

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50093/2024
(22) Anmeldetag: 05.02.2024
(45) Veröffentlicht am: 15.05.2025

(51) Int. Cl.: **G01M 15/10** (2006.01)
F02D 41/02 (2006.01)
B01D 53/94 (2006.01)
F01N 9/00 (2006.01)
F01N 11/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102015207252 A1
DE 102023000627 A1
DE 102020214474 A1
DE 102011088296 A1

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

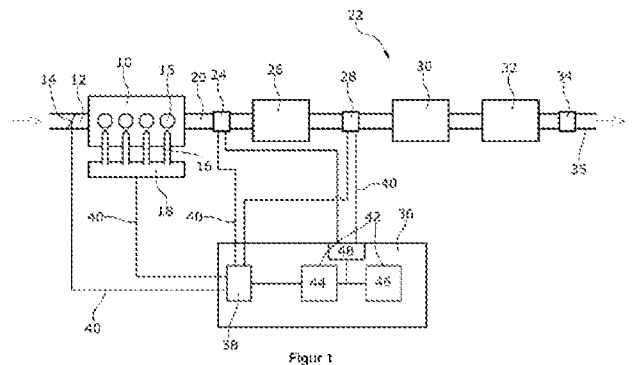
(72) Erfinder:
Rieger Paul Dipl.-Ing.
8111 Gratwein-Straßengel (AT)
Götschl Peter Dipl.-Ing. (FH)
8010 Graz (AT)
Luef Reinhard Dipl.-Ing. Dr.
8052 Graz (AT)
Ruiz-Carrillo Ruben MSc
8055 Graz (AT)
Klumaier Kurt Dipl.-Ing.
8112 Gratwein-Straßengel (AT)

(74) Vertreter:
Gamper Bettina Dr.techn.
8020 Graz (AT)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors

(57) Es werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) mit einer Abgasnachbehandlungsanlage (22), einer Lambda-Sonde (24), welche stromabwärts von Brennräumen (15) des Verbrennungsmotors (10) und stromaufwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) angeordnet ist, und einem Sensor (34) zur Messung der Stickoxidkonzentration, der Ammoniakkonzentration und/oder der Sauerstoffkonzentration im Abgasstrom, welcher stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) angeordnet ist, vorgeschlagen. Des Weiteren weist die Vorrichtung eine Motorsteuereinheit (36) auf, in der ein Emissionsmodell (42) integriert ist, welches ein Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) aufweist, über welches Rohemissionen aus den Betriebsdaten des Verbrennungsmotors (10) berechenbar sind, und ein Abgasnachbehandlungsmodell (46) aufweist, über welches die Emissionen stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) aus den Rohemissionsdaten berechenbar sind.

Erfindungsgemäß ist in der Motorsteuereinheit (36) eine Recheneinheit (48) integriert, in der aus den Messwerten der Lambda-Sonde (24) und den Messwerten des Sensors (34) eine Kraftstoffmasse berechenbar ist, welche als Eingangssignal des Verbrennungs-Rohemissionsmodells (44) und/oder des Abgasnachbehandlungsmodells (46) dient.



Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR VORHERSAGE VON ABGASEMISSIONEN EINES VERBRENNUNGSMOTORS

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors sowie eine Vorrichtung zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors mit einer Abgasnachbehandlungsanlage, welche eine Lambda-Sonde aufweist, welche stromabwärts von Brennräumen des Verbrennungsmotors und stromaufwärts einer Abgasnachbehandlungsanlage angeordnet ist, und welche einen Sensor zur Messung der Stickoxidkonzentration, der Ammoniakkonzentration und/oder der Sauerstoffkonzentration im Abgasstrom aufweist, welcher stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage angeordnet ist, und welche eine Motorsteuereinheit aufweist, in der ein Emissionsmodell integriert ist, welches ein Verbrennungs-Rohemissionsmodell aufweist, über welches Rohemissionen aus den Betriebsdaten des Verbrennungsmotors berechenbar sind, und ein Abgasnachbehandlungsmodell aufweist, über welches die Emissionen stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage aus den Rohemissionsdaten berechenbar sind.

[0002] Abgasnachbehandlungsanlagen moderner Otto-Verbrennungsmotoren weisen zur gesetzkonformen Schadstoffminimierung als Abgasnachbehandlungsanlage üblicherweise zwei Dreivegekatalysatoren und einen Partikelfilter auf. Dieselmotoren weisen neben dem Partikelfilter üblicherweise Oxidationskatalysatoren und Katalysatoren zur selektiven katalytischen Reaktion (SCR-Katalysator) sowie einen Ammoniakschlupfkatalysator auf. Da innerhalb eines Fahrzeugs nicht stetig die am Auslass der Abgasanlage entstehenden und in die Umgebung abgegebenen Emissionsmengen in ihren einzelnen Bestandteilen gemessen werden können, ist es notwendig zur Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben, die entstehenden Emissionen aus den zur Verfügung stehenden Fahrzeugdaten zu berechnen. Hierzu wurden Modelle zur Simulation des Verbrennungsvorgangs und zur Simulation der Vorgänge in der Abgasnachbehandlungsanlage entwickelt, über die das in die Umgebung abgegebene Abgas in seinen Bestandteilen und Mengen berechnet wird. Ein solches Verbrennungs-Rohemissionsmodell zur Berechnung der bei der Verbrennung entstehenden Emissionen wird beispielsweise in der DE 10 2015 207 252 A1 beschrieben.

[0003] Die Güte der Vorhersagen eines entsprechenden Abgasnachbehandlungsmodells ist insbesondere abhängig von einem korrekten Messwert oder korrekt berechneten Wert für die pro Arbeitsspiel in die Zylinder eingespritzte Kraftstoffmasse und der Luftmasse, da dies entscheidend ist für die Entstehung von Schadstoffen bei der Verbrennung. Diese kann entweder über ein Verbrennungs-Rohemissionsmodell, bei dem die im Ottomotor stattfindende Verbrennung simuliert und hieraus die Daten zur Ermittlung der Rohemissionen berechnet werden, oder direkt aus der Motorsteuereinheit ausgelesen werden oder mithilfe der Messwerte einer ersten Lambda-Sonde berechnet werden, welche vor dem ersten Dreivegekatalysator und stromabwärts der Brennräume des Ottomotors angeordnet ist.

[0004] Da der Messwert der Lambda-Sonde das real vorhandene Verbrennungsluftverhältnis misst, führt die Verwendung dieses Messwertes üblicherweise zu genaueren Ergebnissen bei der Berechnung sowohl der real eingespritzten Kraftstoffmasse als auch der daraus im Abgasnachbehandlungsmodell berechneten Emissionen.

