

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50491/2019
(22) Anmeldetag: 29.05.2019
(45) Veröffentlicht am: 15.04.2021

(51) Int. Cl.: **F02D 41/14** (2006.01)
F02D 41/24 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
JP 2012154288 A
EP 2055918 A1

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Martin Uwe
8010 Graz (AT)
Short Sotero Debora Maria
8045 Graz (AT)
Forster Marian Dipl.Ing.
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Kopetz Heinrich Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren und System zur Bestimmung der einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmenge**

(57) System zur Bestimmung der einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmenge, erstellt durch ein Verfahren mit folgenden Schritten:

- Bertreiben einer virtuellen oder realen Referenzverbrennungskraftmaschine mit einem virtuellen oder realen Luftmassenmesser in unterschiedlichen Betriebszuständen, wobei die virtuelle Verbrennungskraftmaschine und der virtuelle Luftmassenmesser durch ein mathematisches Modell der realen Referenzverbrennungskraftmaschine und gegebenenfalls des realen Luftmassenmessers gebildet sind,
- Aufnehmen oder Bestimmen von Eingangswerten in den einzelnen Betriebszuständen der Referenzverbrennungskraftmaschine,
- Aufnehmen der zugeführten Luftmengenwerte der Referenzverbrennungskraftmaschine in den einzelnen Betriebszuständen,
- Trainieren des künstlichen neuronalen Netzes, sodass es bei Eingabe derselben Eingangswerte im Wesentlichen dieselben Luftmengenwerte ergibt wie die Referenzverbrennungskraftmaschine.

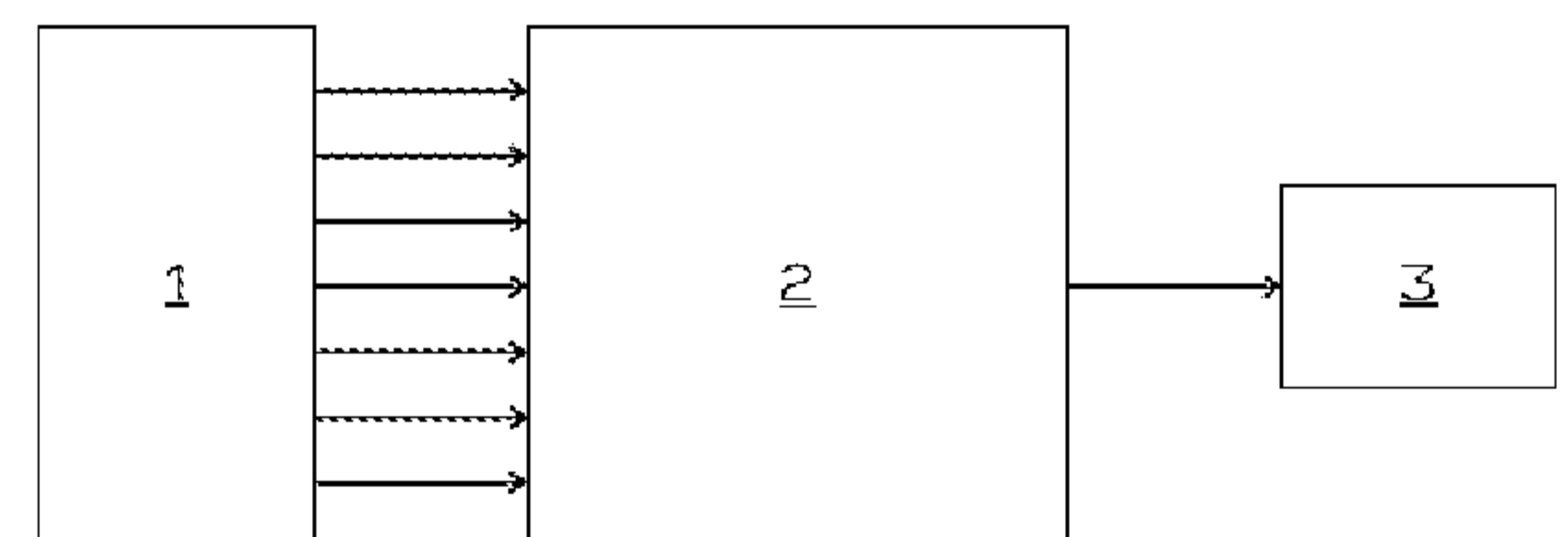


Fig.1

Beschreibung

VERFAHREN UND SYSTEM ZUR BESTIMMUNG DER EINER VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINE ZUGEFÜHRTEN LUFTMENGE

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche. Insbesondere betrifft die Erfindung eine neuartige Möglichkeit zur Bestimmung des einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmassenstroms, ohne dass im Fahrzeug ein entsprechender Sensor bzw. ein Luftmassenmesser vorgesehen sein muss.

[0002] Gemäß Stand der Technik ist es bekannt und üblich, die einem Verbrennungsmotor eines Fahrzeugs zugeführte Luftmenge mit einem sogenannten Luftmassenmesser zu bestimmen. Luftmassenmesser gibt es in unterschiedlichen Ausführungsformen, wobei Ausführungen mit höherer Messgenauigkeit oder mit verbesserter Standzeit auch mit erhöhten Kosten verbunden sind.

[0003] Ist der Luftmassenmesser defekt, so beeinträchtigt das Fehlen eines korrekten Luftmengensignals die Güte der Steuerung und/oder Regelung der Verbrennungskraftmaschine und insbesondere ihrer Abgasnachbehandlungsanlage, was in der Praxis zu erhöhten Emissionen und/oder verringerter Effizienz führt.

[0004] Gemäß Stand der Technik ist es auch bekannt, sogenannte "Soft-Sensoren" oder „virtuelle Sensoren“ einzusetzen. Bei einem derartigen Sensor handelt es sich um keinen Sensor im eigentlichen Sinn, sondern meist um eine Recheneinheit, die eine Größe aus anderen Parametern berechnet, wobei die berechnete Größe in weiterer Folge wie ein Messsignal eines Sensors weiterverarbeitet wird.

[0005] Es ist es auch bekannt, große Teile von physikalischen und chemischen Abläufen im Zusammenhang mit Verbrennungskraftmaschinen als virtuelle Verbrennungskraftmaschinen mathematisch in einer Software zu modellieren. Derartige Modelle, z. B. kinetische Modelle, berücksichtigen eine Vielzahl an Parametern und Rechenschritten, womit eine hohe Rechenleistung benötigt wird. Eine derartige hohe Rechenleistung steht in herkömmlichen Steuergeräten von Fahrzeugen jedoch in der Regel nicht zur Verfügung, womit die Hinterlegung eines ausreichend genauen kinetischen Modells zur Berechnung eines Luftmassensignals in der Praxis im Fahrzeug nicht oder nur mit großem Aufwand und unter Einschränkungen möglich ist.

[0006] Weitere Verfahren zur Bestimmung der einer Brennkraftmaschine zugeführten Luftmenge sind beispielsweise aus der JP 2012154288 A und der EP 2055918 A1 bekannt.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es nun, ein System zur Bestimmung der einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmenge zu schaffen, das kostengünstig und dennoch über lange Zeit zuverlässig ist.

[0008] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

[0009] Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zum Erstellen oder Einstellen eines Systems zur Bestimmung der einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmenge, insbesondere zur Bestimmung des einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmassenstroms, wobei das System eine in einem Fahrzeug angeordnete Steuerungseinrichtung für die Verbrennungskraftmaschine wie insbesondere ein Motorsteuerungsgerät, umfasst und wobei die Steuerungseinrichtung ein zur Bestimmung der Luftmengenwerte eingerichtetes künstliches neuronales Netz, insbesondere eine Kopie eines bereits trainierten künstlichen neuronalen Netzes, umfasst.

[0010] Zum Erstellen oder Einstellen werden insbesondere folgende Schritte ausgeführt:
- Bertreiben einer virtuellen oder realen Referenzverbrennungskraftmaschine mit einem virtuellen oder realen Luftmassenmesser in unterschiedlichen Betriebszuständen, wobei die virtuelle Verbrennungskraftmaschine und der virtuelle Luftmassenmesser durch ein mathematisches

Modell der realen Referenzverbrennungskraftmaschine und gegebenenfalls des realen Luftmassenmessers gebildet sind,

- Aufnehmen oder Bestimmen von Eingangswerten in den einzelnen Betriebszuständen der Referenzverbrennungskraftmaschine,
- Aufnehmen der Luftmengenwerte der Referenzverbrennungskraftmaschine in den einzelnen Betriebszuständen,
- Trainieren des künstlichen neuronalen Netzes, sodass es bei Eingabe derselben Eingangswerte im Wesentlichen dieselben Luftmengenwerte ergibt wie die Referenzverbrennungskraftmaschine.

