



(10) **DE 10 2021 213 479 A1** 2023.06.01

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 213 479.3**

(22) Anmeldetag: **30.11.2021**

(43) Offenlegungstag: **01.06.2023**

(51) Int Cl.: **G01N 27/417 (2006.01)**

G01N 27/407 (2006.01)

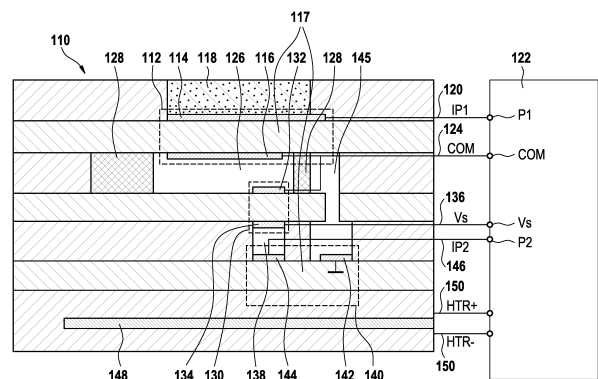
(71) Anmelder:
**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:
**Hein, Reinhard, 74343 Sachsenheim, DE; Waldorf,
Moritz, 42349 Wuppertal, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben eines Sensors zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Betreiben eines Sensors (100) zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum vorgeschlagen. Der Sensor (100) weist ein Sensorelement (110) auf, wobei das Sensorelement (110) mindestens eine Pumpzelle (112, 140) mit wenigstens zwei durch wenigstens einen Festelektrolyten miteinander verbundenen Pumpelektroden (114, 116, 142, 144) aufweist, wobei eine erste Pumpelektrode (114, 142) dem Gas aussetzbar und eine zweite Pumpelektrode (116, 144) durch wenigstens eine poröse Diffusionsbarriere (128) von dem Gas getrennt und in einem Hohlraum (126) in dem Festelektrolyten (117) angeordnet ist. Das Verfahren umfasst Ermitteln eines Messsignals (154), das den Anteil des Gases anzeigt, basierend auf einem Pumpstrom der Pumpzelle (112, 140), Bestimmen einer Kompensationsgröße (158, 160, 166) mittels einer Signalverarbeitung (152), wobei die Kompensationsgröße (158, 160, 166) zumindest teilweise abhängig ist von einer Einbauposition des Sensors (100) und/oder von einer Belastungssituation des Sensors (100), Bestimmen mindestens eines korrigierten Messsignals (164) aus dem Messsignal (154) und der Kompensationsgröße (158, 160, 166), und Bestimmen des Anteils des Gases aus dem korrigierten Messsignal (164).



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung wird im Folgenden, ohne Beschränkung weiterer möglicher Ausgestaltungen, im Wesentlichen unter Bezugnahme auf Verfahren und Vorrichtungen beschrieben, welche zur quantitativen und/oder qualitativen Erfassung mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum dienen.

[0002] Beispielsweise kann es sich bei dem Gas um ein Abgas einer Brennkraftmaschine handeln, insbesondere im Kraftfahrzeugbereich. Bei dem Messgasraum kann es sich beispielsweise um einen Abgasstrakt handeln. Bei dem Sensorelement kann es sich hierbei beispielsweise um eine Lambdasonde, insbesondere um eine Breitband-Lambdasonde, handeln. Lambdasonden sind beispielsweise in Robert Bosch GmbH: Sensoren im Kraftfahrzeug, 1. Auflage 2010, Seiten 160-165, beschrieben.

[0003] Bei dem Anteil des Gases kann es sich beispielsweise um eine Zielgaskomponente, beispielsweise um Sauerstoff und/oder Stickstoff und/oder Stickoxide und/oder Kohlenwasserstoffe und/oder andere Arten von Gaskomponenten handeln. Prinzipiell kann es sich bei dem Sensorelement auch um einen anderen Sensor handeln, beispielsweise einen NO_x-Sensor. Sensorelemente der genannten Art können insbesondere auf der Verwendung eines oder mehrerer Festelektrolyte basieren, also auf der Verwendung von Festkörpern, insbesondere keramischen Festkörpern, welche ionenleitende, insbesondere sauerstoffionenleitende, Eigenschaften aufweisen. Beispiele derartiger Festelektrolyte sind auf Zirkoniumdioxid basierende Festelektrolyte, wie beispielsweise Yttrium-stabilisiertes Zirkoniumdioxid (YSZ) und/oder Scandium-dotiertes Zirkoniumdioxid (ScSZ). Bei Lambdasonden, insbesondere bei Breitband-Lambdasonden, kann eine in einen Messhohlraum eindiffundierende Menge an Sauerstoff (O₂) und/oder Fettgas beispielsweise anhand eines Grenzstroms, insbesondere bei Einzellern, und/oder anhand eines zu einer Regelung einer Hohlraumkonzentration auf $\lambda = 1$ notwendigen Pumpstroms, insbesondere bei Doppelzellern, gemessen werden. Beispielsweise kann ein fließender Messstrom proportional zu einem O₂-Gehalt und/oder zu einem Fettgas-Gehalt in einem Abgas sein. Eine Messung der Hohlraumkonzentration kann anhand einer Bestimmung einer Nernstspannung zwischen einer Nernstelektrode in dem Hohlraum und einer sauerstoffbespülten und/oder luftbespülten Referenzelektrode in einem Referenzraum erfolgen. Aus einem linearen Zusammenhang des Grenzstroms mit einem Sauerstoffpartialdruck kann eine Messung des Sauerstoffpartialdrucks in dem Abgas durchgeführt werden.

[0004] Bekannt sind weiterhin Sensoren zum Nachweis mindestens eines Anteils der Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Gasgemisch, insbesondere in einem Abgas einer Verbrennungskraftmaschine, durch Erfassen eines Anteils an Sauerstoff, der durch eine Reduktion der Messgaskomponente mit dem gebundenem Sauerstoff erzeugt wird, bei Anwesenheit von molekularem Sauerstoff.

[0005] Sensoren zum Nachweis mindestens eines Anteils der Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Gasgemisch, die auch verkürzt oder vereinfacht NO_x-Sensoren oder Stickoxid-Sensoren bezeichnet werden, sind beispielsweise in Reif, K., Deitsche, K.-H. et al., Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014, Seite 1338-1347 beschrieben.

