

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50092/2024
(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:
Luef Reinhard Dipl.-Ing. Dr.
8052 Graz (AT)
Klumaier Kurt Dipl.-Ing.
8112 Gratwein-Straßengel (AT)
Lichtenberger Peter Dr.techn.
8041 Graz-Liebenau (AT)

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

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

(57) Es wird eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) mit einer Abgasnachbehandlungsanlage (22) vorgeschlagen, welche eine erste Lambda-Sonde aufweist, welche stromabwärts von Brennräumen (15) des Ottomotors (10) und stromaufwärts eines am nächsten zu den Brennräumen (15) des Ottomotors (10) angeordneten, ersten Dreiwegekatalysators (26) angeordnet ist, und welche eine zweite Lambda-Sonde aufweist, welche stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators (26), stromabwärts oder stromaufwärts eines ersten Ottopartikelfilters (30) und stromaufwärts eines zweiten Dreiwegekatalysators (32) angeordnet ist, und welche eine Motorsteuereinheit (36) aufweist, in der ein Emissionsmodell (42) integriert ist, welches ein Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) aufweist, über welches Rohemissionen aus den Betriebsdaten des Ottomotors (10) berechnet werden, und ein Abgasnachbehandlungsmodell (46) aufweist, über welches die Emissionen am Auslass der Abgasnachbehandlungsanlage (22) aus den Rohemissionsdaten berechnet werden. Dabei wird mittels der ersten Lambda-Sonde (24) ein erstes

Verbrennungsluftverhältnis im Abgasstrom zur Bestimmung einer ersten eingespritzten Kraftstoffmasse gemessen und in Abhängigkeit der Messwerte der ersten Lambda-Sonde (24) eine eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet, welche als Eingangswert des Emissionsmodells (42) dient. Hieraus werden im Folgenden die Abgasemissionen am Auslass der Abgasnachbehandlungsanlage (22) berechnet.

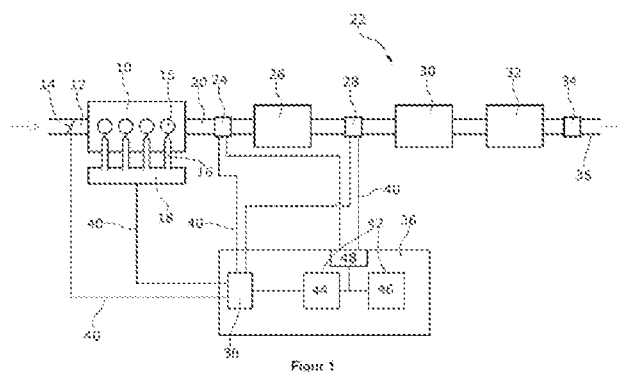


Figure 1

Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR VORHERSAGE VON ABGASEMISSIONEN EINES OTTOMOTORS

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors sowie eine Vorrichtung zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors mit einer Abgasnachbehandlungsanlage, welche eine erste Lambda-Sonde aufweist, welche stromabwärts von Brennräumen des Ottomotors und stromaufwärts eines am nächsten zu den Brennräumen des Ottomotors angeordneten, ersten Dreiwegekatalysators angeordnet ist, und welche eine zweite Lambda-Sonde aufweist, welche stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators und stromaufwärts eines zweiten Dreiwegekatalysators und stromaufwärts oder stromabwärts eines Ottopartikelfilters angeordnet ist, und welche eine Motorsteuereinheit aufweist, in der ein Verbrennungs-Rohemissionsmodell integriert ist, über welches Rohemissionen aus den Betriebsdaten des Ottomotors berechenbar sind, und ein Abgasnachbehandlungsmodell integriert ist, über welches die Emissionen am Auslass der Abgasnachbehandlungsanlage aus den Rohemissionsdaten berechenbar sind.

[0002] Abgasnachbehandlungsanlagen moderner Ottomotoren weisen zur gesetzekonformen Schadstoffminimierung mindestens zwei Dreiwegekatalysatoren und einen Ottopartikelfilter 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 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. 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 Dreiwegekatalysator und stromabwärts der Brennräume des Ottomotors angeordnet ist.