Durch die erfindungsgemäßen Verfahrensschritte ist es möglich, eine Luftpfadberechnung durch das neuronale Netz durchzuführen, wodurch weniger Sensoren notwendig sind, da diese durch das neuronale Netz ersetzt werden. Insbesondere ist kein Sensor zur Messung eines Luftmassenstroms mehr notwendig.

[0011] Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass zum Trainieren des künstlichen neuronalen Netzes die Daten, insbesondere die Eingangswerte und die Luftmengenwerte, des kinetischen Modells verwendet werden.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Eingangswerte ein oder mehrere der folgenden Parameter der Verbrennungskraftmaschine sind:

- Luftdruck ansaugseitig, insbesondere Druck im Krümmer der Luftansaugung,
- Abgasdruck, insbesondere Druck des Abgases im Abgaskrümmer,
- Lufttemperatur ansaugseitig, insbesondere im Krümmer der Luftansaugung,
- Abgastemperatur, insbesondere im Abgaskrümmer,
- Motordrehzahl,
- Kraftstoffmassenstrom,
- Drosselklappenstellung,
- Stellung des Bypassventils, insbesondere des Waste Gate Ventils,
- Stellung des Abgasrückführungsventils.

[0012] Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass der relative Modellfehler der Luftmengenwerte des künstlichen neuronalen Netzes gegenüber den Luftmengenwerten der Referenzverbrennungskraftmaschine bei gleichen Eingangswerten oder Parametern der Verbrennungskraftmaschine innerhalb von 3-Sigma und insbesondere unter 5 % liegt.

[0013] Es ist bevorzugt vorgesehen, dass zur Bewertung des neuronalen Netzes eine statische Bewertung (Sigma-Bewertung) anstatt einer maximalen Bewertung durchgeführt wird.

[0014] Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die unterschiedlichen Betriebszustände statische und/oder dynamische, insbesondere auch transiente, Betriebszustände umfassen.

[0015] Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass das künstliche neuronale Netz Hyperparameter wie beispielsweise die Lernrate, die Anzahl der Zwischenlagen (hidden layers), die Anzahl der künstlichen Neuronen pro Lage, die Anzahl der Lernwiederholungen (epochs) aufweist, und dass die Hyperparameter beim Training des künstlichen neuronalen Netzes zur Verbesserung der Modellfehler angepasst, insbesondere automatisiert angepasst, werden. Dabei können einzelne oder mehrere Hyperparameter vorgesehen sein, um den Modellfehler zu verbessern oder minimieren.

[0016] Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass das trainierte künstliche neuronale Netz oder eine Kopie davon auf die Steuerungseinrichtung der Verbrennungskraftmaschine, insbesondere auf das Motorsteuerungsgerät der Verbrennungskraftmaschine, übertragen wird.

[0017] Die Erfindung betrifft insbesondere ein System zur Bestimmung der einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmenge, insbesondere zur Bestimmung des einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmassenstroms, wobei das System eine in einem Fahrzeug angeordnete Steuerungseinrichtung für die Verbrennungskraftmaschine, wie insbesondere ein Motorsteuerungsgerät, umfasst.

[0018] Es ist vorgesehen, dass die Steuerungseinrichtung ein zur Bestimmung der Luftmengen-

werte eingerichtetes, erfindungsgemäß erstelltes künstliches neuronales Netz, insbesondere eine Kopie des bereits trainierten künstlichen neuronalen Netzes, umfasst.

[0019] Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass das künstliche neuronale Netz als langes Kurzzeitgedächtnis (LSTM) oder als Feed Forward neuronales Netz ausgebildet ist.

[0020] Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass das System mindestens einen Sensor zur Erfassung der Eingangswerte der Verbrennungskraftmaschine umfasst.

[0021] Das System erlaubt somit eine luftmassenmesserlose Bestimmung und insbesondere Berechnung der der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmenge.

[0022] Das System ist insbesondere derart ausgeführt, dass es die zugeführte Luftmenge in Echtzeit berechnet bzw. bestimmt.

[0023] Die insbesondere in Echtzeit berechnete bzw. bestimmte Luftmenge kann in weiterer Folge von dem Motorsteuerungsgerät oder einer sonstigen Steuerungs- oder Regelungsvorrichtung des Fahrzeugs weiterverarbeitet werden, als wäre es das Ausgangssignal eines Luftmassenmessers.

[0024] Bevorzugt ist das System derart ausgebildet, dass die Eingangswerte, die zur Berechnung der Luftmenge herangezogen werden, Werte sind, die in einem herkömmlichen Motorsteuerungsgerät ohnehin zur Verfügung stehen.

