



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 206 476.1**  
(22) Anmeldetag: **19.04.2012**  
(43) Offenlegungstag: **24.10.2013**

(51) Int Cl.: **G01N 27/416 (2012.01)**  
**G01N 27/417 (2012.01)**  
**G01N 27/407 (2012.01)**  
**G01N 27/409 (2012.01)**

(71) Anmelder:  
**Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Brehm, Joachim Ulrich, 70180, Stuttgart, DE;**  
**Diehl, Lothar, Dr., 70839, Gerlingen, DE; Peters,**  
**Christoph, 70437, Stuttgart, DE**

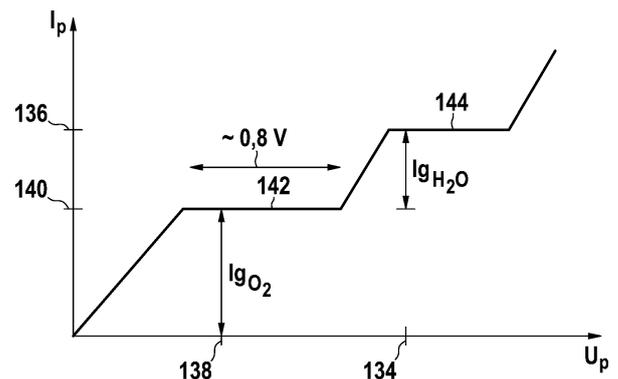
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb eines Sensorelements zur Erfassung eines Sauerstoffanteils eines Gases in einem Messgasraum**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Betrieb eines Sensorelements (110) zur Erfassung eines Sauerstoffanteils eines Gases in einem Messgasraum (112) vorgeschlagen. Das Sensorelement (110) umfasst mindestens eine erste Elektrode (116) und mindestens eine zweite Elektrode (118). Die erste Elektrode (116) und die zweite Elektrode (118) sind über mindestens einen Festelektrolyten (120) verbunden. Das Verfahren umfasst folgende Schritte:

- mindestens einen Dampfdruckbestimmungsschritt, wobei in dem Dampfdruckbestimmungsschritt mindestens ein Referenzwasserdampfdruck bestimmt wird,
- mindestens einen Kalibrationsmessschritt, wobei in dem Kalibrationsmessschritt mindestens ein Anteil an Wasserdampf in dem Gas elektrochemisch mit dem Sensorelement (110) bestimmt wird.

Eine Kalibrierung des Sensorelements (110) wird unter Verwendung des Referenzwasserdampfdrucks und des in dem Kalibrationsmessschritt bestimmten Anteils an Wasserdampf durchgeführt.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Aus dem Stand der Technik sind eine Vielzahl von Vorrichtungen, insbesondere Sensorelementen, und Verfahren zum Betrieb dieser Vorrichtungen zur Erfassung eines Sauerstoffanteils eines Gases in einem Messgasraum bekannt. Der Sauerstoffanteil kann beispielsweise in Form eines Partialdrucks und/oder in Form eines Prozentsatzes erfasst werden. Aus dem Stand der Technik sind insbesondere keramische Sensorelemente bekannt, welche auf der Verwendung von elektrolytischen Eigenschaften bestimmter Festkörper basieren, also auf ionenleitenden Eigenschaften dieser Festkörper. Insbesondere kann es sich bei diesen Festkörpern um keramische Festelektrolyte handeln, wie beispielsweise Zirkoniumdioxid, insbesondere Yttrium-stabilisiertes Zirkoniumdioxid (YSZ) und/oder Scandium-dotiertes Zirkoniumdioxid (ScSZ). Beispielsweise können derartige Sensorelemente als so genannte Lambda-sonden ausgestaltet sein, wie sie beispielsweise in Robert Bosch GmbH: Sensoren im Kraftfahrzeug, 1. Auflage 2010, Seiten 160–165 beschrieben sind. Mit Breitbandlambdasonden, insbesondere mit planaren Breitbandlambdasonden, kann beispielsweise der Sauerstoffanteil in einem Abgas in einem großen Bereich bestimmt und damit auf ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis im Brennraum geschlossen werden. