(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2014 007 433 A1** 2015.12.17

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 007 433.1**
(22) Anmeldetag: **22.05.2014**
(43) Offenlegungstag: **17.12.2015**

(51) Int Cl.: ***F01N 9/00*** (2006.01)
F01N 3/10 (2006.01)

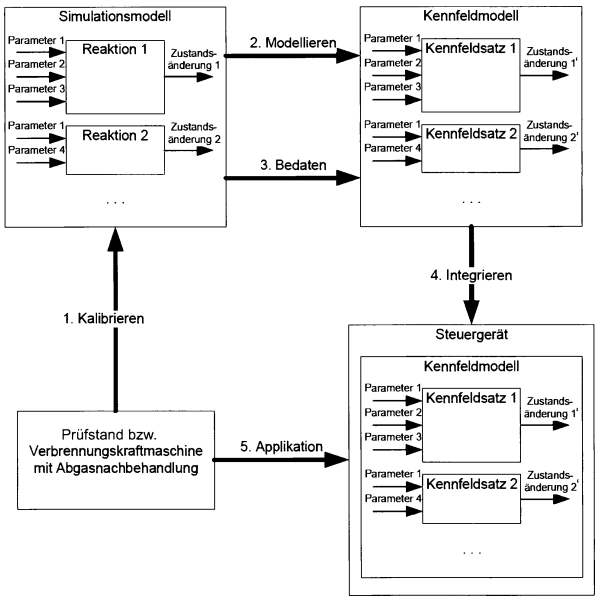
(71) Anmelder:
MAN Truck & Bus AG, 80995 München, DE

(72) Erfinder:
Bouillon, Eva, 96052 Bamberg, DE; Walde, Florian, 90599 Dietenhofen, DE; Grünbeck, Thomas, 96515 Judenbach, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Kalibrierung eines Steuergerätes, das einen durch reaktionskinetische Gleichungen beschreibbaren technischen Prozess steuert oder regelt, insbesondere zur Kalibrierung eines eine Abgasnachbehandlung in einem Abgasstrom einer Brennkraftmaschine steuernden oder regelnden Steuergerätes**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kalibrierung eines Steuergerätes, das einen durch reaktionskinetische Gleichungen beschreibbaren technischen Prozess steuert oder regelt, insbesondere zur Kalibrierung eines eine Abgasnachbehandlung in einem Abgasstrom einer Brennkraftmaschine steuernden oder regelnden Steuergerätes, mit einem Simulationsmodell, in dem die mehreren, insbesondere während einer Abgasnachbehandlung, zeitversetzt und/oder parallel zueinander ablaufenden Reaktionen in Form von reaktionskinetischen Gleichungen abgebildet sind, wobei die veränderlichen Gleichungsparameter der einzelnen reaktionskinetischen Gleichungen des Simulationsmodells mittels messtechnisch an einem Prüfstand erfasster realer Werte für die jeweiligen Gleichungsparameter kalibriert werden. Erfindungsgemäß wird für das oder im Steuergerät ein vom Simulationsmodell unabhängiges und eine Mehrzahl von Kennfeldern aufweisendes Kennfeldmodell dadurch erzeugt, dass die die Reaktionskinetik beeinflussenden Reaktionsparameter jeder einzelnen, insbesondere im Rahmen einer Abgasnachbehandlung, stattfindenden Reaktion als Kennfeldparameter verwendet werden und wenigstens ein Kennfeld aufspannen, wobei zur Bedatung der Kennfelder mittels des Simulationsmodells Werte für die die Reaktionskinetik beeinflussenden Kennfeldparameter ermittelt und dem Kennfeldmodell zugeführt werden. Anschließend wird zur Kalibrierung des Kennfeldmodells im realen Prozessbetrieb und/oder am Prüfstand gezielt ein Wert für wenigstens einen der Kennfeldparameter wenigstens eines Kennfeldes des Kennfeldmodells messtechnisch erfasst und anschließend mittels einer Auswerteeinrichtung ermittelt, ob der erfasste Messwert in einem definiert vorgegebenen Maße von dem im jeweiligen Kennfeld hinterlegten Wert des betrachteten Kennfeldparameters abweicht, wobei bejahendenfalls der hinterlegte Wert, ohne eine Beeinflussung der anderen von der Änderung nicht betroffenen Kennfelder des Kennfeldmodells, durch einen neuen Wert ersetzt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kalibrierung eines Steuergerätes, das einen durch reaktionskinetische Gleichungen beschreibbaren technischen Prozess steuert oder regelt, insbesondere zur Kalibrierung eines eine Abgasnachbehandlung in einem Abgasstrom einer Brennkraftmaschine steuernden oder regelnden Steuergerätes, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ferner betrifft die Erfindung eine Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 6.

[0002] Der Einsatz von reaktionskinetischen Katalysatormodellen zur Kalibrierung von Steuergeräten bzw. Regelstrecken, wie diese in einem Fahrzeug, zum Beispiel einem Nutzfahrzeug, im Rahmen der Abgasnachbehandlung Verwendung finden, ist allgemein bekannt. Mittels eines derartigen Simulationsmodells können chemische bzw. physikalische Vorgänge der zum Beispiel Abgasnachbehandlung eines Verbrennungsmotors, um nur ein Beispiel zu nennen, simuliert werden, die am Prüfstand oftmals nur mit einem extrem hohem Aufwand darstellbar sind. Beispielsweise werden derartige Simulationsmodelle unter Verwendung einer kommerziell erhältlichen Simulationssoftware, zum Beispiel GT-Power® von Gamma Technologies Inc. erstellt. Mit einem derartigen, mittels einer Simulationssoftware erstellten, steuergeräteunabhängigen Simulationsmodell können die mehreren, während der jeweiligen Abgasnachbehandlung zeitversetzt und/oder parallel zueinander ablaufenden Reaktionen in Form von reaktionskinetischen Gleichungen, bei denen es sich um Differenzialgleichungen handelt, abgebildet werden. Die veränderlichen Gleichungsparameter der einzelnen reaktionskinetischen Gleichungen des Simulationsmodells werden dann anschließend mittels messtechnisch an einem Prüfstand erfasster realer Werte für die jeweiligen Gleichungsparameter kalibriert. Mittels eines derartigen Simulationsmodells können reale Gegebenheiten zwar zuverlässig nachgebildet werden, jedoch benötigen derartige Simulationsmodelle für das Lösen der Differenzialgleichungen eine je nach Modellgüte relativ hohe Rechenleistung, was sowohl zeitaufwendig als auch teuer ist. Aus diesem Grund wird auch die Kalibrierung eines eine Abgasnachbehandlung in einem Abgasstrom einer Brennkraftmaschine steuernden oder regelnden Steuergerätes relativ aufwendig und teuer.

[0003] Ein weiterer Nachteil eines derartigen Simulationsmodells ist, dass bei diesem Teilbereiche des Betriebsbereichs nicht ohne Einflussnahme auf andere Bereiche nachkalibriert werden können.

[0004] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Kalibrierung eines Steuergerätes, das einen durch reaktionskinetische Gleichungen beschreibbaren technischen Prozess steuert oder regelt, insbesondere ein Verfahren zur Kalibrierung eines eine Abgasnachbehandlung in einem Abgasstrom einer Brennkraftmaschine steuernden oder regelnden Steuergerätes, zur Verfügung zu stellen, das einen relativ geringen Rechenaufwand erfordert und mittels dem Teilbereiche des Betriebsbereiches des Steuergerätes ohne Einflussnahme auf andere Bereiche einfachst im praktischen Betrieb nachkalibriert werden können.

[0005] Die Lösung dieser Aufgabe gelingt mit den Merkmalen der unabhängigen Patenansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen hierzu sind Gegenstand der jeweils darauf rückbezogenen Unteransprüche.

[0006] Gemäß Anspruch 1 wird ein Verfahren zur Kalibrierung eines Steuergerätes, das einen durch reaktionskinetische Gleichungen beschreibbaren technischen Prozess steuert oder regelt, insbesondere zur Kalibrierung eines eine Abgasnachbehandlung (zum Beispiel eine selektive katalytische Reduktion) in einem Abgasstrom einer Brennkraftmaschine steuernden oder regelnden Steuergerätes, vorgeschlagen, bei dem die mehreren, zum Beispiel während der jeweiligen Abgasnachbehandlung, zeitversetzt und/oder parallel zueinander ablaufenden Reaktionen in Form von reaktionskinetischen Gleichungen in einem Simulationsmodell abgebildet werden bzw. abgebildet sind, wobei die veränderlichen Gleichungsparameter der einzelnen reaktionskinetischen Gleichungen bzw. Differenzialgleichungen des Simulationsmodells mittels messtechnisch an einem Prüfstand erfasster realer Werte für die jeweiligen Gleichungsparameter kalibriert werden. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass für das Steuergerät oder im Steuergerät ein vom Simulationsmodell unabhängiges und eine Mehrzahl von Kennfeldern aufweisendes Kennfeldmodell dadurch erzeugt wird, dass die die Reaktionskinetik beeinflussenden Reaktionsparameter jeder einzelnen (zum Beispiel im Rahmen der Abgasnachbehandlung) stattfindenden Reaktion als Kennfeldparameter verwendet werden und wenigstens ein Kennfeld aufspannen, wobei zur Bedatung der Kennfelder mittels des Simulationsmodells Werte für die die Reaktionskinetik beeinflussenden Kennfeldparameter ermittelt und dem Kennfeldmodell zugeführt werden. Anschließend wird zur Kalibrierung des Kennfeldmodells im realen Prozessbetrieb, insbesondere im realen Fahrbetrieb, und/oder am Prüfstand gezielt ein Wert für wenigstens einen der Kennfeldparameter wenigstens eines Kennfeldes des Kennfeldmodells messtechnisch erfasst und weiter mittels einer Auswerteeinrichtung ermittelt, ob der erfasste Messwert in einem definiert vorgegebenen Maße von dem im jeweiligen Kennfeld hinterlegten Wert des betrachteten Kennfeldparameters abweicht. Sollte letzteres der Fall sein, wird der hinterlegte Wert, und zwar ohne eine (Quer-)Beeinflussung der anderen von der Änderung nicht betroffenen Kennfelder des Kennfeldmodells, durch einen neu-

en Wert ersetzt. Ansonsten verbleibt es bei der ursprünglichen Einstellung.

[0007] Im Gegensatz zu den bisher verwendeten reaktionskinetischen Simulationsmodellen werden bei diesem erfindungsgemäßen Modell somit die reaktionskinetischen Gleichungen quasi für jede einzelne Reaktion in eigenen Kennfeldern bedatet. Die Abbildung der Realität erfolgt dabei, wie in einem herkömmlichen reaktionskinetischen Simulationsmodell zeit- und raumdiskret. Der Vorteil der erfindungsgemäßen Verfahrensführung ist jedoch, dass das erfindungsgemäße Kennfeldmodell eine Abbildung der reaktionskinetischen Zusammenhänge bei gleichzeitig geringem Rechenaufwand ermöglicht und es mit Hilfe von reaktionskinetischen Simulationsmodellen einfach automatisiert bedatet werden kann, wobei zudem Teilbereiche des Betriebsbereiches ohne Einflussnahme auf andere Bereiche nachkalibriert werden können. Durch die Kombination der Reaktionskinetik einerseits und Kennfeldern andererseits werden die Vorteile beider Methoden somit miteinander verbunden, so dass einem Applikationsingenieur trotz der Verwendung eines reaktionskinetischen Ansatzes nach wie vor eine große Freiheit bei der Anpassung der jeweiligen Datensätze verbleibt.

[0008] Können somit bisher entweder kennfeldbasierte Strategien angewendet werden, die direkt an Messungen bedatet werden oder alternativ dazu lediglich reaktionskinetische Ansätze verwendet werden, ermöglicht die erfindungsgemäße Lösung somit die Kombination der Reaktionskinetik mittels kennfeldbasierter Strategien, so dass die Vorteile beider Methoden miteinander verbunden werden können.