[0025] Bevorzugt werden die Eingangswerte durch Sensoren der Verbrennungskraftmaschine oder des Fahrzeugs aufgenommen. Beispielhafte Sensoren sind Drucksensoren, Temperatursensoren, Drehzahlnehmer und Durchflusssensoren.

[0026] Das künstliche neuronale Netz ist bei dem erfindungsgemäßen System im Steuergerät des Fahrzeugs implementiert, um aus den Eingangswerten die Luftmenge und insbesondere ein Luftmassenmessersignal zu berechnen bzw. generieren. Insbesondere wird das Steuergerät in Fahrzeugen, welche für ein autonomes Fahren vorgesehen sind, verwendet.

[0027] In der Praxis werden somit dem im Motorsteuerungsgerät hinterlegten künstlichen neuronalen Netz Eingangswerte wie beispielsweise die Motordrehzahl, die Lufttemperatur und/oder der Luftdruck zugeführt und das künstliche neuronale Netz errechnet daraus in Echtzeit die entsprechende Luftmenge.

[0028] Wird ein Luftmassenmessersignal erzeugt, so kann in allen Ausführungsformen das System Mittel zur Erzeugung eines elektrischen Signals aus den berechneten Werten des künstlichen neuronalen Netzes umfassen.

[0029] Im Gegensatz zu einem mathematischen Modell oder einem kinetischen Modell mit ähnlicher Genauigkeit weist das künstliche neuronale Netz eine geringere Anforderung an die Rechenleistung auf.

[0030] Dennoch erlaubt das erfindungsgemäße System selbst bei dynamischem Betrieb der Verbrennungskraftmaschine eine hohe Genauigkeit und eine geringe Fehlerabweichung.

Das Training des künstlichen neuronalen Netzes erfolgt mit Hilfe von Daten, insbesondere mit Hilfe von aufgenommenen Eingangswerten und zugehörigen Luftmengenwerten. Diese Daten können beispielsweise an einer Verbrennungskraftmaschine, beispielsweise auf einem Motorenprüfstand, aufgenommen werden. Alternativ oder zusätzlich können diese Daten aber auch an einem mathematischen Modell einer Verbrennungskraftmaschine, insbesondere an einem kinetischen Modell, aufgenommen werden. Ein kinetisches Modell hat gegenüber einer realen Verbrennungskraftmaschine den Vorteil, dass beliebige Betriebszustände beispielsweise durch Abfahren eines beliebigen Fahrzyklus kostengünstig und rasch simuliert und aufgenommen werden können. Betriebszustände des Motors können grundsätzlich mit beliebigen, zufälligen Sequenzen und/oder mit realen Daten stimuliert werden.

[0031] Zum Erstellen eines erfindungsgemäßen Systems wird ein künstliches neuronales Netz derart trainiert, dass es bei gleichen Eingangswerten im Wesentlichen jene Luftmengenwerte berechnet, die bei dem realen Fahrzeug oder bei der Referenzverbrennungskraftmaschine auftreten.

ten. Die Referenzverbrennungskraftmaschine entspricht im Wesentlichen jener Verbrennungskraftmaschine oder einem Modell jener Verbrennungskraftmaschine, deren Luftmenge durch das neuronale Netz im Fahrzeug berechnet werden soll.

[0032] Der Fehler bei dieser Berechnung liegt gemäß einer bevorzugten Ausführungsform innerhalb von 3-Sigma und insbesondere unterhalb von 5 %. Hierzu wird beim Training des neuronalen Netzes eine statistische Fehlerauswertung vorgenommen.

[0033] Das künstliche neuronale Netz weist Hyperparameter auf, die im Laufe des Trainings geändert bzw. optimiert werden.

[0034] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann ein Feed Forward neuronales Netz folgende Hyperparameter aufweisen: die Eingabeschicht weist eine Anzahl an künstlichen Neuronen auf, die der Anzahl der Eingabewerte bzw. Eingabeparameter entspricht. Dieses künstliche neuronale Netz kann beispielsweise drei versteckte Schichten mit je 18 künstlichen Neuronen umfassen. Die Ausgabeschicht weist bevorzugt ein Neuron auf. Die sogenannte batch size, also die Anzahl der Trainingsbeispiele für eine Iteration kann beispielsweise 8 betragen. Die Lernrate kann beispielsweise 0,001 betragen.