[0004] Da der Messwert der ersten 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 Ottomotors diese Messwerte zur Verfügung stehen. Erst nach Feststellen der Betriebsbereitschaft der ersten 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 Ottomotors bereit zu stellen, mittels derer über die gesamte Betriebsdauer eine möglichst exakte Vorhersage der Abgasemissionen erreicht wird und insbesondere Fehler bei der Berechnung der Abgasemissionen aufgrund fehlerhafter bei der Berechnung zugrunde gelegter eingespritzter Kraftstoffmassen als Eingangswert des Abgas-

emissionsmodells vermieden werden.

[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 Ottomotors weist eine Abgasnachbehandlungsanlage auf, die zumindest aus einem ersten Dreiwegekatalysator, einem zweiten stromabwärtigen Dreiwegekatalysator und einem Ottopartikelfilter besteht. Zusätzlich ist eine erste Lambda-Sonde stromabwärts von Brennräumen des Ottomotors und stromaufwärts des ersten, am nächsten zu den Brennräumen des Ottomotors angeordneten Dreiwegekatalysators angeordnet. Eine zweite Lambda-Sonde ist stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators und stromaufwärts oder stromabwärts des Ottopartikelfilters und stromaufwärts des zweiten Dreiwegekatalysators angeordnet. Des Weiteren weist die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Motorsteuereinheit auf, über die auch die Steuerung des Ottomotors und seiner Aktuatoren erfolgen kann und in der ein Emissionsmodell integriert ist, welches ein Verbrennungs-Rohemissionsmodell aufweist, über welches Rohemissionen aus den Betriebsdaten des Ottomotors 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 Ottomotors gelangen. Das Verbrennungs-Rohemissionsmodell dient somit als eine Art virtueller Sensor. In diesem Verbrennungs-Rohemissionsmodell werden aus den Steuerdaten des Ottomotors 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 am Auslass 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. Zusätzlich ist in der Motorsteuereinheit eine Recheneinheit integriert, welche auch Teil des Emissionsmodells sein kann. In dieser Recheneinheit ist erfindungsgemäß aus den Messwerten der ersten Lambda-Sonde und der zweiten Lambda-Sonde eine Kraftstoffmasse berechenbar, welche als Eingangssignal des Abgasnachbehandlungsmodells und/oder des Verbrennungs-Rohemissionsmodells dient. Entsprechend wird das Emissionsmodell nicht nur mit den virtuellen Werten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells versorgt, sondern erhält für die dort durchgeführten Berechnungen als Ausgangswerte auch die real im Ottomotor 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 beiden Lambdasensoren kann so eine Eingangsgaszusammensetzung ermittelt werden, die der realen Gaszusammensetzung im Abgas vor dem Nachbehandlungssystem 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.

[0009] Beim erfindungsgemäßen Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors, der eine Abgasnachbehandlungsanlage mit einer ersten Lambda-Sonde, welche stromabwärts von Brennräumen des Ottomotors und stromaufwärts eines am nächsten zu den Brennräumen des Ottomotors angeordneten, ersten Dreiwegekatalysators angeordnet ist, und einer

zweiten Lambda-Sonde, welche stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators und stromaufwärts eines zweiten Dreiwegekatalysators und stromaufwärts oder stromabwärts eines Ottopartikelfilters angeordnet ist, aufweist, wird nach Erreichen der Betriebsbereitschaft der beiden Lambda-Sonden mittels der ersten Lambda-Sonde ein erstes Verbrennungsluftverhältnis im Abgasstrom zur Bestimmung einer ersten eingespritzten Kraftstoffmasse gemessen. In Abhängigkeit der Messwerte der ersten Lambda-Sonde wird daraufhin eine eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet, welche als Eingangswert eines Emissionsmodells dient. Im Folgenden werden die Abgasemissionen am Auslass der Abgasnachbehandlungsanlage, also die Endrohremissionen mittels des Emissionsmodells berechnet. Dies hat zur Folge, dass die Kraftstoffmasse, welche vom Emissionsmodell genutzt wird, nicht die Kraftstoffmasse ist, welche sich aus den Steuerdaten des Ottomotors, also den Öffnungszeiten der Einspritzventile, den Einspritzzeiten und dem Kraftstoffdruck ergibt, sondern bei der Berechnung im Emissionsmodell auf die tatsächlich vorhandene Kraftstoffmasse, welche aus den entsprechenden Messungen am Auslass der Brennräume resultiert, zurückgegriffen wird. Hierdurch können die Emissionen, welche über das Emissionsmodell berechnet werden, deutlich genauer bestimmt werden. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass nicht die unmittelbar aus den Werten der ersten Lambda-Sonde resultierende Kraftstoffmasse als Eingangswert des Emissionsmodells genutzt werden muss. Vielmehr besteht die Möglichkeit die Messwerte der ersten Lambda-Sonde in Abhängigkeit anderer Betriebsdaten auch noch zusätzlich zu korrigieren.