[0009] Mit der erfindungsgemäßen Verfahrensführung können somit Streckenmodelle in Steuergeräten für zum Beispiel die Abgasnachbehandlung erstellt und kalibriert werden, mittels denen zum Beispiel eine optimale Dosierstrategie für beispielsweise die selektive katalytische Reduktion entwickelt werden können (zum Beispiel im Hinblick auf die Euro VI-Norm). Grundsätzlich kann die erfindungsgemäße Verfahrensführung für jedwede durch reaktionskinetische Gleichungen beschreibbare technische Prozesse Verwendung finden, bei der in einem Simulationsmodell reaktionskinetische Differenzialgleichungen zum Beispiel numerisch gelöst werden müssen. Besonders bevorzugt ist jedoch, wie bereits eingangs ausgeführt, eine Verfahrensführung, bei der mittels des Steuergerätes eine Abgasnachbehandlung gesteuert wird. Besonders bevorzugt ist hierbei weiter eine Verfahrensführung, bei der die gesteuerte Abgasnachbehandlung eine selektive katalytische Reduktion ist, bei der die Stickoxide im Abgasstrom durch Zudosierung eines Reduktionsmittels, zum Beispiel einer wässrigen Harnstofflösung als Reduktionsmittel reduziert werden. Wenigstens ein Teil der in den nachstehenden Reaktionsgleichen wiedergegebenen und bei der selektiven katalytischen Reduktion ablaufenden Reaktionen wird zur Erstellung des steuergeräteunabhängigen Simulationsmodells unter Verwendung eines reaktionskinetischen Ansatzes in eine oder mehrere reaktionskinetische Gleichungen bzw. Differenzialgleichungen umgewandelt:

(1) Thermolyse: $(NH_2)_2CO + H_2O \rightarrow NH_3 + HNCO$
(2) Hydrolyse: $HNCO + H_2O \rightarrow NH_3 + CO_2$
(3) Adsorption: $S + NH_3 \rightarrow SNH_3$
(4) Desorption: $SNH_3 \rightarrow S + NH_3$/Rückreaktion zu (3)
(5) Standard SCR: $SNH_3 + NO + 0.25O_2 \rightarrow N_2 + 1.5H_2O + S$
(6) Langsame SCR: $4SNH_3 + 3NO_2 + 0.25O_2 \rightarrow 3.5N_2 + 6H_2O + 4S$
(7) Schnelle SCR: $4SNH_3 + 2NO + 2NO_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O + 4S$
(8) NH3 Oxidation: $4SNH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O + 4S$
(9) Lachgas-Bildung (unerwünschte Nebenreaktion):

$2SNH_3 + 2NO_2 \rightarrow N_2O + N_2 + 3H_2O + 2S$
(10) NO-Oxidation + Rückreaktion:

$NO + 0.5O_2 \rightarrow NO_2$

$NO_2 \rightarrow NO + 0.5O_2$

mit S: Freie Katalytische Oberfläche/NH_3: Ammoniak in Gasphase/SNH_3: an der katalytischen Oberfläche adsorbiertes Ammoniak/$(NH_2)_2CO$: Harnstoff/HNCO: Isocyansäure/NO: Stickstoffmonoxid/NO_2: Stickstoffdioxid/O_2: Sauerstoff/N_2: Stickstoff/H_2O: Wasser/N_2O: Lachgas

[0010] Wie bereits zuvor dargestellt, können mit der erfindungsgemäßen Lösung dann insbesondere optimierte Dosierstrategien für die Zudosierung eines Reduktionsmittels im Rahmen eines komplexen Abgasnachbehandlungsprozesses, wie es die selektive katalytische Reduktion darstellt, auf einfache und funktionssichere Weise ermittelt werden.

[0011] Als kinetischer Ansatz eignet sich zum Beispiel der Ansatz von Langmuir und Hinshelwood, gemäß dem vorgesehen ist, dass bei der Absorption die Ausgangskomponenten an den aktiven Zentren der Katalysatoroberfläche chemiesorbiert werden und anschließend aus diesem Zustand heraus miteinander reagieren. Alternativ kann auch der Eley-Rideal-Ansatz verwendet werden, gemäß dem ein chemiesorbierter Ausgangsstoff mit einem anderen Ausgangsstoff in der Gasphase reagiert.

[0012] Diese reaktionskinetischen Ansätze sind allgemein bekannt. Durch Variation der Eingangsgrößen, wie zum Beispiel Abgasmassenstrom, Stickoxidkonzentration, Temperatur und/oder NH_3-Massenstrom, und/oder durch Variation der internen Sys-

temgrößen, wie beispielsweise an der katalytischen Oberfläche absorbiertes NH_3, können die im Simulationsmodell abgebildeten reaktionskinetischen Differentialgleichungen stimuliert werden, wobei mit dem Ergebnis die Bedatung der Kennfelder durchgeführt werden kann.