[0006] Stickoxid-Sensoren (= NO_x-Sensoren), die heutzutage in der Automobiltechnik eingesetzt werden, funktionieren nach dem Grenzstromprinzip, analog zu Sauerstoff-Sensoren, wie beispielsweise Lambda Sensoren. Ein solcher Stickoxid-Sensor umfasst eine Nernst-Konzentrationszelle, die auch Referenzzelle genannt wird, eine modifizierte Sauerstoffpumpzelle und eine weitere modifizierte Sauerstoffpumpzelle, die die sogenannte NO_x-Zelle. Eine dem Abgas ausgesetzte äußere Pumpelektrode und eine innere Pumpelektrode in einem ersten Hohlraum, der vom Abgas durch eine Diffusionsbarriere getrennt ist, bilden die Sauerstoffpumpzelle. Im ersten Hohlraum befindet sich auch die Nernstelektrode und in einem Referenzgasraum die Referenzelektrode, die zusammen die Nernstzelle bzw. Referenzzelle bilden. Die NO_x-Zelle umfasst eine NO_x-Pumpelektrode und eine Gegenelektrode. Die NO_x-Pumpelektrode befindet sich einem zweiten Hohlraum, der mit dem ersten inneren Hohlraum verbunden und von diesem durch eine Diffusionsbarriere getrennt ist. Die Gegenelektrode befindet sich in dem Referenzgasraum. Alle Elektroden in dem ersten und zweiten Hohlraum haben einen gemeinsamen Rückleiter.

[0007] Bei Betrieb des Stickoxid-Sensors wird aus der sogenannten O₂-Zelle der Sauerstoff aus dem ersten Hohlraum, der über eine Diffusionsbarriere mit dem Abgas verbunden ist, entfernt. Der dadurch resultierende Pumpstrom ist dann proportional zum Sauerstoffgehalt im Messgas- bzw. Abgasstrom. In der NO_x-Zelle werden die Stickoxide abgepumpt. Das Stickoxid NO_x, in der in den zweiten Hohlraum befindlichen Atmosphäre, wird durch Anlegen einer konstanten Pumpspannung reduziert bzw. abgebaut. Der durch Reduktion oder Abbau der Messgaskomponente in dem zweiten Hohlraum erzeugte Sauerstoff, der vorzugsweise aus der Reduktion des Stickoxids NO_x stammt, wird in einen Referenzgasraum abgepumpt. So hat die angelegte Pumpspannung

gegen den Widerstand der NO_x-Zelle und der Konzentration des Stickoxids NO_x bzw. Sauerstoffs einen Pumpstrom zur Folge, der proportional zum Gehalt an Stickoxid NO_x bzw. Sauerstoff ist und das NO_x-Messsignal darstellt.

[0008] In Systemen mit Verbrennungsmotor werden zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte komplexe Abgasnachbehandlungssysteme eingesetzt. Bei Dieselsystemen gehören mehrere Sensoren zur Messung der Sauerstoff- und Stickoxidkonzentration dazu. Insbesondere NO_x-Sensoren, welche sowohl die O₂- als auch die NO_x-Konzentration gleichzeitig messen können. Diese Sensoren setzen sich typischerweise aus einem Sensorelement als Messfühler und einem Kleinststeuergerät (SCU) zusammen. Der Messfühler wandelt die O₂- und NO_x-Konzentrationen durch elektrochemische Prozesse in jeweils ein Stromsignal um. Die SCU berechnet aus den Stromsignalen die O₂- und NO_x-Konzentrationen und sendet diese über eine CAN-Schnittstelle an das Motorsteuergerät (ECU).

[0009] Bekannt ist bereits, dass die Sensorelemente über die Lebensdauer an Messgenauigkeit verlieren. Die SCU verliert typischerweise wenig bis keine Messgenauigkeit über Lebensdauer.

[0010] Trotz der Vorteile der aus dem Stand der Technik bekannten Sensoren und Verfahren zum Betreiben derselben, beinhalten diese noch Verbesserungspotenzial. So wird aktuell zur Genauigkeitsverbesserung in der SCU ein Betriebszeitähler integriert. Der Betriebszeitähler kann die Dauer, die der Sensor bereits betrieben wurde, mitloggen und im internen Speicher der SCU ablegen. In der SCU-Software läuft dann eine Kompensationsfunktion, die die Signalabsenkung über die Betriebszeit mithilfe einer Tabelle oder mathematischen Beschreibung kompensiert. Das Problem bei der aktuell verwendeten Alterungskompensation ist, dass nur ein allgemeines Alterungsverhalten, welches alle Sensoren zeigen, kompensiert werden kann. Die Bedatung der Funktion (die Werte in der Lookup Table) wird typischerweise anhand einer Dauerläuferprobung ermittelt. Der Mittelwert der Absenkung über alle Sensoren und Einbaupositionen wird zur Alterungskompensation verwendet. Diese Vorgehensweise ignoriert die Tatsache, dass die Sensoren nicht der gleichen Belastung ausgesetzt sind. Zum Beispiel sieht ein Sensor nahe am Motor, vor den Katalysatoren (Upstream) ein deutlich anderes, „aggressiveres“ Abgas mit höheren NO_x-Konzentrationen, aber auch andere Belastung wie z.B. durch Temperaturniveau und Temperaturgradienten, als ein Sensor, der kurz vor dem Auspuff (Downstream) eingebaut ist. Dadurch hat ein Sensor in Upstream-Einbaupositionen dann auch eine andere Signalabsenkung über die Betriebszeit als ein Sensor Downstream. Entsprechend kommt es

immer noch zu suboptimalen Kompensationen der Messsignale und somit zu ungenauen Messsignalen über die Lebensdauer der Sensoren.

Offenbarung der Erfindung

[0011] Es wird daher ein Verfahren zum Betreiben eines Sensors zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum vorgeschlagen, welches die Nachteile bekannter Verfahren zum Betreiben dieser Sensoren zumindest weitgehend vermeidet und bei dem die Messgenauigkeit eines solchen Sensors auch bei Alterung deutlich verbessert werden kann.

[0012] In einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird daher ein Verfahren zum Betreiben eines Sensors zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum, insbesondere zum Nachweis mindestens eines Anteils einer molekularen Messgaskomponente und/oder einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas, vorgeschlagen. Der Sensor weist ein Sensorelement auf, wobei das Sensorelement mindestens eine Pumpzelle mit wenigstens zwei durch mindestens einen Festelektrolyten miteinander verbundenen Pumpelektroden aufweist, wobei eine erste Pumpelektrode dem Gas aussetzbar und eine zweite Pumpelektrode durch mindestens eine poröse Diffusionsbarriere von dem Gas getrennt und in einem Hohlraum in dem Festelektrolyten angeordnet ist. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte, bevorzugt in der angegebenen Reihenfolge:

- Ermitteln eines Messsignals, das den Anteil des Gases anzeigt, basierend auf einem Pumpstrom der Pumpzelle,
- Bestimmen einer Kompensationsgröße mittels einer Signalverarbeitung, wobei die Kompensationsgröße zumindest teilweise abhängig ist von einer Einbauposition des Sensors und/oder von einer Belastungssituation des Sensors,
- Bestimmen mindestens eines korrigierten Messsignals aus dem Messsignal und der Kompensationsgröße, und
- Bestimmen des Anteils des Gases aus dem korrigierten Messsignal.