[0010] Entsprechend wird vorzugsweise zusätzlich mittels der zweiten Lambda-Sonde, ein Verbrennungsluftverhältnis stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators im Abgasstrom zur Bestimmung des Luft-Kraftstoffverhältnisses gemessen. Somit wird aus den Messwerten der ersten Lambda-Sonde und der zweiten Lambda-Sonde ein Verbrennungsluftverhältnis stromabwärts der Brennräume des Ottomotors und stromaufwärts des am nächsten zu den Brennräumen des Ottomotors angeordneten, ersten Dreiwegekatalysators berechnet, aus dem eine eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet wird, welche als Eingangswert des Emissionsmodells dient. Somit werden die Messwerte der ersten Lambda-Sonde in Abhängigkeit der Messwerte der zweiten Lambda-Sonde noch einmal korrigiert. Dies verbessert die Vorhersagegüte der im Emissionsmodell berechneten Emissionen zusätzlich, da Fehler in den Messwerten der ersten Lambda-Sonde, welche durch Alterung, ungenaue Einbaulage oder vorhandenen Fertigungstoleranzen minimiert werden.

[0011] In einer hierzu weiterführenden Ausführung des Verfahrens wird mittels des Emissionsmodells ein aufgrund der Messwerte der ersten Lambda-Sonde zu erwartendes Verbrennungsluftverhältnis an der zweiten Lambda-Sonde stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators berechnet und im Folgenden ein Vergleich der Messwerte des mittels der zweiten Lambda-Sonde gemessenen Verbrennungsluftverhältnisses durch Berücksichtigung des aus dem Emissionsmodell berechneten zu erwartenden Verbrennungsluftverhältnisses an der zweiten Lambda-Sonde durchgeführt.

Weicht das gemessene Verbrennungsluftverhältnisses an der zweiten Lambda-Sonde vom über das Emissionsmodell berechneten Verbrennungsluftverhältnis an der zweiten Lambda-Sonde ab, wird der Messwert der ersten Lambda-Sonde entsprechend korrigiert und die eingespritzte Kraftstoffmasse vor dem ersten Dreiwegekatalysator entsprechend in Abhängigkeit dieses korrigierten Messwertes der Lambda-Sonde berechnet. Im Folgenden werden die Abgasemissionen am Auslass der Abgasnachbehandlungsanlage mittels der korrigierten Kraftstoffmasse berechnet. Es hat sich gezeigt, dass durch die Verwendung der realen Messwerte der ersten und der zweiten Lambda-Sonde zur Bestimmung der eingespritzten Kraftstoffmasse sehr genaue Vorhersagen zur Abgaszusammensetzung und Abgasmenge am Auslass der Abgasnachbehandlungsanlage ergeben. Das Emissionsmodell muss dabei während der gesamten Lebensdauer nicht geändert werden, da Fehler bei der Berechnung der Kraftstoffmasse durch Ungenauigkeiten der Steuerdaten des Ottomotors oder der Messwerte der ersten Lambda-Sonde weitestgehend ausgeglichen werden können.

[0012] Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn in Phasen, in denen die erste Lambda-Sonde nicht betriebsbereit ist oder ein unplausibles Signal liefert, die eingespritzte Kraftstoffmasse sowie die

Luftmasse und ein Restgasanteil aus den Motorsteuerdaten eingelesen wird. Dies ist beispielsweise während der Warmlaufphase des Ottomotors notwendig, wenn die Lambda-Sonden noch nicht ihre notwendige Betriebstemperatur erreicht haben. So wird sichergestellt, dass auch in diesen Betriebsphasen Emissionen berechnet werden können. Entsprechend können über die gesamte Betriebsdauer des Ottomotors Emissionen bestimmt werden.

[0013] Vorzugsweise werden in einem Verbrennungs-Rohemissionsmodell, welches einen ersten Teil des Emissionsmodells bildet, als Eingangsdaten die geometrischen Motordaten, die Betriebsdaten und Motorsteuerdaten des Ottomotors, die Daten der Kraftstoffeinspritzung, der Luftmassenstrom und die Kraftstoffzusammensetzung verwendet und anhand modellierter Verbrennungsdaten eine Abgaszusammensetzung und ein Abgasmassenstrom stromabwärts der Brennräume des Ottomotors 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.