[0013] Die die Kennfelder aufspannenden und die Reaktionskinetik beeinflussenden Kennfeldparameter jeder einzelnen Reaktion, insbesondere jeder einzelnen im Rahmen einer Abgasnachbehandlung stattfindenden Reaktion, können somit besonders vorteilhaft einerseits durch messbare Größen (beispielsweise sind dies im Rahmen einer Abgasnachbehandlung ein Abgasmassenstrom und/oder eine Stickoxidkonzentration und/oder eine Temperatur und/ein NH_3-Massenstrom) gebildet sein, die auf schnelle, einfache und funktionssichere Weise durch geeignete Messinstrumente im Rahmen des realen Prozessbetriebs, zum Beispiel im realen Fahrbetrieb, bzw. am Prüfstand erfasst bzw. gemessen werden können. Andererseits können die die Kennfelder aufspannenden und die Reaktionskinetik beeinflussenden Kennfeldparameter jeder einzelnen Reaktion, insbesondere jeder einzelnen im Rahmen einer Abgasnachbehandlung stattfindenden Reaktion, grundsätzlich aber auch durch das vorhandene Simulationsmodell ermittelt werden, zum Beispiel in den Fällen, in denen in der realen Anwendung nicht bzw. nicht sinnvoll gemessen werden kann, wie dies beispielsweise bei der Menge des an der katalytischen Oberfläche adsorbierten NH_3 der Fall ist. Der besondere Vorteil liegt hier insbesondere darin, dass die Kalibrierung des Kennfeldmodells und damit des Steuergerätes nicht nur auf einfache, schnelle und funktionssichere Weise durchgeführt werden kann, sondern, wie bereits zuvor dargestellt, auch ohne eine Querbeeinflussung der einzelnen Parameter erfolgen kann. Das heißt, dass zur Kalibrierung des Kennfeldmodells zumindest für einen Großteil der Parameter einfachst im realen Prozess- bzw. Fahrbetrieb und/oder am Prüfstand gezielt ein Wert für wenigstens einen der Kennfeldparameter wenigstens eines Kennfeldes messtechnisch erfasst und anschließend der Auswerteeinrichtung zugeführt werden kann.

[0014] Desweiteren wird mit dem unabhängigen Patentanspruch 6 eine Brennkraftmaschine, insbesondere für ein Fahrzeug, zum Beispiel ein Nutzfahrzeug, oder ein Schiff, mit einem gemäß einem erfindungsgemäßen Verfahren kalibrierten Steuergerät zur Steuerung oder Regelung einer Abgasnachbehandlung eines Abgasstroms der Brennkraftmaschine vorgeschlagen. Ein Steuergerät mit einem derartigen erfindungsgemäßen Kennfeldmodells ist, wie bereits zuvor dargestellt, einfach zu erstellen und zu kalibrieren. Bezüglich der weiteren Vorteile wird auf die zuvor gemachten Ausführungen verwiesen.

[0015] Die Erfindung wird nachfolgend anhand einer Zeichnung näher erläutert.

[0016] Die einzige Figur zeigt schematisch ein Fließbild mit einem erfindungsgemäßen Steuergerät bzw. Steuergerätemodell, das hier ein Kennfeldmodell sowie eine Auswerteeinrichtung aufweist.

[0017] Dem Steuergerät ist ein Simulationsmodell sowie ein Prüfstand und/oder eine Brennkraftmaschine mit einer Abgasnachbehandlung zugeordnet.

[0018] Das beispielsweise mittels eines herkömmlichen Simulationstools, zum Beispiel GT-Power® erstellte Simulationsmodell, in dem die mehreren, während der jeweiligen Abgasnachbehandlung zeitversetzt und/oder parallel zueinander ablaufenden Reaktionen in Form von reaktionskinetischen Gleichungen (Reaktion 1, Reaktion 2 etc.) abgebildet sind, wird in einem ersten Schritt kalibriert. Konkret werden hierzu die veränderlichen Gleichungsparameter der einzelnen reaktionskinetischen Gleichungen des Simulationsmodells mittels messtechnisch an einem Prüfstand erfasster realer Werte für die jeweiligen Gleichungsparameter kalibriert (Schritt 1: Kalibrieren).

[0019] Das eine Mehrzahl von Kennfeldern aufweisende Kennfeldmodell wird dadurch erzeugt, dass die die Reaktionskinetik beeinflussenden Reaktionsparameter jeder einzelnen im Rahmen der Abgasnachbehandlung stattfindenden Reaktion als Kennfeldparameter verwendet werden, um die diversen Kennfelder aufzuspannen. Konkret werden hierzu pro Reaktion ein oder mehrere Kennfelder aufgespannt werden, die jeweils einen Kennfeldsatz ausbilden (Schritt 2: Modellieren).