[0013] Durch das Bestimmen einer Kompensationsgröße in Abhängigkeit von der Einbauposition und/oder der Belastungssituation des Sensors kann dem Sensor eine auf den Sensor individuell angepasste Alterung zugeordnet werden. Der Sensor bestimmt die individuelle Belastung durch die vorliegenden Messdaten über die gesamte Lebensdauer hinweg. Damit ist eine Unterscheidung der Einbauposition z.B. durch verschiedene Sensorversionen oder über Stecker, die auch in der gesamten Logistik eingehal-

ten werden muss, nicht mehr notwendig. Die Kompensation passt sich also an alle Motorprojekte und Einbaupositionen selbst an. Dadurch ergibt sich über Lebensdauer eine deutlich verbesserte Genauigkeit. Anhand der aktuellen Dauerlaufdaten ergibt sich eine Verbesserung der Genauigkeitsabweichung von etwa 30%.

[0014] Die Einbauposition, wie beispielsweise vor SCR-Katalysator oder am Ende vom Abgasstrang, kann durch eine Erkennung über einen zusätzlichen Anschluss im Stecker (Pin-5) oder per Typ-Teilenummer oder Software erfolgen.

[0015] Die Alterungskompensation kann beispielsweise auf die Einbauposition des jeweiligen Sensors angepasst werden. Das beschreibt eine erste Verbesserung, welche nur eine unterschiedliche Bedienung beinhaltet. Z.B. vor oder nach SCR-Kat. Damit kann schon eine Verbesserung erzielt werden. Die Daten werden aber vorab in einem Motordauerlauf ermittelt. Durch die oben beschriebene Einbaupositionserkennung mit Pin-5 ist dem Sensor die jeweilige Einbauposition bekannt. Damit kann eine der Einbauposition angepasste Alterungskompensation verwendet werden und eine damit eine höhere Genauigkeit.

[0016] Die von der Einbauposition des Sensors abhängige Kompensationsgröße kann einer Datenbank, insbesondere einer oder mehreren Lookup-Tabellen, entnommen werden. Durch die dem Sensor bekannte Einbauposition wird ausgewählt ob eine Tabelle mit Alterungskompensationswerten für eine Upstream- oder Downstream-Einbauposition verwendet werden soll. Dadurch werden unterschiedliche Zusammensetzungen des Messgases an den jeweiligen Einbauorten für die Alterungskompensation berücksichtigt, was die Signalgenauigkeit erhöht.

[0017] Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Datenbank mittels einer Dauerläuferprobung von Sensoren zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum ermittelt ist. Die Werte der jeweiligen Tabellen werden somit in der Dauerläuferprobung ermittelt. Sie ergeben sich aus der mittleren Alterung aller Sensoren an einer Einbauposition zur entsprechenden Betriebszeit und Konzentration des Messgases.

[0018] Die von der Belastungssituation des Sensors abhängige Kompensationsgröße kann mittels eines Kompensationsmodells ermittelt werden. Die Alterungskompensation wird somit aufgrund der individuellen Belastungssituation eines jeden Sensors bestimmt. Die Belastung, die jeder Sensor erfährt, kann aus den Informationen / Messsignalen, die dem Sensor zur Verfügung stehen, abgeschätzt wer-

den. Zum Beispiel kann die mittlere NO_x-Konzentration oder O₂-Konzentration über die Betriebszeit integriert und als Maß für die Belastung genommen werden. Der Sensor ermittelt die individuelle Belastung und berechnet daraus mit Hilfe des Modells die optimale, individuelle Kompensation. Dadurch wird nicht nur die jeweilige Einbauposition eines jeden Sensors berücksichtigt (Upstream sind die NO_x-Konzentrationen deutlich höher als Downstream), sondern eine sensorindividuelle Alterung ermittelt, die auch an das jeweilige Motorprojekt und die individuelle Belastung durch Fahrzeugeinsatz und Fahrweise angepasst ist. Dadurch wird die Genauigkeit über die Lebensdauer noch besser.

[0019] Als Eingangsgröße für das Kompensationsmodell wird mindestens eine Eingangsgröße verwendet, die ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus: Messsignal(e) des Sensors, Heizleistung, Messgastemperatur, aktuelle vergangene Betriebsdauer des Sensors, Anzahl der Sensorstarts, Messgasgeschwindigkeit und Versorgungsspannung. Es versteht sich, dass bei Bedarf andere oder zusätzliche Eingangsgrößen verwendet werden können. Dem Sensor stehen somit folgende Messdaten als Eingangswerte in das Modell zur Verfügung: NO_x-Konzentration, O₂-Konzentration, Puls-Weiten-Modulation-Takt (Heizleistung), Abgastemperatur, Abgasgeschwindigkeit, aktuelle vergangene Betriebsdauer, beispielsweise gemessen in Stunden, Anzahl der Sensorstarts, Versorgungsspannung. Die genau verwendeten Eingangswerte können nach Bedarf festgelegt werden. Im Fahrzeug kann das Modell dann mit den originalen Daten des Sensors die optimale Kompensation ermitteln. Auch eine Ergänzung der Eingangsgrößen durch Daten von externen Sensoren, z.B. Temperatursensoren, ist optional möglich.

[0020] Insbesondere kann ein integraler Wert, ein aktueller Wert oder ein Gradient über die Zeit der Eingangsgröße verwendet werden. Zu jedem der oben genannten Werte kann somit der Integrale Wert, der aktuelle Wert, oder die Signaldynamik (Gradient über der Zeit) verwendet werden.

[0021] Als Referenz für das Kompensationsmodell können Messsignale aus einer Dauerläuferprobung von Sensoren zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum verwendet werden. Um das Modell zu bestimmen, werden als Referenz die Messsignale aus einem Dauerlauf genommen. Damit kann zum Beispiel unter Zuhilfenahme von Methoden des maschinellen Lernens aus allen dem Sensor zur Verfügung stehenden Werten ein Modell ermittelt werden. Das Modell kann dann mit Prüfstands-Daten die die Genauigkeitsveränderung der Sensoren über Alterung zeigen, und den Sensorsignalen aus dem Dauerlauf trainiert, bzw. bestimmt werden. Das Modell kann also weiterhin all-

gemein für alle Sensoren bestimmt werden, wie die bisherige Alterungskompensation. Da es aber abhängig von den jeweiligen Sensorsignalen die Kompensationsfaktoren bestimmt, wird dann für jeden Sensor ein individueller Alterungszustand bestimmt. Dadurch wird die Genauigkeit sogar noch weiter verbessert.

[0022] Die Signalverarbeitung kann eine adaptive Ermittlung der Kompensationsgröße umfassen. Mit anderen Worten wird die Kompensationsgröße der jeweiligen Situation des Sensors angepasst, d.h. der Einbauposition und/oder der Belastung.

[0023] Es wird zudem ein Computerprogramm vorgeschlagen, welches eingerichtet ist, jeden Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens durchzuführen.

[0024] Weiterhin wird ein elektronisches Speichermedium vorgeschlagen, auf welchem ein Computerprogramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gespeichert ist.

[0025] Weiterhin wird ein elektronisches Steuergerät vorgeschlagen, welches das erfindungsgemäße elektronische Speichermedium mit dem besagten Computerprogramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens enthält, umfasst.