[0014] In einer bevorzugten Ausführungsform werden als Eingangsdaten eines Abgasnachbehandlungsmodells, welches einen zweiten Teil des Emissionsmodells bildet, die Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells verwendet werden, wobei in Phasen, in denen die erste Lambda-Sonde nicht betriebsbereit ist, die über das Verbrennungs-Rohemissionsmodell ermittelte Kraftstoffmasse als Eingangswert verwendet wird, wobei in Phasen, in denen die zweite Lambda-Sonde nicht betriebsbereit ist oder ein unplausibles Signal liefert, die erste Lambda-Sonde hingegen betriebsbereit ist, die über das Verbrennungs-Rohemissionsmodell ermittelte Kraftstoffmasse als Eingangswert verwendet wird, und in Phasen, in denen beide Lambda-Sonden betriebsbereit sind, der korrigierte Messwert der ersten Lambda-Sonde aus dem vorangegangenen Fahrzyklus als Eingangswert des Abgasnachbehandlungsmodells und/oder des Verbrennungs-Rohemissionsmodells 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.

[0015] Als Eingangsdaten des Abgasnachbehandlungsmodells dienen die Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells und in Phasen, in denen die Lambdasensoren betriebsbereit sind, werden zusätzlich die Messwerte der ersten und der zweiten Lambda-Sonde als Eingangswerte für das Verbrennungs-Rohemissionsmodell und/oder das Abgasnachbehandlungsmodell verwendet. Dabei dient der Messwert der zweiten Lambda-Sonde zur Korrektur der Messwerte der ersten Lambda-Sonde, um die Kraftstoffmasse möglichst exakt bestimmen zu können.

[0016] 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.

[0017] 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.

[0018] Im Verbrennungs-Rohemissionsmodell werden vorzugsweise als Ausgangsdaten die Basisdaten des Verbrennungsprozesses, die Abgaszusammensetzung, der Abgasmassenstrom, das Verbrennungsluftverhältnis des Abgases stromabwärts der Brennräume des Ottomotors und

eine Kraftstoffmasse berechnet. Diese Daten können zur Weiterverarbeitung im Abgasnachbehandlungsmodell aber auch zum Abgleich vorhandener Sensoren genutzt werden.

[0019] Im Abgasnachbehandlungsmodell werden vorzugsweise aus den Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells und bei Betriebsbereitschaft der Lambdasensoren zusätzlich aus den durch den Vergleich des berechneten Verbrennungsluftverhältnisses mit den Messwerten des zweiten Lambdasensors korrigierten Messwerten des ersten Lambdasensors die Abgaszusammensetzung, ein Abgasmassenstrom, Abgastemperaturen und ein Verbrennungsluftverhältnis stromaufwärts und 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 -menge während der gesamten Betriebsdauer erfüllt.

[0020] Vorzugsweise dienen das im Abgasnachbehandlungsmodell berechnete Verbrennungsluftverhältnis an der zweiten Lambda-Sonde als Prozessvariable und der Messwert der zweiten Lambda-Sonde als Sollwert eines PID-Reglers. In Abhängigkeit des Regelwertes der zweiten Lambda-Sonde wird auf eine Fehlerabweichung des Messwertes der ersten Lambda-Sonde geschlossen, deren Messwert in Abhängigkeit des ermittelten Regelwertes der zweiten Lambda-Sonde korrigiert wird. So wird ein geschlossener Regelkreis geschaffen, durch den die berechneten Verbrennungsluftverhältnisse an die realen Verbrennungsluftverhältnisse angepasst werden und somit auch die real eingespritzte Kraftstoffmasse in Abhängigkeit der Messwerte des zweiten Sensors sehr genau bestimmt werden kann. Der Einfluss von Messfehlern an der ersten Lambda-Sonde durch Alterung und Drift werden so durch das Modell ausgeglichen.

[0021] In einer weiterführenden Ausführungsform wird der Messwert der ersten Lambda-Sonde zur Berechnung der eingespritzten Kraftstoffmasse um maximal 5% korrigiert. So werden zu große Verschiebungen, die beispielsweise durch Funktionsstörungen der ersten Lambda-Sonde entstehen können, vermieden.

[0022] Es wird somit eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors 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.

[0023] Ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors ist in der Figur schematisch dargestellt und wird mit dem zugehörigen erfindungsgemäßen Verfahren im Folgenden anhand der Figur beschrieben.