[0005] Problematisch hierbei ist es jedoch, dass nicht über den gesamten Betriebszeitraum des Verbrennungsmotors die Messwerte der Lambda-Sonde zur Verfügung stehen. Erst nach Feststellen der Betriebsbereitschaft der Lambda-Sonde, können deren Messwerte verwendet werden. Hier hat es sich jedoch gezeigt, dass die Messwerte dieser Lambda-Sonde aufgrund von Fertigungstoleranzen, der Einbaulage sowie Alterung gewisse Messfehler aufweisen kann. Wird nun deren Messwert verwendet, um die Kraftstoffmasse und daraus die vorhandenen Emissionen zu berechnen, können bei der Vorhersage Fehler entstehen, deren Größenordnung zur sicheren Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften nicht mehr ausreichend sind.

[0006] Es stellt sich daher die Aufgabe, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur zeitlich aufgelösten Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors bereit zu stellen, mittels derer zumindest Unsicherheiten bezüglich einer korrekten Ermittlung der Abgasemissionen aufgedeckt werden und zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung gestellt werden. Des Weiteren ist es wünschenswert, nicht nur mögliche Fehler zu identifizieren, sondern über die gesamte Betriebsdauer eine möglichst exakte Vorhersage der Abgasemissionen zu erreichen und insbesondere Fehler bei der Berechnung der Abgasemissionen aufgrund fehlerhafter bei der Berechnung zugrunde gelegter eingespritzter Kraftstoffmassen als Eingangswert des Abgasemissionsmodells zu vermeiden.

[0007] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Hauptanspruchs 1 sowie eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Hauptanspruchs 15 gelöst.

[0008] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors weist eine Abgasnachbehandlungsanlage auf, welche je nach Art des Motors unterschiedlich aufgebaut sein kann. So besteht eine solche Abgasnachbehandlungsanlage bei einem Ottomotor üblicherweise aus einem ersten Dreiwegekatalysator und einem zweiten stromabwärtigen Dreiwegekatalysator, zwischen denen ein Partikelfilter angeordnet ist. Bei einem Dieselmotor besteht eine solche Abgasnachbehandlungsanlage aus zumindest einem SCR-Katalysator, einem Oxidationskatalysator und/oder einem Ammoniak-schlupfkatalysator und einem Dieselpartikelfilter. Des Weiteren ist stromabwärts von Brennräumen des Verbrennungsmotors und stromaufwärts der Abgasnachbehandlungsanlage eine Lambda-Sonde angeordnet, über welche die Sauerstoffkonzentration gemessen und daraus das bestehende Verbrennungsluftverhältnis ermittelt werden kann. Zusätzlich weist die erfindungsgemäße Vorrichtung einen Sensor zur Messung der Stickoxidkonzentration, der Ammoniakkonzentration und/oder der Sauerstoffkonzentration im Abgasstrom auf, welcher stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage angeordnet ist. Es handelt sich hierbei üblicherweise um Sensoren, welche durch baubedingte Querempfindlichkeiten geeignet sind, Stickoxidkonzentrationen und Ammoniakkonzentrationen auf Basis eines Messsignals zu ermitteln und eine Sauerstoffkonzentration im Abgas zu messen. Die Sensoren verfügen üblicherweise über einen zusätzlichen Controller, der es ermöglicht die vorhandenen Querempfindlichkeiten zu berücksichtigen, so dass sehr genaue Messwerte erzielt werden. Es können entsprechend entweder die Messwerte aller gemessenen Abgaskomponenten berücksichtigt werden oder auch nur die Messwerte einer der Abgaskomponenten berücksichtigt werden.

[0009] Des Weiteren weist die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Motorsteuereinheit auf, über die auch die Steuerung des Verbrennungsmotors und seiner Aktuatoren erfolgen kann und in der ein Emissionsmodell integriert ist, welches ein Verbrennungs-Rohemissionsmodell aufweist, über welches Rohemissionen aus den Betriebsdaten des Verbrennungsmotors berechenbar sind, und ein Abgasnachbehandlungsmodell aufweist. Unter Rohemissionen werden entsprechend die Emissionen verstanden, die in den Brennräumen der Zylinder entstehen und ohne weitere Nachbehandlung in den Abgasstrang des Verbrennungsmotors gelangen. Das Verbrennungs-Rohemissionsmodell dient somit als eine Art virtueller Sensor. In diesem Verbrennungs-Rohemissionsmodell werden aus den Steuerdaten des Verbrennungsmotors sowie den vorliegenden geometrischen Gegebenheiten die folgenden physikalischen und chemischen Vorgänge bei der Verbrennung modelliert und so die aufgrund der vorliegenden Parameter zu erwartenden Rohemissionen berechnet. Über das Abgasnachbehandlungsmodell sind die Emissionen stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage aus den Rohemissionsdaten berechenbar, indem die physikalischen und chemischen Prozesse der einzelnen Komponenten der Abgasnachbehandlungsanlage modelliert werden, so dass hieraus die Emissionen hinter jeder Komponente der Abgasnachbehandlungsanlage berechenbar sind. Dieses Abgasnachbehandlungsmodell ist entsprechend zum Datenaustausch mit dem Verbrennungs-Rohemissionsmodell verbunden, dessen Ausgangsdaten als Eingangsdaten des Abgasnachbehandlungsmodells dienen.

[0010] Zusätzlich ist in der Motorsteuereinheit eine Recheneinheit integriert, welche auch Teil des Emissionsmodells sein kann. In dieser Recheneinheit ist aus den Messwerten der Lambda-Sonde und zumindest einem der Messwerte des Sensors eine Kraftstoffmasse berechenbar, wel-

che als Eingangssignal des Verbrennungs-Rohemissionsmodell und/oder des Abgasnachbehandlungsmodells dient. Entsprechend wird das Abgasnachbehandlungsmodell nicht nur mit den virtuellen Werten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells versorgt, sondern erhält für die dort durchgeführten Berechnungen als Ausgangswerte auch die real im Verbrennungsmotor vorliegenden Messergebnisse, aus denen die eingespritzte Kraftstoffmasse pro Arbeitsspiel und Zylinder berechnet werden kann. Diese Kraftstoffmasse bildet einen entscheidenden Faktor bei der Berechnung der Emissionen. Entsprechend wird verhindert, dass durch Fehler bei der Bestimmung der eingespritzten Kraftstoffmasse auch Fehler bei den Berechnungen im Emissionsmodell entstehen. Dies ist insbesondere wichtig, da für den Gesetzgeber insbesondere die Emissionen am Auslass der Abgasnachbehandlungsanlage entscheidend sind. Entsprechend können mit dieser Vorrichtung zeitlich aufgelöst Rohemissionen sehr zuverlässig bestimmt werden und so eine kontinuierliche Überwachung der Emissionen unabhängig von den vorliegenden Fahrbedingungen durchgeführt werden. Durch die Verwendung der realen Messwerte der Lambda-Sonde und des Sensors am Auslass kann so eine Eingangsgaszusammensetzung ermittelt werden, die der realen Gaszusammensetzung im Abgas vor dem Abgasnachbehandlungssystem sehr ähnlich ist. So wird sichergestellt, dass die Abgasemissionen nicht nur auf einem sehr guten Qualitätsniveau, sondern auch auf sehr robuste Weise vorhergesagt werden können, da alle Änderungen im realen System sofort in die Emissionsmodelle zurückgeführt und dort berücksichtigt werden.