[0026] Schließlich betrifft die Erfindung auch einen Sensor zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum, insbesondere zum Nachweis mindestens eines Anteils einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas, wobei der Sensor ein Sensorelement aufweist, wobei das Sensorelement mindestens eine Pumpzelle mit wenigstens zwei durch mindestens einen Festelektrolyten miteinander verbundenen Pumpelektroden aufweist, wobei eine erste Pumpelektrode dem Gas aussetzbar und eine zweite Pumpelektrode durch mindestens eine poröse Diffusionsbarriere von dem Gas getrennt und in einem Hohlraum in dem Festelektrolyten angeordnet ist, wobei der Sensor weiterhin ein solches elektronisches Steuergerät aufweist.

[0027] Unter einem Festelektrolyten ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Körper oder Gegenstand mit elektrolytischen Eigenschaften, also mit Ionen leitenden Eigenschaften, zu verstehen. Insbesondere kann es sich um einen keramischen Festelektrolyten handeln. Dies umfasst auch das Rohmaterial eines Festelektrolyten und daher die Ausbildung als so genannter Grünling oder Braunling, der erst nach einem Sintern zu einem Festelektrolyten wird. Insbesondere kann der Festelektrolyt als Festelektrolytschicht oder aus mehreren Festelektrolytschichten ausgebildet sei. Unter einer Schicht ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine einheitliche Masse in flächenhafter Ausdehnung

einer gewissen Höhe zu verstehen, die über, unter oder zwischen anderen Elementen liegt.

[0028] Unter einer Elektrode ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung allgemein ein Element zu verstehen, welches in der Lage ist, den Festelektrolyten derart zu kontaktieren, dass durch den Festelektrolyten und die Elektrode ein Strom aufrechterhalten werden kann. Dementsprechend kann die Elektrode ein Element umfassen, an welchem die Ionen in den Festelektrolyten eingebaut und/oder aus dem Festelektrolyten ausgebaut werden können. Typischerweise umfassen die Elektroden eine Edelmetallelektrode, welche beispielsweise als Metall-Keramik-Elektrode auf dem Festelektrolyten aufgebracht sein kann oder auf andere Weise mit dem Festelektrolyten in Verbindung stehen kann. Typische Elektrodenmaterialien sind Platin-Cermet-Elektroden. Auch andere Edelmetalle, wie beispielsweise Gold oder Palladium, sind jedoch grundsätzlich einsetzbar.

[0029] Unter einem Heizelement ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Element zu verstehen, das zum Erwärmen des Festelektrolyten und der Elektroden auf mindestens ihre Funktionstemperatur und vorzugsweise auf ihre Betriebstemperatur dient. Die Funktionstemperatur ist diejenige Temperatur, ab der der Festelektrolyt für Ionen leitend wird und die ungefähr 350 °C beträgt. Davon ist die Betriebstemperatur zu unterscheiden, die diejenige Temperatur ist, bei der das Sensorelement üblicherweise betrieben wird und die höher ist als die Funktionstemperatur. Die Betriebstemperatur kann beispielsweise von 700 °C bis 950 °C sein. Das Heizelement kann einen Heizbereich und mindestens eine Zuleitungsbahn umfassen. Unter einem Heizbereich ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung der Bereich des Heizelements zu verstehen, der in dem Schichtaufbau entlang einer zu der Oberfläche des Sensorelements senkrechten Richtung mit einer Elektrode überlappt. Üblicherweise erwärmt sich der Heizbereich während des Betriebs stärker als die Zuleitungsbahn, so dass diese unterscheidbar sind. Die unterschiedliche Erwärmung kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass der Heizbereich einen höheren elektrischen Widerstand aufweist als die Zuleitungsbahn. Der Heizbereich und/oder die Zuleitung sind beispielsweise als elektrische Widerstandsbahn ausgebildet und erwärmen sich durch Anlegen einer elektrischen Spannung. Das Heizelement kann beispielsweise aus einem Platin-Cermet hergestellt sein.

[0030] Unter einer Messgröße ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich eine beliebige physikalische und/oder chemische Größe und ein diese Größe(n) äquivalent anzeigendes Signal, d.h. ein äquivalentes Signal, zu verstehen. Bevorzugt handelt es sich bei der Messgröße um mindestens ein Messsignal des Sensorelements. Bevorzugt

kann es sich bei der Messgröße um mindestens einen Pumpstrom, beispielsweise einen Grenzstrom, handeln. Beispielsweise kann es sich bei der Messgröße um eine von dem Pumpstrom abhängige Größe handeln. Beispielsweise kann es sich bei der Messgröße um eine Pumpspannung und/oder um eine umgesetzte Ladung handeln. Unter dem Ausdruck „erfasst werden“ in diesem Zusammenhang ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verstehen, dass die Messgröße beispielsweise als Messsignal von dem Sensorelement ausgegeben wird und/oder die Messgröße von einem Steuergerät verarbeitet und/oder ausgewertet und/oder gespeichert wird.

[0031] Unter einer Kompensationsgröße ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung grundsätzlich eine beliebige chemische und/oder physikalische Größe und ein diese Größe(n) äquivalent anzeigendes Signal, d.h. ein äquivalentes Signal, zu verstehen. Bevorzugt kann die Kompensationsgröße die gleiche physikalische und/oder chemische Größe umfassen wie die Messgröße. Bevorzugt kann es sich bei der Kompensationsgröße um eine Pumpstromabweichung handeln. Beispielsweise kann es sich bei der Kompensationsgröße um mindestens einen Umladestrom und/oder mindestens eine Elektrodenladung handeln. Die Kompensationsgröße ist zumindest teilweise abhängig von einem Pumpstrom und einer an die Pumpzelle angelegten Spannung. Insbesondere ist die Kompensationsgröße zumindest teilweise abhängig von einer zeitlichen Änderung des Pumpstroms und der an die Pumpzelle angelegten Spannung.

[0032] Unter der Pumpspannung für einen Grenzstromfall kann diejenige an die Pumpzelle angelegte Pumpspannung verstanden werden, ab der auch bei einer weiteren Erhöhung der Pumpspannung kein oder nur ein unwesentlicher Anstieg des Pumpstroms mehr feststellbar ist, da an der inneren Pumpelektrode keine weiteren Sauerstoffmoleküle mehr reduziert werden. Der Pumpstrom, der diesem Plateau der Kennlinie entspricht, wird als Grenzstrom bezeichnet und ist proportional zur Konzentration von Sauerstoff oder sauerstoffhaltigen Gasspezies in einer Gasmischung. Im Normalbetrieb einer Breitbandlamdasonde findet die eigentliche Messung des Sauerstoffgehalts im Grenzstromfall statt.

[0033] Unter der Diffusionsbarriere kann beispielsweise eine Schicht aus einem Material verstanden werden, welche eine Strömung des Gases und/oder eines Fluids und/oder des Gasgemischs und/oder der Gaskomponente unterdrückt, währenddessen die Schicht eine Diffusion des Gases und/oder des Fluids und/oder des Gasgemischs und/oder der Gaskomponente und/oder von Ionen fördert.