[0024] Die erfindungsgemäße Vorrichtung besteht aus einem Ottomotor 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 Ottomotors 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 Ottomotors 10 bilden, in einen Abgaskanal 20. In diesem Abgaskanal 20 ist eine Abgasnachbehandlungsanlage 22 ausgebildet, über die Schadstoffe aus den Rohemissionen katalytisch umgewandelt oder gefiltert werden, um die schädlichen Abgasemissionen am Ende der Abgasnachbehandlungsanlage 22 entsprechend der gesetzlichen Vorschriften zu verringern. In der Abgasnachbehandlungsanlage 22 ist stromabwärts der Brennräume 15 des Ottomotors 10 eine erste 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 erste Lambda-Sonde 24 befindet sich stromaufwärts eines ersten und am nächsten zu den Brennräumen 15 des Ottomotors 10 angeordneten Dreiwegekatalysator 26, in dem neben weiteren Umwandlung-

gen 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 zweite 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 Ottopartikelfilter 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 verlässt das Abgas die Abgasnachbehandlungsanlage 22 über eine dritte Lambda-Sonde 34 und wird über einen Auslass 35 aus der Abgasnachbehandlungsanlage 22 ausgestoßen.

[0025] Der Ottomotor wird über eine Motorsteuereinheit 36 angesteuert, welche sowohl die Stellung der Drosselklappe 14 als auch die Einspritzdrücke und Einspritzzeiten der Einspritzventile 16 sowie weitere Aktoren 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 drei Lambda-Sonden 24, 28, 34 auf.

[0026] 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 beziehungsweise parametrisiert.

[0027] Im vorliegenden Fall besteht das Emissionsmodell 42 aus einem Verbrennungs-Rohemissionsmodell 44, über welches Rohemissionen aus den Betriebsdaten des Ottomotors 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 Ottomotors 10 versorgt. Diese Betriebsdaten, die als Eingangsdaten dienen sind insbesondere die geometrischen Motordaten, die Betriebsdaten und Motorsteuerdaten des Ottomotors, 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 Ottomotors 10 im Verbrennungs-Rohemissionsmodell 44.

[0028] Diese Daten dienen im Weiteren als Eingangsdaten des Abgasnachbehandlungsmodells 46. In diesem werden die Umwandlungsvorgänge der beiden Dreiwegekatalysatoren 26, 32 und des Ottopartikelfilters 30 simuliert, so dass aus der Rohabgaszusammensetzung und dem Rohabgasmassenstrom eine Abgaszusammensetzung und ein Abgasmassenstrom am Auslass 35 berechnet werden kann.

[0029] Sobald die Lambda-Sonden 24, 28 betriebsbereit sind und die Trimmregelung des ersten Dreiwegekatalysators 26 in der Motorsteuereinheit 36 freigegeben wurde, erfolgt eine Korrektur der eingespritzten Kraftstoffmasse zur Berechnung der Emissionen. Hierzu werden in einem ersten Schritt die Messwerte des ersten Lambdasensors 24 genutzt, um hieraus die eingespritzte Kraftstoffmasse zu berechnen.

[0030] In einem zweiten Schritt wird das über das Emissionsmodell 42 berechnete Verbrennungsluftverhältnis stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators 26 und stromaufwärts des Ottopartikelfilters 30 mit dem Messwert der zweiten Lambda-Sonde 28 verglichen. Liegt hier eine Differenz vor, wird auf eine Abweichung der Messwerte der ersten Lambda-Sonde 24 geschlossen. Daraufhin wird in einem Regelkreis insbesondere über einen PID-Regler der Messwert der

ersten Lambda-Sonde 24 derart korrigiert, dass das modellierte Verbrennungsluftverhältnis an der Position der zweiten Lambda-Sonde 28 in Richtung des Messwertes der zweiten Lambda-Sonde 28 verschoben wird. Diese Fehlerkorrektur der Messwerte der ersten 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 Messwerte der ersten Lambda-Sonde 24 mittels der Messwerte der zweiten Lambda-Sonde 28 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, eines Abgasmassenstroms, den Abgastemperaturen und einem Verbrennungsluftverhältnis stromabwärts jeder Abgasnachbehandlungseinrichtung 26, 30, 32 dient.

