,11
Y	Zusammenfassung Abbildungen 1, 2, 9, 10 Anspruch 1 Absatz [0002] Absatz [0012] Absatz [0031] Absatz [0049] - Absatz [0054] Absatz [0082] - Absatz [0084] Absatz [0092] - Absatz [0108] das ganze Dokument ----- -/-	2-5,7-10

☒ 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" 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

14. Juli 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

13/10/2015

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.
X	EP 1 443 199 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 4. August 2004 (2004-08-04)	1,6,11
Y	Zusammenfassung Abbildungen 1, 6, 15 Absatz [0002] Absatz [0043] Absatz [0046] - Absatz [0064] Absatz [0096] das ganze Dokument	2-5,7-10
X	EP 2 527 634 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 28. November 2012 (2012-11-28)	1,6,11
Y	Abbildungen 1,2,7 Absatz [0037] - Absatz [0061] das ganze Dokument	2-5,7-10
X	DE 11 2009 002079 T5 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 5. Juli 2012 (2012-07-05)	1,6,11
Y	Abbildungen 1, 2, 11, 12 Absatz [0009] Absatz [0128] - Absatz [0151] Absatz [0152] - Absatz [0153] Absatz [0169] - Absatz [0177] Absatz [0197] - Absatz [0198] Absatz [0210] - Absatz [0229] das ganze Dokument	2-5,7-10
X	EP 1 837 512 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 26. September 2007 (2007-09-26)	1,6,11
Y	Zusammenfassung Abbildungen 1, 12, 18 Absatz [0049] - Absatz [0080] Absatz [0148] - Absatz [0160] Absatz [0169] - Absatz [0172] Absatz [0197] - Absatz [0226] das ganze Dokument	2-5,7-10
Y	WO 2009/092504 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]; BURKHARDT THOMAS [DE]; DINGL JUERGEN) 30. Juli 2009 (2009-07-30) Seite 5, Zeile 20 - Seite 6, Zeile 2	2,3,7,8
Y	Frank Allgöwer: "Zustandsrekonstruktion mittels Beobachtern", 19. Februar 2002 (2002-02-19), Seiten 1-4, XP055201237, Gefunden im Internet: URL: http://www.ist.uni-stuttgart.de/education/courses/RTI/download/handouts/Handout_Beobachter.pdf [gefunden am 2015-07-09] Bemerkungen 1 bis 3 das ganze Dokument	2,4,5,7,9,10
	-/--	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	"Regelungstechnik. Mehrgrössensysteme Digitale Regelung passage ED - Jan Lunze", 1. Januar 2002 (2002-01-01), REGELUNGSTECHNIK. MEHRGRÖSSENSYSTEME DIGITALE REGELUNG, SPRINGER VERLAG, DE, PAGE(S) 294 - 299, XP007923174, ISBN: 3-540-43116-0 Kapitel 8.2.1 "Struktur des Beobachters" -----	2,4,5,7, 9,10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/059300

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1795728	A1	13-06-2007	CN 101014762 A 08-08-2007
			EP 1795728 A1 13-06-2007
			JP 3922277 B2 30-05-2007
			JP 2006070881 A 16-03-2006
			KR 20070061860 A 14-06-2007
			US 2007255483 A1 01-11-2007
			WO 2006028157 A1 16-03-2006
EP 1443199	A1	04-08-2004	CN 1571880 A 26-01-2005
			EP 1443199 A1 04-08-2004
			JP 3963171 B2 22-08-2007
			KR 20050036851 A 20-04-2005
			US 2004260482 A1 23-12-2004
			WO 03033897 A1 24-04-2003
EP 2527634	A1	28-11-2012	CN 102713223 A 03-10-2012
			EP 2527634 A1 28-11-2012
			JP 5177463 B2 03-04-2013
			US 2012272714 A1 01-11-2012
			WO 2011086707 A1 21-07-2011
DE 112009002079	T5	05-07-2012	CN 102137995 A 27-07-2011
			DE 112009002079 T5 05-07-2012
			US 2011172898 A1 14-07-2011
			WO 2010023547 A1 04-03-2010
EP 1837512	A1	26-09-2007	CN 101094980 A 26-12-2007
			EP 1837512 A1 26-09-2007
			JP 4222308 B2 12-02-2009
			JP 2006194107 A 27-07-2006
			KR 20070061838 A 14-06-2007
			US 2008033627 A1 07-02-2008
			WO 2006075539 A1 20-07-2006
WO 2009092504	A1	30-07-2009	DE 102008005958 A1 06-08-2009
			WO 2009092504 A1 30-07-2009