[0034] Unter dem Hohlraum kann ein Raum innerhalb des Sensorelements verstanden werden, welcher zwar baulich von dem Messgasraum separiert ist, welcher aber dennoch mit der Gaskomponente und/oder dem Gasgemisch und/oder dem Gas aus dem Messgasraum beaufschlagbar sein kann, beispielsweise über mindestens einen Gaszutrittsweg und/oder über die Diffusionsbarriere. Bei dem Hohlraum kann es sich beispielsweise um eine Kammer handeln. Die Vorrichtung kann mindestens einen Referenzgasraum und/oder mindestens einen Referenzgaskanal umfassen. Bei dem Festelektrolyten kann es sich bevorzugt um einen ionenleitenden Festelektrolyten handeln. Über die Diffusionsbarriere, insbesondere zu dem Hohlraum hin, kann bevorzugt ein Gasaustausch, insbesondere des Gases und/oder zumindest eines Teils des Gases, möglich sein, bevorzugt durch Diffusion.

[0035] Die Bezeichnungen „erste“ und „zweite“ dienen als reine Bezeichnungen und geben insbesondere keinen Aufschluss über eine Reihenfolge oder ob beispielsweise noch weitere Pumpelektroden von den Pumpelektroden umfasst sind, beispielsweise mindestens eine dritte Pumpelektrode.

Figurenliste

[0036] Weitere optionale Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele, welche in den Figuren schematisch dargestellt sind.

[0037] Es zeigen:

Fig. 1 einen prinzipiellen Aufbau eines erfindungsgemäßen Sensors,

Fig. 2 ein Blockdiagramm der Signalverarbeitung zur Kompensation der Sensoralterung gemäß einer Ausführungsform, und

Fig. 3 ein Blockdiagramm der Signalverarbeitung zur Kompensation der Sensoralterung gemäß einer weiteren Ausführungsform.

Ausführungsformen der Erfindung

[0038] **Fig. 1** zeigt einen prinzipiellen Aufbau eines erfindungsgemäßen Sensors 100, welcher zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens besonders geeignet ist.

[0039] Der Sensor 100 ist zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum ausgebildet. Lediglich beispielhaft ist der Sensor 100 zum Nachweis mindestens eines Anteils einer molekularen Messgaskomponente und/oder einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff, im Folgenden beispielhaft als Stickoxid NO_x bezeichnet, in einem Gasgemisch, beispielhaft

einem Abgas einer Verbrennungskraftmaschine, eingerichtet. Der Sensor 100 umfasst hierzu ein Sensorelement 110. Das Sensorelement 114 weist eine erste Pumpzelle 112 auf, welche zwischen einer äußeren Pumpelektrode 114 und einer inneren Pumpelektrode 116 ausgebildet ist, wobei die Pumpelektroden 114, 116 durch einen Festelektrolyten 117 miteinander verbunden sind. Die äußere Pumpelektrode 114, welche mittels einer porösen Aluminiumoxidschicht 118 von der Umgebung des Sensors 100 getrennt ist, verfügt hierbei über eine erste elektrisch leitende Verbindung 120, über welche sich ein erster Pumpstrom I_{P1} in der ersten Pumpzelle 112 erzeugen lässt. Die elektrisch leitende Verbindung 120 ist hierzu mit einem Anschluss P1 eines externen elektronischen Steuergeräts 122 verbunden. Um einen vollständigen Stromkreis zu erhalten, verfügt die innere Pumpelektrode 116 ebenfalls über eine elektrisch leitende Verbindung 124, welche zu einem gemeinsamen Anschluss COM des externen elektronischen Steuergeräts 122 führt. Die erste Pumpzelle 112 liegt an einem ersten Hohlraum 126 an, der sich im Inneren des Sensorelements 110 befindet. und mit dem Messgas in Verbindung steht. Durch Erzeugen des ersten Pumpstroms I_{P1} in der ersten Pumpzelle 112 lässt sich ein erster Anteil von Sauerstoffionen, welche aus molekularem Sauerstoff aus dem Gasgemisch gebildet werden, zwischen dem ersten Hohlraum 126 und der Umgebung des Sensors 100 transportieren. In dem Eintrittsweg aus der Umgebung zu dem ersten Hohlraum 126 sind zwei Diffusionsbarrieren 128 vorhanden.

[0040] Das Sensorelement 110 weist weiterhin eine elektrische Referenzzelle 130 auf, welche eine Nernst-Elektrode 132 und eine Referenzelektrode 134 aufweist. Während die Nernst-Elektrode 132 über eine elektrisch leitende Verbindung 124 zusammen mit der inneren Pumpelektrode 116 zu dem gemeinsamen Anschluss COM verfügt, weist die Referenzelektrode 134 eine gesonderte elektrisch leitende Verbindung 136 zu einem Anschluss Vs des externen elektronischen Steuergeräts 122 für die Nernstspannung Vs auf. Die Referenzzelle 130 liegt an einem Referenzgasraum 138 an. Ein zweiter Anteil der Sauerstoffionen aus dem Messgasraum 126 und/oder aus der Umgebung des Sensors 100 wird in den Referenzgasraum 138 durch Anlegen eines Referenz-Pumpstroms zwischen dem Anschluss Vs und dem gemeinsamen Anschluss COM transportiert. Hierbei wird der Wert für den Referenz-Pumpstrom derart eingestellt, dass sich ein festgelegter Anteil der Sauerstoffionen in dem Referenzgasraum 138 ausbildet. Vorzugsweise wird in diesem Zusammenhang auch der Wert für den ersten Pumpstrom I_{P1} derart eingestellt, dass sich ein festgelegtes Verhältnis zwischen dem ersten Anteil der Sauerstoffionen in dem Messgasraum 126

und dem zweiten Anteil der Sauerstoffionen in dem Referenzgasraum 138 ergibt.

[0041] Die in dem Gasgemisch weiterhin enthaltene Messgaskomponente Stickoxid NO_x mit dem gebundenen Sauerstoff gelangt, insbesondere durch Diffusion, weitgehend unbeeinflusst in eine zweite Pumpzelle 140 des Sensorelements 110, welche auch als „ NO_x -Pumpzelle“ bezeichnet werden kann. Die zweite Pumpzelle 140 weist eine NO_x -Pumpelektrode 142 und eine NO_x -Gegenelektrode 144 auf und liegt an einem zweiten Hohlraum 145 im Inneren des Sensorelements 110 an. Der zweite Hohlraum 145 ist von dem ersten Hohlraum 126 durch eine der Diffusionsbarrieren 128 getrennt. Wenigstens eine der beiden Elektroden NO_x -Pumpelektrode 142 und/oder NO_x -Gegenelektrode 144 sind derart ausgestaltet, dass bei Anlegen einer Spannung mittels Katalyse aus der Messgaskomponente NO_x weiterer molekularer Sauerstoff erzeugt werden kann, welcher in der zweiten Pumpzelle 140 gebildet wird.