[0031] Mit diesem Verfahren wird somit sichergestellt, dass das Emissionsmodell mit sehr genauen Eingangsdaten betrieben wird, sobald die Katalysatorreglung einsetzt, da das im Modell verwendete Kraftstoff/Luftverhältnis den realen Verhältnissen entspricht, so dass Fehler aus der modellseitigen Berechnung der Kraftstoffmasse ausgeglichen werden. Zusätzlich werden Abweichungen der ersten Lambda-Sonde ausgeglichen, welche durch Alterung, Fertigungstoleranzen oder Einbauungenauigkeiten auftreten können.

[0032] Es sollte deutlich sein, dass sich der Ottomotor in seinem Aufbau von dem dargestellten Aufbau ebenso unterscheiden kann, wie die Abgasnachbehandlungsanlage. Insbesondere können natürlich zusätzliche Bauteile vorhanden sein, wie Abgasrückführungen oder weitere Katalysatoren und Filter, Sekundärlufteinrichtungen und andere Komponenten. Es sei auch darauf hingewiesen, dass die korrigierte Kraftstoffmasse entweder ausschließlich für das Abgasnachbehandlungsmodell verwendet werden kann oder die so ermittelten Werte auch für das Verbrennungs-Rohemissionsmodell verwendet werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10), der eine Abgasnachbehandlungsanlage (22) mit einer ersten Lambda-Sonde (24), welche stromabwärts von Brennräumen (15) des Ottomotors (10) und stromaufwärts eines am nächsten zu den Brennräumen (15) des Ottomotors (10) angeordneten, ersten Dreiwegekatalysators (26) angeordnet ist, und einer zweiten Lambda-Sonde (28), welche stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators (26) und stromaufwärts eines zweiten Dreiwegekatalysators (32) und stromaufwärts oder stromabwärts eines Ottopartikelfilters (30) angeordnet ist, aufweist, wobei nach Erreichen der Betriebsbereitschaft der beiden Lambda-Sonden (24, 28)
 - mittels der ersten Lambda-Sonde (24), ein erstes Verbrennungsluftverhältnis im Abgasstrom zur Bestimmung einer ersten eingespritzten Kraftstoffmasse gemessen wird,
 - in Abhängigkeit der Messwerte der ersten Lambda-Sonde (24) eine eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet wird, welche als Eingangswert eines Emissionsmodells (42) dient,
 - im Folgenden die Abgasemissionen am Auslass der Abgasnachbehandlungsanlage (22) mittels des Emissionsmodells (42) berechnet werden.
2. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich mittels der zweiten Lambda-Sonde (28), ein Verbrennungsluftverhältnis im Abgasstrom zur Bestimmung des Luft-Kraftstoffverhältnisses stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators (26) gemessen wird, wobei aus den Messwerten der ersten Lambda-Sonde (24) und der zweiten Lambda-Sonde (28) ein Verbrennungsluftverhältnis stromabwärts der Brennräume (15) des Ottomotors (10) und stromaufwärts des am nächsten zu den Brennräumen (15) des Ottomotors (10) angeordneten, ersten Dreiwegekatalysators (26) berechnet wird, aus dem eine eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet wird, welche als Eingangswert des Emissionsmodells (42) dient.
3. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels des Emissionsmodells (42) ein aufgrund der Messwerte der ersten Lambda-Sonde (24) zu erwartendes Verbrennungsluftverhältnis an der zweiten Lambda-Sonde (28) stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators (26) berechnet wird, im Folgenden ein Vergleich der Messwerte des mittels der zweiten Lambda-Sonde (28) gemessenen Verbrennungsluftverhältnisses durch Berücksichtigung des aus dem Emissionsmodell (42) berechneten zu erwartenden Verbrennungsluftverhältnisses an der zweiten Lambda-Sonde (28) durchgeführt wird, bei Abweichung des gemessenen Verbrennungsluftverhältnisses an der zweiten Lambda-Sonde (28) vom über das Emissionsmodell (42) berechneten Verbrennungsluftverhältnis an der zweiten Lambda-Sonde (28) der Messwert der ersten Lambda-Sonde (24) in Abhängigkeit der Messwerte der zweiten Lambda-Sonde (28) korrigiert und die eingespritzte Kraftstoffmasse stromaufwärts des ersten Dreiwegekatalysators (26) aus dem korrigierten Messwert berechnet wird, im Folgenden die Abgasemissionen am Auslass der Abgasnachbehandlungsanlage (22) mittels der korrigierten Kraftstoffmasse berechnet werden.
4. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Phasen, in denen die erste Lambda-Sonde (24) nicht betriebsbereit ist oder ein unplausibles Signal liefert, die eingespritzte Kraftstoffmasse sowie die Luftmasse und ein Restgasanteil aus den Motorsteuerdaten eingelesen wird.
5. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44), welches einen ersten Teil des Emissions-

modells (42) bildet, als Eingangsdaten die geometrischen Motordaten, die Betriebsdaten und Motorsteuerdaten des Ottomotors (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 Ottomotors (10) berechnet werden.