[0011] Beim erfindungsgemäßen Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors, der eine Abgasnachbehandlungsanlage mit mindestens zwei Katalysatoren und einem Partikelfilter aufweist, wobei stromaufwärts der Abgasnachbehandlungsanlage und stromabwärts von Brennräumen des Verbrennungsmotors eine Lambdasonde angeordnet ist und stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage ein Sensor zur Messung der Stickoxidkonzentration, der Ammoniakkonzentration und/oder der Sauerstoffkonzentration im Abgasstrom angeordnet ist, wird nach Erreichen der Betriebsbereitschaft der Lambda-Sonde und des Sensors mittels der Lambda-Sonde, eine Sauerstoffkonzentration im Abgasstrom vor der Abgasnachbehandlungsanlage zur Bestimmung einer eingespritzten Kraftstoffmasse gemessen. In Abhängigkeit der Messwerte der Lambda-Sonde wird daraufhin eine eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet, welche als Eingangswert eines Emissionsmodells dient, über welches die Abgasemissionen stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage berechnet werden. Diese berechneten Abgasemissionen enthalten insbesondere Werte für die vorhandene Stickoxidkonzentration, Ammoniakkonzentration sowie die Sauerstoffkonzentration und daraus folgend das Verbrennungsluftverhältnis. Zumindest einer dieser im Emissionsmodell berechneten Werte wird daraufhin mit den Messwerten des Sensors stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage verglichen. Bei Auftreten einer Abweichung des zumindest einen über das Emissionsmodell berechneten Wertes von dem entsprechenden durch den Sensor gemessenen Wert wird im Folgenden auf einen Fehler im Emissionsmodell oder an der Lambdasonde oder dem Sensor geschlossen. Unter Fehler wird in diesem Zusammenhang somit nicht nur ein Fehler oder ein Defekt eines Bauteil verstanden, sondern auch ein Adaptionsbedarf des Emissionsmodells. Somit können die im Emissionsmodell berechneten Werte stetig durch die realen Werte überprüft werden, was es ermöglicht, das Emissionsmodell bei Bedarf anzupassen. So kann das Emissionsmodell an die realen Bedingungen im Laufe des Betriebs stetig angepasst werden, wodurch auch in Phasen, in denen der Sensor oder die Lambda-Sonde nicht betriebsbereit sind, durch das Emissionsmodell genauere Emissionswerte ermittelt werden können. In einer einfachen Ausführung kann dieser Vergleich auch lediglich genutzt werden, um einen Fehler über die Motorsteuereinheit auszugeben, so dass die Lambda-Sonde, der Sensor beispielsweise im Laufe einer Wartung überprüft werden können. Des Weiteren kann die Kalibrierung und Parametrierung des Modells beziehungsweise im Zuge eines Datenstandupdates neu beschrieben werden oder auf den Ausgangszustand zurückgesetzt werden.

[0012] Entsprechend werden bei Vorliegen eines Fehlers beziehungsweise einer Abweichung, welche einen definierten Schwellwert überschreitet, vorzugsweise die berechneten Werte des Emissionsmodells durch Berücksichtigung des zumindest einen Messwerts des Sensors korrigiert. Auf diese Weise kann das Emissionsmodell verbessert werden.

[0013] Eine solche Verbesserung erfolgt vorteilhafterweise, indem mittels des Emissionsmodells eine aufgrund der Messwerte der Lambda-Sonde zu erwartende Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage berechnet wird und im Folgenden ein Vergleich zumindest der Messwerte der mittels des Sensors gemessenen Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration mit den korrespondierenden, berechneten Werten der Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration aus dem Emissionsmodell durchgeführt wird. Bei Abweichung der Messwerte des Sensors von den korrespondierenden berechneten Werten des Emissionsmodells wird der Messwert der Lambda-Sonde in Abhängigkeit der Messwerte des Sensors korrigiert und die eingespritzte Kraftstoffmasse aus dem korrigierten Messwert berechnet. Im Folgenden werden daraufhin die Abgasemissionen stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage mittels der korrigierten Kraftstoffmasse über das Emissionsmodell berechnet. Dies hat zur Folge, dass die Kraftstoffmasse, welche vom Emissionsmodell genutzt wird, nicht die Kraftstoffmasse ist, welche sich aus den Steuerdaten des Verbrennungsmotors, also den Öffnungszeiten der Einspritzventile, den Einspritzzeiten und dem Kraftstoffdruck ergibt, sondern die tatsächlich vorhandene Kraftstoffmasse entsprechend der Messungen am Auslass der Brennräume ist. Hierdurch können die Emissionen, welche über das Emissionsmodell berechnet werden, deutlich genauer bestimmt werden. Es wird jedoch nicht nur auf die sich aus den Messwerten der Lambda-Sonde ergebende Kraftstoffmasse zurückgegriffen, sondern diese in Abhängigkeit der Messwerte des Sensors noch einmal korrigiert. Somit wird aus den Messwerten der Lambda-Sonde und des Sensors ein Sauerstoffgehalt und ein Verbrennungsluftverhältnis stromabwärts der Brennräume des Verbrennungsmotors und stromaufwärts der Abgasnachbehandlungsanlage berechnet, aus dem eine eingespritzte Kraftstoffmasse abgeleitet wird, welche als Eingangswert des Emissionsmodells dient. Somit werden die Messwerte der Lambda-Sonde in Abhängigkeit der Messwerte des Sensors noch einmal korrigiert, was die Vorhersagegüte der im Emissionsmodell berechneten Emissionen zusätzlich verbessert, da Messabweichungen an der Lambda-Sonde, welche durch Alterung, ungenaue Einbaulage oder vorhandenen Fertigungstoleranzen entstehen können, minimiert werden.