[0042] Während die NO_x -Pumpelektrode 142 eine elektrisch leitende Verbindung 146 aufweist, welche zu dem gemeinsamen Anschluss COM führt, weist die NO_x -Gegenelektrode 144 eine elektrisch leitende Verbindung 146 auf, über welche ein zweiter Pumpstrom I_{P2} an die zweite Pumpzelle 140 angelegt werden kann. Die elektrisch leitende Verbindung 146 ist hierzu mit einem Anschluss P2 des externen elektronischen Steuergeräts 122 verbunden. Bei Anlegen eines zweiten Pumpstroms I_{P2} an die zweite Pumpzelle 140 wird ein Anteil von weiteren Sauerstoffionen, welche aus dem weiteren molekularen Sauerstoff gebildet wurden, in den Referenzgasraum 138 transportiert.

[0043] Das Sensorelement 110 verfügt weiterhin über ein Heizelement 148, welches mittels zweier Zuleitungen 150 mit Anschlüssen HTR+ und HTR- des Steuergeräts 122 verbunden ist, über welche ein Heizstrom in das Heizelement 148 eingebracht werden kann, welches mittels Erzeugen einer Heizleistung das Sensorelement 110 auf die gewünschte Temperatur bringen kann.

[0044] Bei dem Betrieb des Sensors 100 werden ein erster Pumpstrom I_{P1} der ersten Pumpzelle 112 und eine an die erste Pumpzelle 112 angelegte Spannung U_{P1} erfasst. Ein die Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff anzeigendes Messsignal des Sensorelements 110 wird basierend auf einem zweiten Pumpstrom I_{P2} der zweiten Pumpzelle 140 ermittelt. Da dieses Signal alterungsbedingten Veränderungen unterliegt, wird dieses wie nachfolgend ausführlicher beschrieben korrigiert. Mittels einer Signalverarbeitung wird eine Kompensationsgröße bestimmt. Aus dem Messsignal und der Kompensationsgröße wird mindestens ein korrigiertes Messsignal bestimmt. Aus dem korrigierten Messsig-

nal wird der Anteil des Gases, d.h. bei diesem Ausführungsbeispiel der Anteil der Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff, bestimmt.

[0045] Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm einer Signalverarbeitung 152 zur Kompensation der Sensoralterung gemäß einer Ausführungsform. Ein Messsignal 154 des Sensors 100 wird der Signalverarbeitung 152 zugeführt. Bei dem Messsignal 154 handelt es sich beispielsweise um eine NO_x-Konzentration anzeigendes Signal, das Alterungseffekten unterliegt. Die Signalverarbeitung 152 erkennt die Einbauposition des Sensors 100 anhand dessen Pin ID und ordnet diese der Einbauposition zu, beispielsweise über einen sogenannten Pin ID switch 156. Die Signalverarbeitung 152 ordnet dem Messsignal 154 beispielsweise eine stromaufwärtige Einbauposition US oder eine stromabwärtige Einbauposition DS des Sensors 100 zu. Die Angaben „stromaufwärtig“ und „stromabwärtig“ beziehen sich dabei auf eine Strömungsrichtung im Abgastrakt der Brennkraftmaschine. Dann wird eine Kompensationsgröße 158, 160 mittels der Signalverarbeitung 152 bestimmt. Die Kompensationsgröße 158, 160 ist zumindest teilweise abhängig von einer Einbauposition des Sensors 100. Die von der Einbauposition des Sensors 100 abhängige Kompensationsgröße 158, 160 wird einer Datenbank, insbesondere einer Lookup-Tabelle, entnommen. Die Datenbank wurde zuvor mittels einer Dauerläuferprobung von Sensoren zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum ermittelt. Basierend auf einer durch einen Pfeil 162 angegebenen Sensorlebensdauer und in Abhängigkeit von der Einbauposition bestimmt die Signalverarbeitung anhand dieser Datenbank entweder eine Kompensationsgröße 158 für die stromaufwärtige Einbauposition oder eine Kompensationsgröße 160 für die stromabwärtige Einbauposition. Anschließend wird mindestens ein korrigiertes Messsignal 164 aus dem Messsignal und der Kompensationsgröße 158, 160 bestimmt. Schließlich wird der Anteil des Gases aus dem korrigierten Messsignal 164 bestimmt.

[0046] Fig. 3 zeigt ein Blockdiagramm einer Signalverarbeitung 152 zur Kompensation der Sensoralterung gemäß einer weiteren Ausführungsform. Nachstehend werden lediglich die Unterschiede zu der Ausführungsform der Fig. 2 erläutert und gleiche oder vergleichbare Bauteile oder Merkmale sind mit gleichen Bezugszeichen versehen. Ein Messsignal 154 des Sensors 100 wird der Signalverarbeitung 152 zugeführt. Bei dem Messsignal 154 handelt es sich beispielsweise um ein NO_x-Konzentration anzeigendes Signal, das Alterungseffekten unterliegt. Dann wird eine von der Belastungssituation des Sensors 100 abhängige Kompensationsgröße 166 mittels der Signalverarbeitung 152 bestimmt. Die von der Belastungssituation des Sensors 100 abhängige Kompensationsgröße 166 wird mittels

eines Kompensationsmodells 168 ermittelt. Als Eingangsgröße 170 für das Kompensationsmodell wird mindestens eine Eingangsgröße verwendet, die ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus: Messsignal(e) des Sensors, Heizleistung, Messgastemperatur, aktuelle vergangene Betriebsdauer des Sensors, Anzahl der Sensorstarts, Messgasgeschwindigkeit und Versorgungsspannung. Dem Sensor stehen beispielsweise folgende Messdaten als Eingangswerte in das Kompensationsmodell 168 zur Verfügung: NO_x-Konzentration, O₂-Konzentration, Puls-Weiten-Modulation-Takt (Heizer Leistung), Abgastemperatur, Lebensdauer, Anzahl der Sensorstarts, Versorgungsspannung. Im Fahrzeug kann das Modell dann mit den originalen Daten des Sensors die optimale Kompensation ermitteln. Insbesondere kann ein integraler Wert, ein aktueller Wert oder ein Gradient über die Zeit der Eingangsgröße verwendet werden. Zu jedem der oben genannten Werte kann somit der integrale Wert, der aktuelle Wert, oder die Signaldynamik (Gradient über der Zeit) verwendet werden. Als Referenz für das Kompensationsmodell können Messsignale aus einer Dauerläuferprobung von Sensoren zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum verwendet werden. Um das Modell zu bestimmen, werden als Referenz die Messsignale aus einem Dauerlauf genommen.