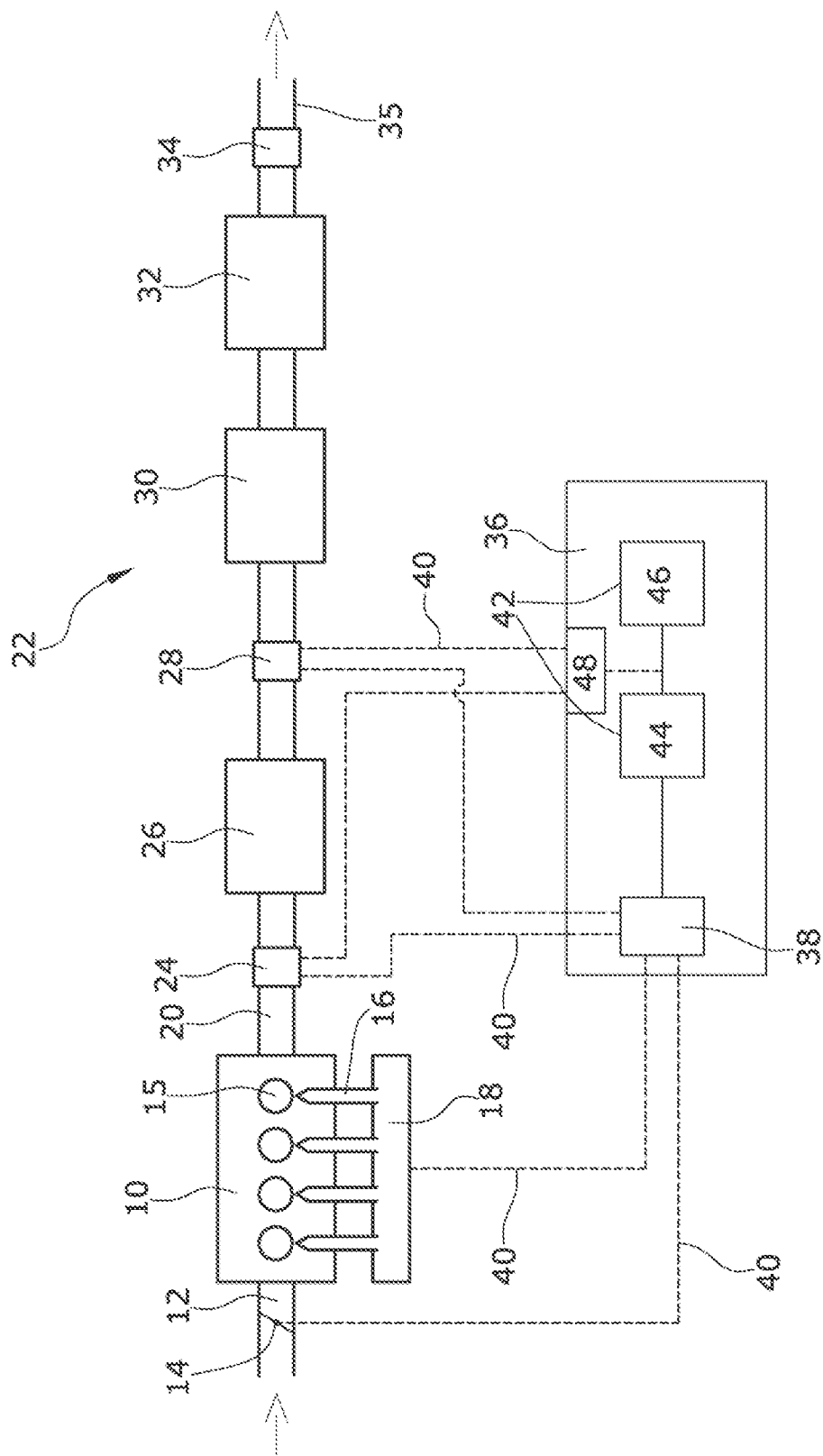
6. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Eingangsdaten eines Abgasnachbehandlungsmodells (46), welches einen zweiten Teil des Emissionsmodells (42) bildet, die Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells (44) verwendet werden, wobei in Phasen, in denen die erste Lambda-Sonde (24) nicht betriebsbereit ist, die über das Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) ermittelte Kraftstoffmasse als Eingangswert verwendet wird, wobei in Phasen, in denen die zweite Lambda-Sonde (28) nicht betriebsbereit ist, oder ein unplausibles Signal liefert, die erste Lambda-Sonde (24) hingegen betriebsbereit ist, die über das Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) ermittelte Kraftstoffmasse als Eingangswert verwendet wird, und in Phasen, in denen beide Lambda-Sonden (24, 28) betriebsbereit sind, der korrigierte Messwert der ersten Lambda-Sonde (24) aus dem vorangegangenen Fahrzyklus als Eingangswert des Abgasnachbehandlungsmodells (46) und/oder des Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) verwendet wird.
7. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Eingangsdaten des Abgasnachbehandlungsmodells (46) die Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells (44) und in Phasen, in denen die Lambdasensoren (24, 28) betriebsbereit sind, zusätzlich die Messwerte der ersten Lambda-Sonde (24) und der zweiten Lambda-Sonde (28) als Eingangswert für das Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) und/oder das Abgasnachbehandlungsmodell (46) verwendet werden.
8. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach einem der Ansprüche 6 und 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Emissionsmodell (42) bestehend aus dem Abgasnachbehandlungsmodell (46) und dem Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) in einer Motorsteuereinheit (36) integriert wird.
9. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **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.
10. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **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 Ottomotors (10) und eine Kraftstoffmasse berechnet werden.
11. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Abgasnachbehandlungsmodell (46) aus den Ausgangsdaten des Verbrennungs-Rohemissionsmodells (44) und bei Betriebsbereitschaft der Lambdasensoren (24, 28) zusätzlich aus den durch den Vergleich des berechneten Verbrennungsluftverhältnisses mit den Messwerten des zweiten Lambdasensors (28) korrigierten Messwerten des ersten Lambdasensors (24) die Abgaszusammensetzung, ein Abgasmassenstrom, Abgastemperaturen und ein Ver-