[0014] Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn in Phasen, in denen die Lambda-Sonde oder der Sensor nicht betriebsbereit ist oder ein unplausibles Signal liefert, die eingespritzte Kraftstoffmasse sowie die Luftmasse und ein Restgasanteil aus den Motorsteuerdaten eingelesen werden. Dies ist beispielsweise während der Warmlaufphase des Verbrennungsmotors oder in einem nicht eingeschwungenen Zustand im Abgastrakt notwendig, wenn die Lambda-Sonde und der Sensor noch nicht ihre notwendige Betriebstemperatur erreicht haben beziehungsweise kein quasistationärer Zustand vorliegt. So wird sichergestellt, dass auch in diesen Betriebsphasen Emissionen mit einer guten Genauigkeit berechnet werden können. Entsprechend können über die gesamte Betriebsdauer des Verbrennungsmotors Emissionen bestimmt werden.

[0015] Vorzugsweise werden in einem Verbrennungs-Rohemissionsmodell, welches einen ersten Teil des Emissionsmodells bildet, als Eingangsdaten die geometrischen Motordaten, die Betriebsdaten und Motorsteuerdaten des Verbrennungsmotors, die Daten der Kraftstoffeinspritzung, der Luftmassenstrom und die Kraftstoffzusammensetzung verwendet und anhand modellierter Verbrennungsdaten eine Abgaszusammensetzung und ein Abgasmassenstrom stromabwärts der Brennräume des Verbrennungsmotors berechnet. Da die Betriebsparameter des Ottomotors, wie die Zündzeitpunkte, die Position der Ladungswechselorgane, die Einspritzdrücke und Einspritzzeiten in der Motorsteuereinheit zur Verfügung stehen, können hieraus die physikalischen und chemischen Verbrennungsvorgänge mit guter Näherung durch das Verbrennungs-Rohemissionsmodell modelliert und die Abgaszusammensetzung und -masse bestimmt werden.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform werden als Eingangsdaten eines Abgasnachbehandlungsmodells, welches einen zweiten Teil des Emissionsmodells bildet, die Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells verwendet, wobei in Phasen, in denen die Lambda-Sonde und der Sensor nicht betriebsbereit sind, die über die Motorsteuerdaten ermittelte Kraftstoffmasse als Eingangswert des Verbrennungs-Rohemissionsmodells verwendet wird und in Phasen, in denen die Lambda-Sonde und der Sensor betriebsbereit sind, der mittels der Mess-

werte des Sensors korrigierte Messwert der Lambda-Sonde als Eingangswert des Abgasnachbehandlungsmodells und/oder des Verbrennungs-Rohemissionsmodell verwendet wird. So können einerseits über die gesamte Betriebsdauer Abgasemissionen bestimmt werden und bei Betriebsbereitschaft der Lambda-Sonden auch sehr genaue Vorhersagen durch die Kopplung der realen Messwerte der Lambda-Sonden und daraus resultierend der realen Kraftstoffmasse getroffen werden, da die berechneten Emissionen des Abgasnachbehandlungsmodells insbesondere von der tatsächlich verwendeten Kraftstoffmasse abhängig ist. Es wird somit eine Kopplung der realen Messwerte zum Emissionsmodell erreicht. Das Emissionsmodell kann somit unverändert bleiben und lediglich die vorhandene Kraftstoffmasse angepasst werden.

[0017] Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Emissionsmodell bestehend aus dem Abgasnachbehandlungsmodell und dem Verbrennungs-Rohemissionsmodell in der Motorsteuereinheit integriert wird. So kann auf zusätzliche elektronische Bauteile verzichtet werden und die gesamten Berechnungsschritte zur Bestimmung der Abgasemissionen in der Motorsteuereinheit verwirklicht werden.

[0018] Vorzugsweise werden im Abgasnachbehandlungsmodell zu erwartende Konzentrationen auftretender Emissionskomponenten im Abgasstrom in Abhängigkeit von Umgebungsdaten über physikalische Modelle oder Algorithmen abgelesen oder berechnet. Diese werden in bekannter Weise über Versuche ermittelt. Diese Abgasnachbehandlungsmodelle werden entsprechend für jeden Motortyp hinterlegt oder kalibriert und ermöglichen sehr genaue Vorhersagen.

[0019] Im Verbrennungs-Rohemissionsmodell werden vorzugsweise als Ausgangsdaten die Basisdaten des Verbrennungsprozesses, die Abgaszusammensetzung, der Abgasmassenstrom, das Verbrennungsluftverhältnis des Abgases stromabwärts der Brennräume des Verbrennungsmotors und eine Kraftstoffmasse berechnet. Diese Daten können zur Weiterverarbeitung im Abgasnachbehandlungsmodell aber auch zum Abgleich vorhandener Sensoren genutzt werden.

[0020] Im Abgasnachbehandlungsmodell werden vorzugsweise aus den Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells und bei Betriebsbereitschaft der Lambda-Sonde und des Sensors zusätzlich aus dem korrigierten Messwert der Lambda-Sonde, welcher durch den Vergleich der mittels des Sensors gemessenen Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration mit der korrespondierenden im Emissionsmodell berechneten Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration entsteht, die Abgaszusammensetzung, ein Abgasmassenstrom, Abgastemperaturen und eine Sauerstoffkonzentration, eine Ammoniakkonzentration und eine Stickoxidkonzentration stromabwärts jeder Abgasnachbehandlungseinrichtung berechnet. Auf diese Weise werden an jeder Position der Abgasnachbehandlungsanlage die Emissionen zuverlässig bestimmt. Dies kann beispielsweise bei der On-Board-Diagnose genutzt werden, um gegebenenfalls, fehlerhafte Sensoren, Aktuatoren oder nicht mehr korrekt arbeitende Katalysatoren oder Filter zu identifizieren. Es werden jedoch auch die Vorgaben gesetzlicher Vorschriften durch eine kontinuierliche Ermittlung der Abgaszusammensetzung und Abgasmassen während der gesamten Betriebsdauer erfüllt.

[0021] Des Weiteren hat es sich herausgestellt, dass es vorteilhaft ist, wenn bei Ermittlung eines Sauerstoffüberschusses, die über den Sensor gemessene Stickoxidkonzentration zur Korrektur des Messwertes der Lambda-Sonde genutzt wird, während bei Ermittlung eines Sauerstoffmangels, also eher beim Ottomotor, die über den Sensor gemessene Ammoniakkonzentration zur Korrektur der Messwerte der Lambda-Sonde genutzt wird. Es hat sich gezeigt, dass bei Verwendung dieser Messwerte eine Verbesserung des Emissionsmodells erreicht wird, über welches in diesem Fall besonders realitätsnahe Ergebnisse erreicht werden.