[0035] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann das künstliche neuronale Netz als langes Kurzzeitgedächtnis (Long shortterm memory - LSTM) ausgebildet sein. Durch dieses wird der Modellfehler bzw. die Genauigkeit verbessert, jedoch hat ein derartiges neuronales Netz einen gegenüber einem Feed Forward Netz erhöhten Bedarf an Rechenleistung.

[0036] Ein derartiges LSTM-Modell kann beispielhaft 50 Neuronen und eine Sequenzlänge von 20 aufweisen. Es kann mit 70 % der Daten trainiert werden, insbesondere mit 70 % von 12 Datensätzen. 15 % der verbleibenden Datensätze können beispielsweise für die Validierung der Ergebnisse oder die Validierung eines Lernfortschritts und weitere 15 % der verbleibenden Datensätze können für Tests zur Bewertung der Variation der Hyperparameter verwendet werden.

[0037] Fig. 1 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung von Teilen eines erfindungsgemäßen Systems, wobei die Eingangswerte 1 dem neuronalen Netz 2, insbesondere der Eingangsschicht des neuronalen Netzes 2, zugeführt werden. In dem künstlichen neuronalen Netz 2 werden in weiterer Folge aus den Eingangswerten 1 die Ausgangsdaten 3 berechnet. Die Ausgangsdaten 3 erlauben erfindungsgemäß Rückschlüsse auf die der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmenge oder entsprechen insbesondere einem Luftmassenmessersignal. Die Eingangswerte 1 werden bevorzugt durch Sensoren der Verbrennungskraftmaschine oder des Fahrzeugs aufgenommen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erstellen oder Einstellen eines Systems zur Bestimmung der einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmenge, insbesondere zur Bestimmung des einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmassenstroms,
 - wobei das System eine in einem Fahrzeug angeordnete Steuerungseinrichtung für die Verbrennungskraftmaschine, wie insbesondere ein Motorsteuerungsgerät, umfasst,
 - wobei die Steuerungseinrichtung ein zur Bestimmung der Luftmengenwerte eingerichtetes künstliches neuronales Netz, insbesondere eine Kopie eines bereits trainierten künstlichen neuronalen Netzes, umfasst,
dadurch gekennzeichnet, dass folgende Schritte ausgeführt werden:
 - Bertreiben einer virtuellen oder realen Referenzverbrennungskraftmaschine mit einem virtuellen oder realen Luftmassenmesser in unterschiedlichen Betriebszuständen, wobei die virtuelle Verbrennungskraftmaschine und der virtuelle Luftmassenmesser durch ein mathematisches Modell der realen Referenzverbrennungskraftmaschine und gegebenenfalls des realen Luftmassenmessers gebildet sind,
 - Aufnehmen oder Bestimmen von Eingangswerten in den einzelnen Betriebszuständen der Referenzverbrennungskraftmaschine,
 - Aufnehmen der Luftmengenwerte der Referenzverbrennungskraftmaschine in den einzelnen Betriebszuständen,
 - Trainieren des künstlichen neuronalen Netzes, sodass es bei Eingabe derselben Eingangswerte im Wesentlichen dieselben Luftmengenwerte ergibt wie die Referenzverbrennungskraftmaschine.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Trainieren des künstlichen neuronalen Netzes die Daten, insbesondere die Eingangswerte und die Luftmengenwerte, des kinetischen Modells verwendet werden.
3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eingangswerte ein oder mehrere der folgenden Parameter der Verbrennungskraftmaschine sind:
 - Luftdruck ansaugseitig, insbesondere Druck im Krümmer der Luftansaugung,
 - Abgasdruck, insbesondere Druck des Abgases im Abgaskrümmer,
 - Lufttemperatur ansaugseitig, insbesondere im Krümmer der Luftansaugung,
 - Abgastemperatur, insbesondere im Abgaskrümmer,
 - Motordrehzahl,
 - Kraftstoffmassenstrom,
 - Drosselklappenstellung,
 - Stellung des Bypassventils, insbesondere des Wastegate-Ventils,- Stellung des Abgasrückführungsventils.
4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der relative Modellfehler der Luftmengenwerte des künstlichen neuronalen Netzes gegenüber den Luftmengenwerten der Referenzverbrennungskraftmaschine bei gleichen Eingangswerten oder Parametern der Verbrennungskraftmaschine innerhalb von 3-Sigma und insbesondere unter 5 % liegt.
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die unterschiedlichen Betriebszustände statische und/oder dynamische Betriebszustände umfassen.
6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das künstliche neuronale Netz Hyperparameter wie beispielsweise die Lernrate, die Anzahl der Zwischenlagen (hidden layers), die Anzahl der künstlichen Neuronen pro Lage, die Anzahl der Lernwiederholungen (epochs) aufweist, und dass die Hyperparameter beim Training des künstlichen neuronalen Netzes zur Verbesserung der Modellfehler angepasst, insbesondere automatisiert angepasst, werden.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das trainierte künstliche neuronale Netz oder eine Kopie davon auf die Steuerungseinrichtung der Verbrennungskraftmaschine, insbesondere auf das Motorsteuerungsgerät der Verbrennungskraftmaschine, übertragen wird.
8. System zur Bestimmung der einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmenge, insbesondere zur Bestimmung des einer Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmassenstroms,
 - wobei das System eine in einem Fahrzeug angeordnete Steuerungseinrichtung für die Verbrennungskraftmaschine, wie insbesondere ein Motorsteuerungsgerät, umfasst, **dadurch gekennzeichnet**,
 - dass die Steuerungseinrichtung ein zur Bestimmung der Luftmengenwerte eingerichtetes künstliches neuronales Netz, insbesondere eine Kopie eines bereits trainierten künstlichen neuronalen Netzes, nach einem der vorangegangenen Ansprüche umfasst.
9. System nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das künstliche neuronale Netz als langes Kurzzeitgedächtnis (LSTM) oder als Feed Forward neuronales Netz ausgebildet ist.
10. System nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System mindestens einen Sensor zur Erfassung der Eingangswerte der Verbrennungskraftmaschine umfasst.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