brennungsluftverhältnis stromaufwärts und stromabwärts jeder Abgasnachbehandlungseinrichtung (26, 30, 32) berechnet werden.

12. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
der im Abgasnachbehandlungsmodell (46) berechnete Wert der zweiten Lambda-Sonde (28) als Prozessvariable und der Messwert der zweiten Lambda-Sonde (28) als Sollwert eines PID-Reglers dienen, und in Abhängigkeit des Regelwertes der zweiten Lambda-Sonde (28) auf eine Fehlerabweichung des Messwertes der ersten Lambda-Sonde (24) geschlossen wird, deren Messwert in Abhängigkeit des ermittelten Regelwertes der zweiten Lambda-Sonde (28) korrigiert wird.
13. Verfahren zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Messwert der ersten Lambda-Sonde (24) zur Berechnung der eingespritzten Kraftstoffmasse um maximal 5% korrigiert wird.
14. Vorrichtung zur Vorhersage von Abgasemissionen eines Ottomotors (10) mit einer Abgasnachbehandlungsanlage (22), welche eine erste Lambda-Sonde (24) aufweist, welche stromabwärts von Brennräumen (15) des Ottomotors (10) und stromaufwärts eines am nächsten zu den Brennräumen (15) des Ottomotors (10) angeordneten, ersten Dreiwegekatalysators (26) angeordnet ist,
und welche eine zweite Lambda-Sonde (28) aufweist, welche stromabwärts des ersten Dreiwegekatalysators (26) und stromaufwärts eines zweiten Dreiwegekatalysators (32) und stromaufwärts oder stromabwärts eines ersten Otopartikelfilters (30) angeordnet ist, und welche eine Motorsteuereinheit (36) aufweist, in der ein Emissionsmodell (42) integriert ist, welches ein Verbrennungs-Rohemissionsmodell (44) aufweist, über welches Rohemissionen aus den Betriebsdaten des Ottomotors (10) berechenbar sind, und ein Abgasnachbehandlungsmodell (46) aufweist, über welches die Emissionen am Auslass 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 ersten Lambda-Sonde (24) und der zweiten Lambda-Sonde (28) 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