[0020] Zur Bedatung dieser Kennfelder bzw. Kennfeldsätze werden dann mittels des Simulationsmodells Werte für die die Reaktionskinetik beeinflussenden Kennfeldparameter (Parameter 1, Parameter 2, Parameter 3, Parameter 4, etc.) ermittelt und dem Kennfeldmodell zugeführt, wodurch die diversen Kennfelder aufgespannt werden (Schritt 3: Bedaten). Wie beispielhaft anhand des Parameters 1 dargestellt, können einzelne der Parameter auch unterschiedlichen Kennfeldern bzw. Kennfeldsätzen zugeführt werden.

[0021] Das Kennfeldmodell ist wie in der **Fig.** 1 durch den Punkt 4 (Integrieren) dargestellt, letztendlich Bestandteil des Steuergerätes, so dass zur Kalibrierung des Kennfeldmodells im realen Fahrbetrieb und/oder am Prüfstand gezielt ein Wert für wenigstens einen der Kennfeldparameter wenigstens eines Kennfeldes bzw. Kennfeldsatzes des Kennfeldmodells messtechnisch erfasst und der Bestandteil des Steuergerätes bildenden Auswerteeinrichtung zugeführt wird. Von der Auswerteeinrichtung wird dann ermittelt, ob

der erfasste Messwert in einem definiert vorgegebenen Maße von dem im jeweiligen Kennfeld hinterlegten Wert des betrachteten Kennfeldparameters abweicht, wobei bejahendenfalls dann der hinterlegte Wert durch einen neuen Wert ersetzt wird, und zwar ohne eine Beeinflussung der anderen von der Änderung nicht betroffenen Kennfelder des Kennfeldmodells (Schritt 5: Applikation).

[0022] Die im Rahmen der Bedatung bzw. Applikation bewirkten Zustandsänderungen des Kennfeldmodells sind in der einzigen Figur als Zustandsänderung 1, Zustandsänderung 2, etc. bzw. als Zustandsänderung 1', Zustandsänderung 2', etc. bezeichnet. Die Hochstriche bedeuten hierbei, dass die Zustandsänderungen des Simulationsmodells und des Kennfeldmodells nicht identisch sind.