[0022] Vorzugsweise dient der zumindest eine, im Abgasnachbehandlungsmodell berechnete Wert der Sauerstoffkonzentration, der Ammoniakkonzentration und/oder der Stickoxidkonzentration stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage als Prozessvariable und der entsprechende Messwert des Sensors dient als Sollwert eines PID-Reglers. In Abhängigkeit des Regelwertes des Sensors wird auf eine Fehlerabweichung des Messwertes der Lambda-Sonde geschlossen, deren Messwert in Abhängigkeit des ermittelten Regelwertes des Sensors korrigiert wird. So wird ein geschlossener Regelkreis geschaffen, durch den die berechneten Werte der

Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration an die reale Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration angepasst werden und somit auch die real eingespritzte Kraftstoffmasse in Abhängigkeit der Messwerte des Sensors sehr genau bestimmt werden kann. Der Einfluss von Messfehlern an der Lambda-Sonde durch Alterung und Drift werden so durch das Modell ausgeglichen.

[0023] In einer weiterführenden Ausführungsform wird der Messwert der Lambda-Sonde zur Berechnung der eingespritzten Kraftstoffmasse um maximal 5% korrigiert. So werden zu große Verschiebungen, die beispielsweise durch Funktionsstörungen der Lambda-Sonde entstehen können, vermieden.

[0024] Es wird somit eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors zur Verfügung gestellt, mit dem die gesetzlichen Vorgaben einer in allen Betriebszuständen möglichen Ermittlung der Abgasemissionen erfüllt werden können. Die dabei über entsprechende Modelle ermittelten Werte weisen eine hohe Genauigkeit auf, da bei der Berechnung eine Korrektur durch die Einbeziehung realer Sensordaten erfolgt.

[0025] Ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Otto-Verbrennungsmotors ist in der Figur schematisch dargestellt und wird mit dem zugehörigen erfindungsgemäßen Verfahren im Folgenden anhand der Figur beschrieben.

[0026] Die erfindungsgemäße Vorrichtung besteht aus einem Verbrennungsmotor 10, dem über einen Luftzufuhrkanal 12, in dem eine Drosselklappe 14 zur Regelung der Luftmenge angeordnet ist, Luft zugeführt wird. Diese Luft gelangt in Brennräume 15 des Verbrennungsmotors 10, in welchen über Einspritzventile 16 aus einer Rail-Leiste 18 Benzin eingespritzt wird. Das Benzin wird mit der Luft in den Brennräumen 15 verdichtet und durch die Kolbenbewegung wieder aus den Brennräumen 15 ausgestoßen. Von hier gelangen die Verbrennungsprodukte, welche die Rohemissionen des Verbrennungsmotors 10 bilden, in einen Abgaskanal 20. In diesem Abgaskanal 20 ist eine Abgasnachbehandlungsanlage 22 ausgebildet, über die Schadstoffe aus den Rohemissionen katalytisch umgewandelt und gefiltert werden, um die schädlichen Abgasemissionen am Ende der Abgasnachbehandlungsanlage 22 entsprechend der gesetzlichen Vorschriften zu verringern.

[0027] In der Abgasnachbehandlungsanlage 22 ist stromabwärts der Brennräume 15 des Verbrennungsmotors 10 eine Lambda-Sonde 24 angeordnet, mit der das Verbrennungsluftverhältnis über den unmittelbar gemessenen Restsauerstoffgehalt bestimmt wird. Über dieses Verbrennungsluftverhältnis kann auch in bekannter Weise die eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet werden. Diese Lambda-Sonde 24 befindet sich stromaufwärts eines ersten und am nächsten zu den Brennräumen 15 des Verbrennungsmotors 10 angeordneten Dreiwegekatalysators 26, in dem neben weiteren Umwandlungen vor allem das im Rohabgas vorhandene Kohlenstoffmonoxid, die Stickoxide und unverbrannte Kohlenwasserstoffe in Kohlenstoffdioxid, Stickstoff und Wasser umgewandelt werden. Stromabwärts dieses ersten Dreiwegekatalysators 26 ist in der Abgasnachbehandlungsanlage 22 eine weitere Lambda-Sonde 28 angeordnet, über die der verbleibende Restsauerstoffgehalt gemessen wird, so dass der Wirkungsgrad des Dreiwegekatalysators 26 überwacht werden kann. Das Abgas strömt von hier aus weiter zu einem Partikelfilter 30, in dem Rußpartikel aus der Verbrennung ausgefiltert werden, und der stromaufwärts eines zweiten Dreiwegekatalysators 32 angeordnet ist, in dem die noch nicht umgewandelten Kohlenstoffmonoxide, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe in Kohlenstoffdioxid, Stickstoff und Wasser umgewandelt werden. Anschließend gelangt das Abgas zu einem Sensor 34, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel als Multigassensor ausgeführt ist, und über den die dort vorhandene Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und Stickoxidkonzentration gemessen wird. Es ist jedoch auch möglich, an dieser Stelle lediglich einen Sensor zur Messung einer der genannten Konzentrationen anzuordnen oder auch drei einzelne Sensoren, von denen jeder zur Messung der Konzentration einer der genannten Abgaskomponenten dient. Das Abgas verlässt anschließend über einen Auslass 35 den Abgastrakt und die Abgasnachbehandlungsanlage 22.

[0028] Der Verbrennungsmotor 10 wird über eine Motorsteuereinheit 36 angesteuert, welche so-

wohl die Stellung der Drosselklappe 14 als auch die Einspritzdrücke und Einspritzzeiten der Einspritzventile 16 sowie weitere Aktuatoren regelt. Eine Schnittstelle 38 der Motorsteuereinheit 36 ist entsprechend über elektrische Verbindungen mit den jeweiligen Stellern und Sensoren verbunden und weist auch Verbindungen 40 zu den Lambda-Sonden 24, 28 und dem Sensor 34 auf.

[0029] Erfindungsgemäß ist in der Motorsteuereinheit 36 zusätzlich ein Emissionsmodell 42 integriert, über welches aus den vorhandenen Daten die auftretenden Emissionen über empirische und physikalische Modelle berechnet werden. Dieses Emissionsmodell 42 wird durch Versuche an den entsprechenden Motoren kalibriert oder parametrisiert.