[0047] Beispielsweise werden dem Kompensationsmodell das Messsignal 164 des Sensors 100, ein Sauerstoffsignal 172 und andere Eingangsgrößen 174 zugeführt, wobei letztere beiden von dem Sensor 100 oder von einem anderen Sensor erfasst werden können. Basierend auf einer durch einen Pfeil 162 angegebenen Sensorlebensdauer und in Abhängigkeit von der Belastungssituation 152 bestimmt die Signalverarbeitung 152 dann die Kompensationsgröße. Anschließend wird mindestens ein korrigiertes Messsignal 164 aus dem Messsignal und der Kompensationsgröße 166 bestimmt. Schließlich wird der Anteil des Gases aus dem korrigierten Messsignal 164 bestimmt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Sensors (100) zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum, insbesondere zum Nachweis mindestens eines Anteils einer molekularen Messgaskomponente und/oder einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas, wobei der Sensor (100) ein Sensorelement (110) aufweist, wobei das Sensorelement (110) mindestens eine Pumpzelle (112, 140) mit wenigstens zwei durch mindestens einen Festelektrolyten miteinander verbundenen Pumpelektroden (114, 116, 142, 144) aufweist, wobei eine erste Pumpelektrode (114, 142) dem Gas aussetzbar und eine zweite Pumpelektrode (116, 144) durch mindestens

eine poröse Diffusionsbarriere (128) von dem Gas getrennt und in einem Hohlraum (126) in dem Festelektrolyten (117) angeordnet ist, wobei das Verfahren umfasst:

- Ermitteln eines Messsignals (154), das den Anteil des Gases anzeigt, basierend auf einem Pumpstrom der Pumpzelle (112, 140),
- Bestimmen einer Kompensationsgröße (158, 160, 166) mittels einer Signalverarbeitung (152), wobei die Kompensationsgröße (158, 160, 166) zumindest teilweise abhängig ist von einer Einbauposition des Sensors (100) und/oder von einer Belastungssituation des Sensors (100),
- Bestimmen mindestens eines korrigierten Messsignals (164) aus dem Messsignal (154) und der Kompensationsgröße (158, 160, 166), und
- Bestimmen des Anteils des Gases aus dem korrigierten Messsignal (164).

2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die von der Einbauposition des Sensors (100) abhängige Kompensationsgröße (158, 160, 166) einer Datenbank, insbesondere mindestens einer Lookup-Tabelle, entnommen wird.

3. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Datenbank mittels einer Dauerläuferprobung von Sensoren zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum ermittelt ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die von der Belastungssituation des Sensors (100) abhängige Kompensationsgröße (158, 160, 166) mittels eines Kompensationsmodells (168) ermittelt wird.

5. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei als Eingangsgröße (170) für das Kompensationsmodell (168) mindestens eine Eingangsgröße verwendet wird, die ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus:

Messsignal(e) des Sensors (100), Heizleistung des Sensors (100), Messgastemperatur, aktuelle vergangene Betriebsdauer des Sensors (100), Anzahl der Sensorstarts, Messgasgeschwindigkeit und Versorgungsspannung.

6. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei ein integraler Wert, ein aktueller Wert oder ein Gradient über die Zeit der Eingangsgröße (170) verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, wobei als Referenz für das Kompensationsmodell (168) Messsignale aus einer Dauerläuferprobung von Sensoren zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum verwendet werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Signalverarbeitung eine adaptive Ermittlung der Kompensationsgröße (158, 160, 166) umfasst.

9. Computerprogramm, welches eingerichtet ist, jeden Schritt des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

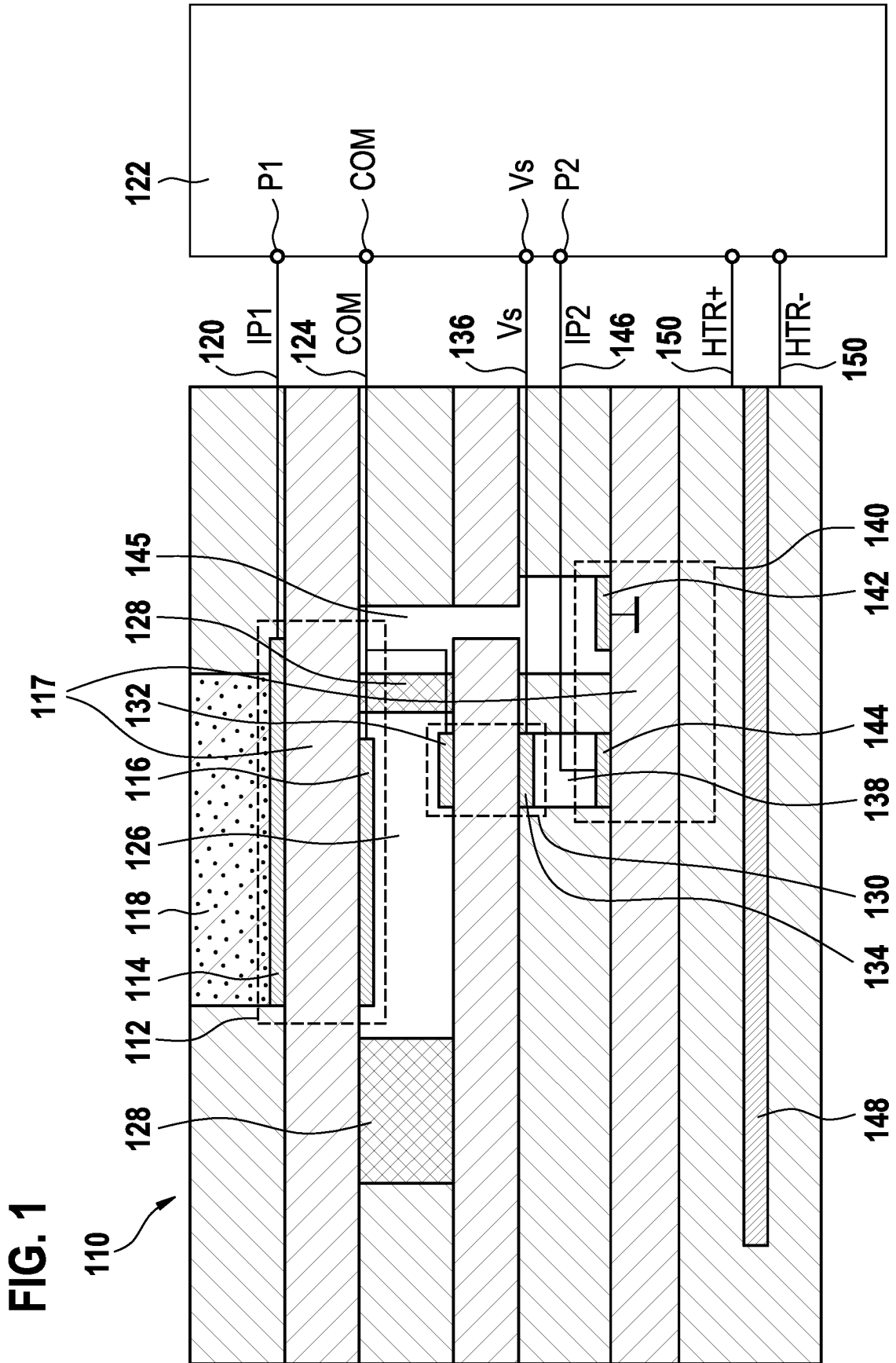
10. Elektronisches Speichermedium, auf welchem ein Computerprogramm nach dem vorhergehenden Anspruch gespeichert ist.

11. Elektronisches Steuergerät (122), welches ein elektronisches Speichermedium nach dem vorhergehenden Anspruch umfasst.