[0023] Mit einer derartigen konkreten erfindungsgemäßen Verfahrensführung, zum Beispiel im Rahmen der Entwicklung einer Dosierstrategie für eine selektive katalytische Reduktion, lassen sich die zuvor genannten Vorteile erzielen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Euro VI-Norm [0009]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung eines Steuergerätes, das einen durch reaktionskinetische Gleichungen beschreibbaren technischen Prozess steuert oder regelt, insbesondere zur Kalibrierung eines eine Abgasnachbehandlung in einem Abgasstrom einer Brennkraftmaschine steuernden oder regelnden Steuergerätes, mit einem Simulationsmodell, in dem die mehreren, insbesondere während einer Abgasnachbehandlung, zeitversetzt und/oder parallel zueinander ablaufenden Reaktionen in Form von reaktionskinetischen Gleichungen abgebildet sind, wobei die veränderlichen Gleichungsparameter der einzelnen reaktionskinetischen Gleichungen des Simulationsmodells mittels messtechnisch an einem Prüfstand erfasster realer Werte für die jeweiligen Gleichungsparameter kalibriert werden,
dadurch gekennzeichnet,
dass für das oder im Steuergerät ein vom Simulationsmodell unabhängiges und eine Mehrzahl von Kennfeldern aufweisendes Kennfeldmodell dadurch erzeugt wird, dass die die Reaktionskinetik beeinflussenden Reaktionsparameter jeder einzelnen, insbesondere im Rahmen einer Abgasnachbehandlung, stattfindenden Reaktion als Kennfeldparameter verwendet werden und wenigstens ein Kennfeld aufspannen, wobei zur Bedatung der Kennfelder mittels des Simulationsmodells Werte für die die Reaktionskinetik beeinflussenden Kennfeldparameter ermittelt und dem Kennfeldmodell zugeführt werden, und
dass anschließend zur Kalibrierung des Kennfeldmodells im realen Prozessbetrieb und/oder am Prüfstand gezielt ein Wert für wenigstens einen der Kennfeldparameter wenigstens eines Kennfeldes des Kennfeldmodells messtechnisch erfasst wird und anschließend mittels einer Auswerteeinrichtung ermittelt wird, ob der erfasste Messwert in einem definiert vorgegebenen Maße von dem im jeweiligen Kennfeld hinterlegten Wert des betrachteten Kennfeldparameters abweicht, wobei bejahendenfalls der hinterlegte Wert, ohne eine Beeinflussung der anderen von der Änderung nicht betroffenen Kennfelder des Kennfeldmodells, durch einen neuen Wert ersetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**
dass die mittels des Steuergerätes gesteuerte Abgasnachbehandlung eine selektive katalytische Reduktion ist, bei der die Stickoxide im Abgasstrom durch Zudosierung eines Reduktionsmittels, insbesondere einer wässrigen Harnstofflösung als Reduktionsmittel, reduziert werden, und
dass wenigstens ein Teil der in den nachstehenden Reaktionsgleichungen wiedergegebenen und bei der selektiven katalytischen Reduktion ablaufenden Reaktionen zur Erstellung des steuergeräteunabhängigen Simulationsmodells unter Verwendung eines reaktionskinetischen Ansatzes, insbesondere des Langmuir-Hinshelwood-Ansatzes oder des Eley-Rideal Ansatzes, in eine oder mehrere reaktionskinetische Gleichungen umgewandelt wird:
(1) Thermolyse: $(NH_2)_2CO + H_2O \rightarrow NH_3 + HNCO$
(2) Hydrolyse: $HNCO + H_2O \rightarrow NH_3 + CO_2$
(3) Adsorption: $S + NH_3 \rightarrow SNH_3$
(4) Desorption: $SNH_3 \rightarrow S + NH_3$/Rückreaktion zu (3)
(5) Standard SCR: $SNH_3 + NO + 0.25O_2 \rightarrow N_2 + 1.5H_2O + S$
(6) Langsame SCR: $4SNH_3 + 3NO_2 + 0.25O_2 \rightarrow 3.5N_2 + 6H_2O + 4S$
(7) Schnelle SCR: $4SNH_3 + 2NO + 2NO_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O + 4S$
(8) NH3 Oxidation: $4SNH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O + 4S$
(9) Lachgas-Bildung (unerwünschte Nebenreaktion):

$$2SNH_3 + 2NO_2 \rightarrow N_2O + N_2 + 3H_2O + 2S$$

(10) NO-Oxidation + Rückreaktion:

$$NO + 0.5O_2 \rightarrow NO_2$$

$$NO_2 \rightarrow NO + 0.5O_2$$

mit S: Freie Katalytische Oberfläche/NH_3: Ammoniak in Gasphase/SNH_3: an der katalytischen Oberfläche adsorbiertes Ammoniak/$(NH_2)_2CO$: Harnstoff/HNCO: Isocyansäure/NO: Stickstoffmonoxid/NO_2: Stickstoffdioxid/O_2: Sauerstoff/N_2: Stickstoff/H_2O: Wasser/N_2O: Lachgas

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass die die Kennfelder aufspannenden und die Reaktionskinetik beeinflussenden Kennfeldparameter jeder einzelnen Reaktion, insbesondere jeder einzelnen im Rahmen einer Abgasnachbehandlung stattfindenden Reaktion, durch Eingangsgrößen und/oder durch interne Systemgrößen gebildet sind,
dass zur Bedatung der Kennfelder mittels des Simulationsmodells Werte für diese Kennfeldparameter ermittelt und dem Kennfeldmodell zugeführt werden, und
dass zur Kalibrierung des Kennfeldmodells im realen Prozessbetrieb, insbesondere im realen Fahrbetrieb, und/oder am Prüfstand gezielt ein Wert für wenigstens einen der Kennfeldparameter wenigstens eines Kennfeldes messtechnisch erfasst und anschließend der Auswerteeinrichtung zugeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet,** dass die wenigstens eine Eingangsgröße bei einer Abgasnachbehandlung ein Abgasmassenstrom und/oder eine Stickoxidkonzentration und/oder eine Temperatur und/oder einen NH_3-Massenstrom ist.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet,** dass die wenigstens eine interne Systemgröße bei einer Abgasnachbehandlung die Men-

ge des an der katalytischen Oberfläche adsorbierten NH_3 ist.