[0030] Im vorliegenden Fall besteht das Emissionsmodell 42 aus einem Verbrennungs-Rohemissionsmodell 44, über welches Rohemissionen aus den Betriebsdaten des Verbrennungsmotors 10 berechnet werden und einem Abgasnachbehandlungsmodell 46, über welches aus den Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells 44 die Emissionen am Auslass 35 der Abgasnachbehandlungsanlage 22 berechnet werden. Das Verbrennungs-Rohemissionsmodell 44 wird hierzu mit den Betriebsdaten des Verbrennungsmotors 10 versorgt. Diese Betriebsdaten, die als Eingangsdaten dienen sind insbesondere die geometrischen Motordaten, die Betriebsdaten und Motorsteuerdaten des Verbrennungsmotors, also Zünd- und Einspritzzeitpunkte in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels, Betriebsdrücke und -temperaturen, der Lastzustand, die Kurbelwellengeschwindigkeit, die Daten der Kraftstoffeinspritzung, der Luftmassenstrom in Abhängigkeit der Stellung der Drosselklappe und der Ventilsteuerzeiten, gegebenenfalls vorhandene Daten der Abgasrückführung, Verdichtungsverhältnisse und die Kraftstoffzusammensetzung. Hierzu wird aus dem Kraftstoffdruck und den Ventilöffnungszeiten der Einspritzventile 16 zunächst eine eingespritzte Kraftstoffmasse errechnet werden. Diese dient dann mit den ermittelten Verbrennungsdaten sowie der Luftmasse und dem Restgasanteil zur Berechnung einer Abgaszusammensetzung und eines Abgasmassenstroms stromabwärts der Brennräume 15 des Verbrennungsmotors 10 im Verbrennungs-Rohemissionsmodell 44.

[0031] Diese Daten dienen im Weiteren als Eingangsdaten des Abgasnachbehandlungsmodells 46. In diesem werden die Umwandlungsvorgänge der beiden Dreiwegekatalysatoren 26, 32 und des Partikelfilters 30 simuliert, so dass aus der Rohabgaszusammensetzung und dem Rohabgasmassenstrom eine Abgaszusammensetzung und ein Abgasmassenstrom am Auslass 35 berechnet werden können, wobei die Abgaszusammensetzung insbesondere Werte für die Stickoxidkonzentration, die Ammoniakkonzentration und die Sauerstoffkonzentration beinhaltet.

[0032] Sobald die Lambda-Sonde 24 und der Sensor 34 betriebsbereit sind und die Trimmregelung des ersten Dreiwegekatalysators 26 und/oder des zweiten Dreiwegekatalysators (32) in der Motorsteuereinheit 36 freigegeben wurde, erfolgt eine Korrektur der eingespritzten Kraftstoffmasse zur Berechnung der Emissionen. Hierzu werden in einem ersten Schritt die Messwerte der ersten Lambda-Sonde 24 genutzt, um hieraus die eingespritzte Kraftstoffmasse zu berechnen, welche indirekt über die geänderte Rohabgaszusammensetzung des Verbrennungs-Rohemissionsmodells in das Abgasnachbehandlungsmodell eingeht.

[0033] In einem zweiten Schritt werden die über das Abgasnachbehandlungsmodell 46 berechneten Werte der Stickoxidkonzentration, der Ammoniakkonzentration und der Sauerstoffkonzentration stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage 22 mit den korrespondierenden Messwerten des Sensors 34 verglichen. Liegen hier Differenzen vor, wird darauf geschlossen, dass die Messwerte der Lambda-Sonde 24 Abweichungen zu den real vorhandenen Werten aufweisen. Daraufhin wird in drei Regelkreisen, insbesondere über einen PID-Regler, der Messwert der Lambda-Sonde 24 derart korrigiert, dass die modellierten Werte der Stickoxidkonzentration, der Ammoniakkonzentration und der Sauerstoffkonzentration an der Position des Sensors 34 bei Berechnung über das Abgasnachbehandlungsmodell 46 in Richtung der Messwerte des Sensors 34 verschoben wird. Da es sich im vorliegenden Fall um drei getrennte Regelkreise handelt, über die unterschiedliche korrigierte Messwerte an der Lambda-Sonde ermittelt werden können, werden im Folgenden aus den korrigierten Messwerten der Lambdasonde durch eine Mittelwertbildung oder auch durch Gewichtung der einzelnen gewonnen korrigierten Messwerte ein abschließender korrigierter Messwert berechnet, der im Folgenden als Eingangswert für das Emissions-

modell 42 dient.

Die hierbei vorgenommene Fehlerkorrektur der Messwerte der Lambdasonde 24 wird auf beispielsweise 5% begrenzt. Diese Korrektur erfolgt in einer Recheneinheit 48, die in der Motorsteuereinheit 36 integriert ist und in der somit die Messwerte der Lambda-Sonde 24 mittels der Messwerte des Sensors 34 korrigiert werden und mittels dieser korrigierten Werte eine pro Arbeitsspiel eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet wird, welche im Folgenden als Führungsgröße zur Berechnung einer Abgaszusammensetzung stromabwärts jeder Abgasnachbehandlungseinrichtung, einem Abgasmassenstrom, den Abgastemperaturen sowie den Stickoxidkonzentrationen, den Ammoniakkonzentrationen und den Sauerstoffkonzentrationen stromabwärts jeder Abgasnachbehandlungseinrichtung 26, 30, 32 dient.

[0034] Mit diesem Verfahren wird somit sichergestellt, dass das Emissionsmodell mit sehr genauen Eingangsdaten betrieben wird, sobald die stetige Lambdaregelung und die Trimmregelung des Katalysators einsetzt, da die im Modell verwendete Kraftstoffmasse den realen Verhältnissen weitestgehend entspricht, so dass Fehler aus der modellseitigen Berechnung der Kraftstoffmasse ausgeglichen werden. Zusätzlich werden Abweichungen der Lambda-Sonde ausgeglichen, welche durch Alterung, Fertigungstoleranzen oder Einbauungenauigkeiten auftreten können.