12. Sensor (100) zum Bestimmen mindestens eines Anteils eines Gases in einem Messgasraum, insbesondere zum Nachweis mindestens eines Anteils einer molekularen Messgaskomponente und/oder einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas, wobei der Sensor ein Sensorelement aufweist, wobei das Sensorelement (110) mindestens eine Pumpzelle (112, 140) mit wenigstens zwei durch mindestens einen Festelektrolyten miteinander verbundenen Pumpelektroden (114, 116, 142, 144) aufweist, wobei eine erste Pumpelektrode (114, 142) dem Gas aussetzbar und eine zweite Pumpelektrode (116, 144) durch mindestens eine poröse Diffusionsbarriere (128) von dem Gas getrennt und in einem Hohlraum (126) in dem Festelektrolyten (117) angeordnet ist, wobei der Sensor (100) weiterhin ein elektronisches Steuergerät (122) nach dem vorhergehenden Anspruch aufweist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



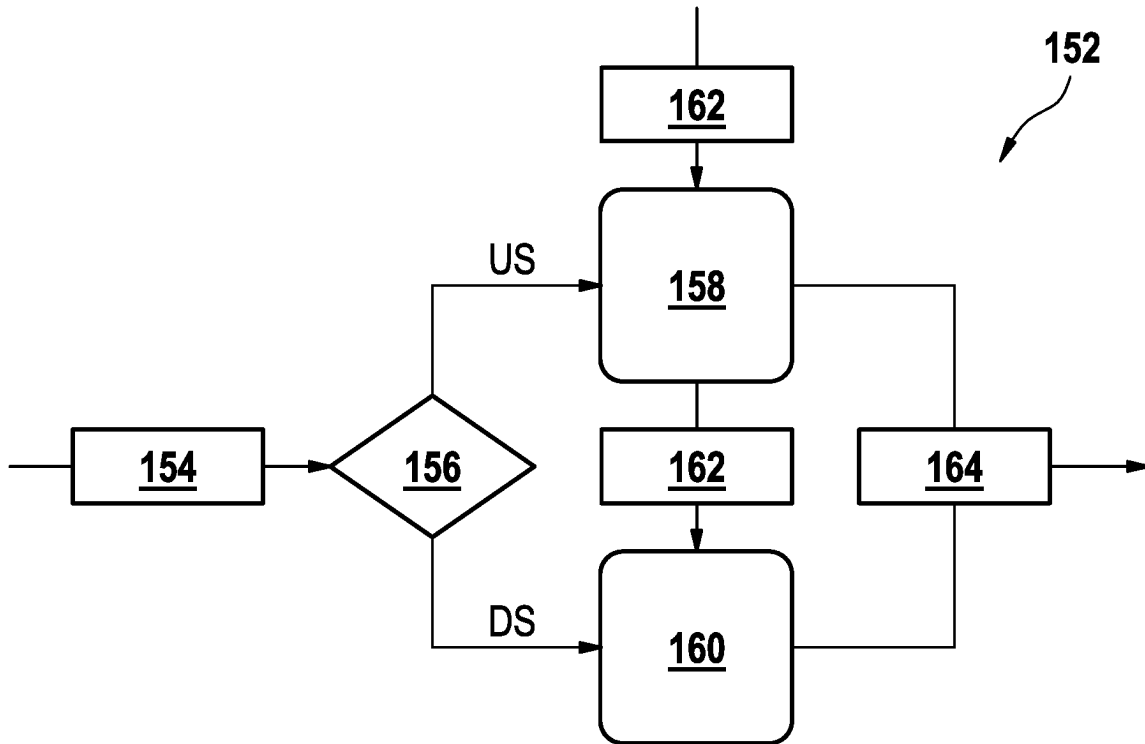


FIG. 2

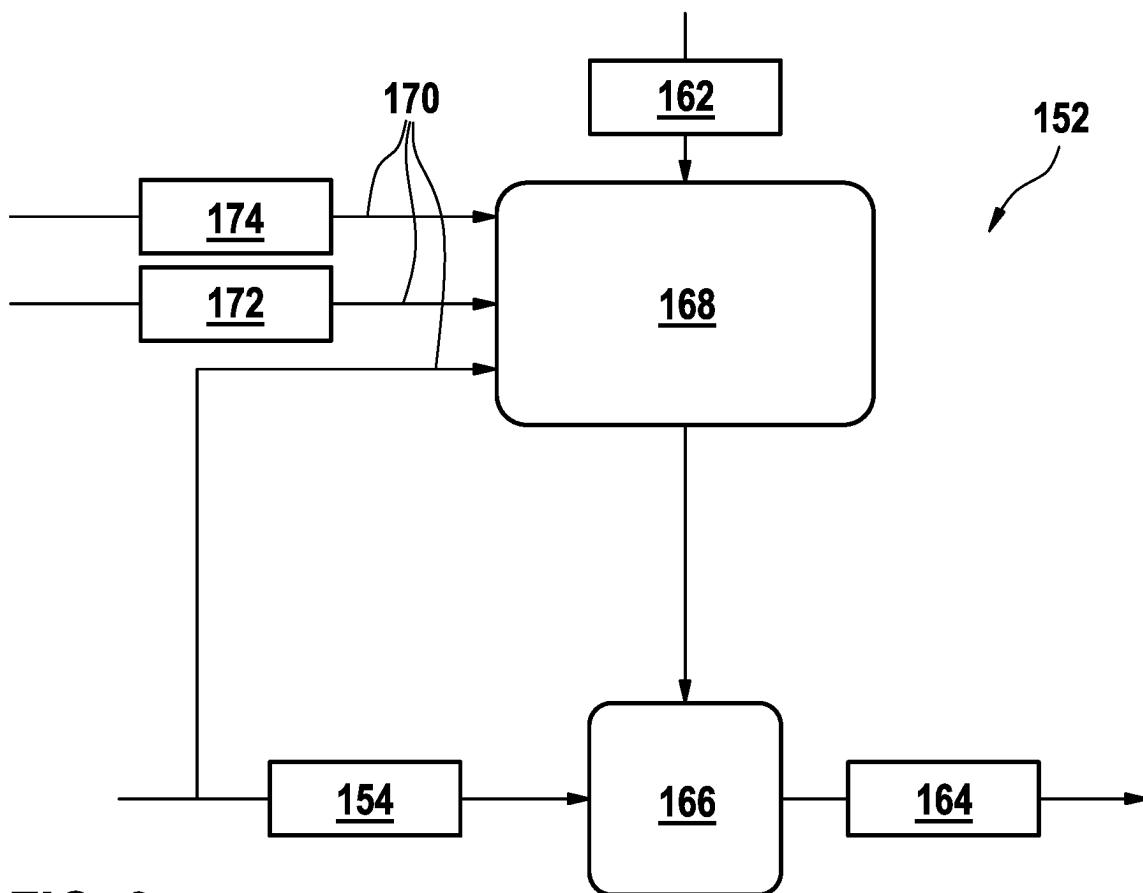


FIG. 3