6. Brennkraftmaschine, insbesondere für ein Fahrzeug oder ein Schiff, mit einem gemäß einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche kalibrierten Steuergerät zur Steuerung oder Regelung einer Abgasnachbehandlung eines Abgasstroms der Brennkraftmaschine.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

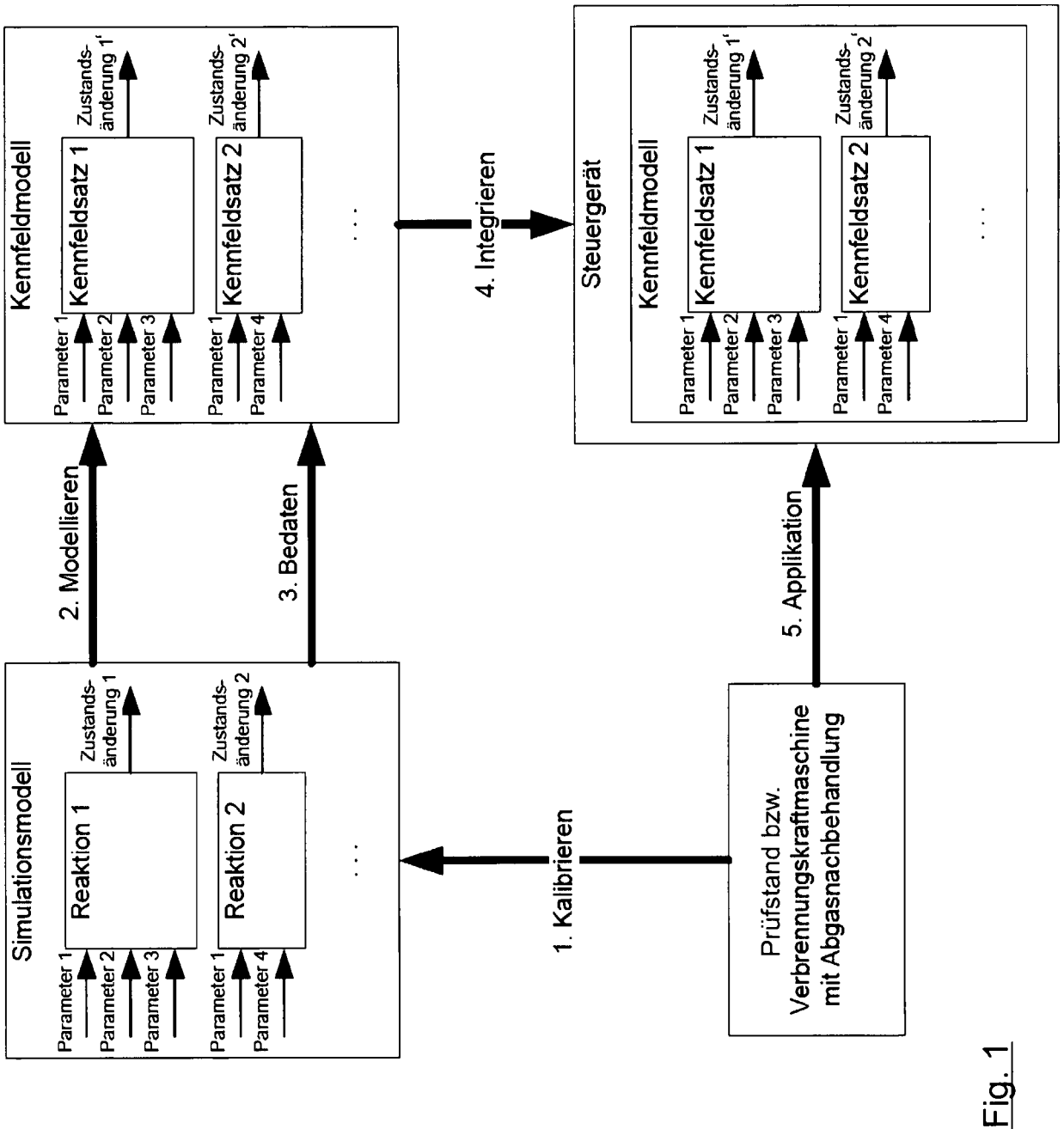


Fig. 1