[0035] Es sollte deutlich sein, dass sich der Verbrennungsmotor in seinem Aufbau von dem dargestellten Aufbau ebenso unterscheiden kann, wie die Abgasnachbehandlungsanlage. So eignet sich das Verfahren sowohl für Otto-Motoren als auch für Dieselmotoren, deren Abgasnachbehandlungsanlage üblicherweise aus zumindest einem SCR-Katalysator, einem Oxidationskatalysator, einem Ammoniak-schlupfkatalysator und einem Dieselpartikelfilter besteht. Auch können selbstverständlich zusätzliche Bauteile vorhanden sein, wie Abgasrückführungen oder weitere Katalysatoren und Filter, Sekundärlufteinrichtungen und andere Komponenten, was dazu führt, dass unterschiedliche Emissionsmodelle verwendet werden müssen, beziehungsweise für jeden Motor das Emissionsmodell kalibriert beziehungsweise parametrisiert werden muss. Auch sei darauf hingewiesen, dass lediglich eine der ermittelten Konzentrationen zur Korrektur der ersten Lambda-Sonde und des Abgasnachbehandlungsmodells, insbesondere durch Adaption der Parameter durch Berücksichtigung der Alterung genutzt werden kann. Insbesondere hat es sich gezeigt, dass bei Verwendung eines Dieselmotors und somit einem üblicherweise vorhandenen Sauerstoffüberschuss die gemessene Stickoxidkonzentration vorteilhaft zur Korrektur des Messwertes der Lambda-Sonde genutzt werden kann, während bei einem Ottomotor, wie er hier beschrieben wurde, und der eher mit einem Sauerstoffmangel betrieben wird, die gemessene Ammoniakkonzentration zur Korrektur der Messwerte der Lambda-Sonde besonders geeignet ist, so dass gegebenenfalls lediglich einer der Messwerte des Sensors zur Korrektur herangezogen wird. Auch können mehrere einzelne Sensoren anstatt des Multigassensors verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10), der eine Abgasnachbehandlungsanlage (22) mit mindestens zwei Katalysatoren (26, 32) und einem Partikelfilter (30) aufweist, wobei stromaufwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) und stromabwärts von Brennräumen (15) des Verbrennungsmotors (10) eine Lambdasonde (24) angeordnet ist und stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) ein Sensor (34) zur Messung der Stickoxidkonzentration, der Ammoniakkonzentration und/oder der Sauerstoffkonzentration im Abgasstrom angeordnet ist, wobei nach Erreichen der Betriebsbereitschaft der Lambda-Sonde (24) und des Sensors (34)
 - mittels der Lambda-Sonde (24), eine Sauerstoffkonzentration im Abgasstrom zur Bestimmung einer eingespritzten Kraftstoffmasse gemessen wird,
 - in Abhängigkeit der Messwerte der Lambda-Sonde (24) eine eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet wird, welche als Eingangswert eines Emissionsmodells (42) dient,
 - die Abgasemissionen stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) mittels des Emissionsmodells (42) berechnet werden,
 - zumindest einer der Messwerte des Sensors (34) mit der im Emissionsmodell (42) berechneten Stickoxidkonzentration, Ammoniakkonzentration und der Sauerstoffkonzentration verglichen wird, und
 - bei Abweichung des zumindest einen über das Emissionsmodell (42) berechneten Wertes von dem entsprechenden durch den Sensor (34) gemessenen Wert auf einen Fehler im Emissionsmodell (42) oder an der Lambdasonde (24) oder dem Sensor (34) geschlossen wird.
2. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
bei Vorliegen eines Fehlers die berechneten Werte des Emissionsmodells (42) durch Berücksichtigung des zumindest einen Messwerts des Sensors (34) korrigiert werden.
3. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
mittels des Emissionsmodells (42) eine aufgrund der Messwerte der Lambda-Sonde (24) zu erwartende Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) berechnet wird, im Folgenden ein Vergleich zumindest der Messwerte der mittels des Sensors (34) gemessenen Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration mit den korrespondierenden, berechneten Werten der Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration aus dem Emissionsmodell (42) durchgeführt wird,
bei Abweichung der Messwerte des Sensors (34) von den korrespondierenden berechneten Werten des Emissionsmodells (42) der Messwert der Lambda-Sonde (24) in Abhängigkeit der Messwerte des Sensors (34) korrigiert und die eingespritzte Kraftstoffmasse aus dem korrigierten Messwert berechnet wird, und
im Folgenden die Abgasemissionen stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) mittels der korrigierten Kraftstoffmasse über das Emissionsmodell (42) berechnet werden.
4. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
in Phasen, in denen die Lambda-Sonde (24) oder der Sensor (34) nicht betriebsbereit ist oder unplausible Signale liefert, die eingespritzte Kraftstoffmasse sowie die Luftmasse und ein Restgasanteil aus den Motorsteuerdaten eingelesen werden.
5. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass

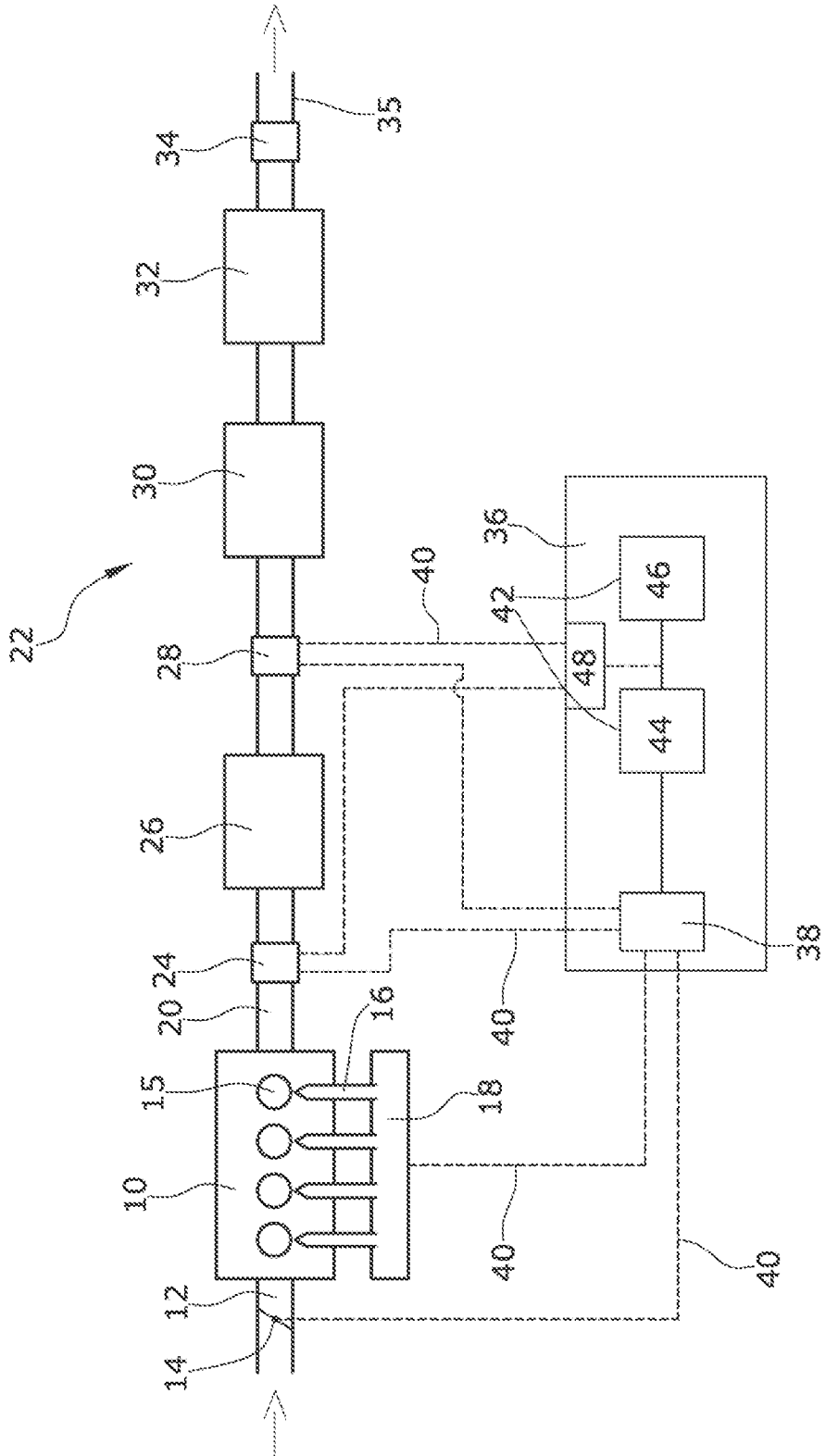
in einem Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44), welches einen ersten Teil des Emissionsmodells (42) bildet, als Eingangsdaten die geometrischen Motordaten, die Betriebsdaten und Motorsteuerdaten des Verbrennungsmotors (10), die Daten der Kraftstoffeinspritzung, der Luftmassenstrom und die Kraftstoffzusammensetzung verwendet werden und anhand modellierter Verbrennungsdaten eine Abgaszusammensetzung und ein Abgasmassenstrom stromabwärts der Brennräume (15) des Verbrennungsmotors (10) berechnet werden.

6. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
als Eingangsdaten eines Abgasnachbehandlungsmodells (46), welches einen zweiten Teil des Emissionsmodells (42) bildet, die Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells (44) verwendet werden, wobei in Phasen, in denen die Lambda-Sonde (24) und der Sensor (34) nicht betriebsbereit sind, die aus den Motorsteuerdaten ermittelte Kraftstoffmasse als Eingangswert des Verbrennungs-Rohemissionsmodells (44) verwendet wird und in Phasen, in denen die Lambda-Sonde (24) und der Sensor (34) betriebsbereit sind, der über die Messwerte des Sensors (34) korrigierte Messwert der Lambda-Sonde (24) als Eingangswert des Abgasnachbehandlungsmodells (46) und/oder des Verbrennungs-Rohemissionsmodells (44) verwendet wird.
7. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Emissionsmodell (42) bestehend aus dem Abgasnachbehandlungsmodell (46) und dem Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) in einer Motorsteuereinheit (36) integriert wird.
8. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach Anspruch 6 und 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
im Abgasnachbehandlungsmodell (46) zu erwartende Konzentrationen auftretender Emissionskomponenten im Abgasstrom in Abhängigkeit von Umgebungsdaten über physikalische Modelle oder Algorithmen abgelesen oder berechnet werden.
9. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach einem der Ansprüche 5 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
im Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) als Ausgangsdaten die Basisdaten des Verbrennungsprozesses, die Abgaszusammensetzung, der Abgasmassenstrom, das Verbrennungsluftverhältnis des Abgases stromabwärts der Brennräume (15) des Verbrennungsmotors (10) und eine Kraftstoffmasse berechnet werden.
10. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
im Abgasnachbehandlungsmodell (46) aus den Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells (44) und bei Betriebsbereitschaft der Lambda-Sonde (24) und des Sensors (34) zusätzlich aus dem korrigierten Messwert der Lambda-Sonde (24), welcher durch den Vergleich der mittels des Sensors (34) gemessenen Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration mit der korrespondierenden im Emissionsmodell (42) berechneten Sauerstoffkonzentration, Ammoniakkonzentration und/oder Stickoxidkonzentration entsteht, die Abgaszusammensetzung, ein Abgasmassenstrom, Abgastemperaturen und eine Sauerstoffkonzentration, eine Ammoniakkonzentration und eine Stickoxidkonzentration stromabwärts jeder Abgasnachbehandlungseinrichtung (26, 30, 32) berechnet werden.
11. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass

- bei Ermittlung eines Sauerstoffüberschusses die aus dem Messwert des Sensors (34) bestimmte Stickoxidkonzentration zur Korrektur des Messwertes der Lambda-Sonde (24) genutzt wird.
12. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
bei Ermittlung eines Sauerstoffmangels die aus dem Messwert des Sensors (34) bestimmte Ammoniakkonzentration zur Korrektur der Messwerte der Lambda-Sonde (24) genutzt wird.
 13. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zumindest eine im Abgasnachbehandlungsmodell (46) berechnete Wert der Sauerstoffkonzentration, der Ammoniakkonzentration und/oder der Stickoxidkonzentration stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) als Prozessvariable und der entsprechende Messwert des Sensors (34) als Sollwert eines PID-Reglers dienen, und in Abhängigkeit des Regelwertes des Sensors (34) auf eine Fehlerabweichung des Messwertes der Lambda-Sonde (24) geschlossen wird, deren Messwert in Abhängigkeit des ermittelten Regelwertes des Sensors (34) korrigiert wird.
 14. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Messwert der Lambda-Sonde (24) zur Berechnung der eingespritzten Kraftstoffmasse um maximal 5% korrigiert wird.
 15. Vorrichtung zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Verbrennungsmotors (10) mit einer Abgasnachbehandlungsanlage (22), einer Lambda-Sonde (24), welche stromabwärts von Brennräumen (15) des Verbrennungsmotors (10) und stromaufwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) angeordnet ist, und einem Sensor (34) zur Messung der Stickoxidkonzentration, der Ammoniakkonzentration und/oder der Sauerstoffkonzentration im Abgasstrom, welcher stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) angeordnet ist, und einer Motorsteuereinheit (36), in der ein Emissionsmodell (42) integriert ist, welches ein Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) aufweist, über welches Rohemissionen aus den Betriebsdaten des Verbrennungsmotors (10) berechenbar sind, und ein Abgasnachbehandlungsmodell (46) aufweist, über welches die Emissionen stromabwärts der Abgasnachbehandlungsanlage (22) aus den Rohemissionsdaten berechenbar sind,
dadurch gekennzeichnet, dass
in der Motorsteuereinheit (36) eine Recheneinheit (48) integriert ist, in der aus den Messwerten der Lambda-Sonde (24) und den Messwerten des Sensors (34) eine Kraftstoffmasse berechenbar ist, welche als Eingangssignal des Verbrennungs-Rohemissionsmodells (44) und/oder des Abgasnachbehandlungsmodells (46) dient.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

-1/1-



Figur 1