1/1

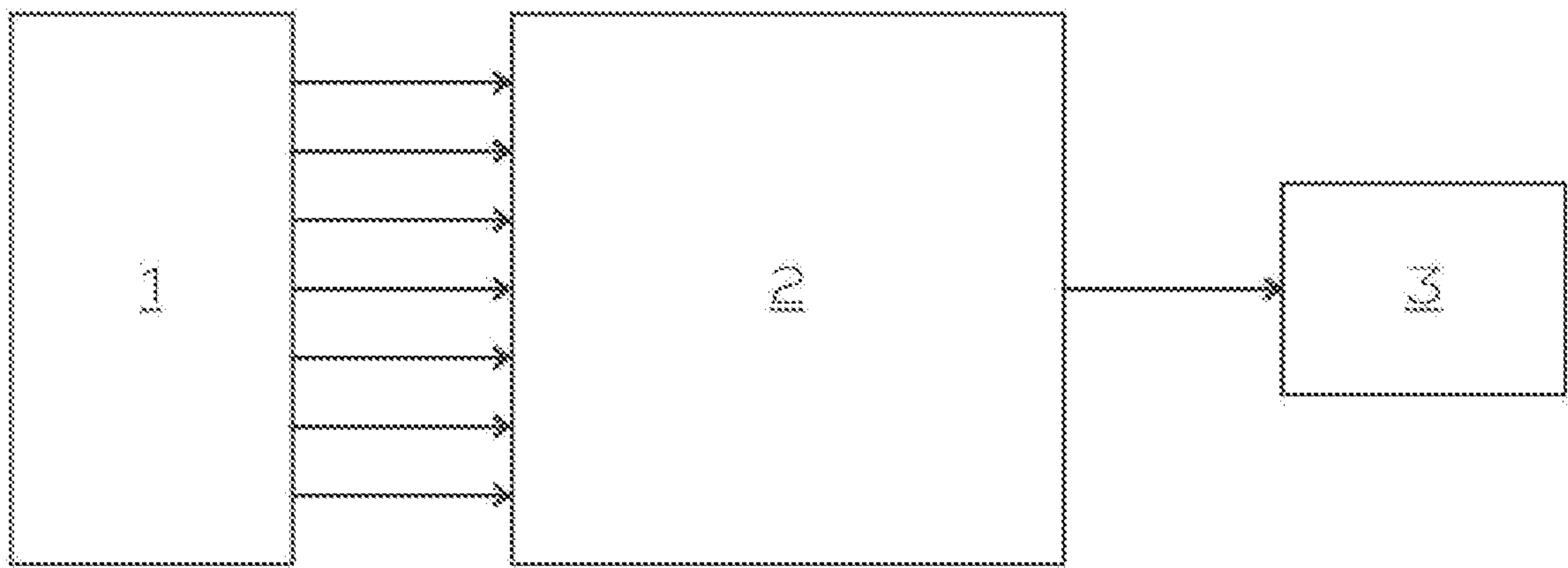


Fig.1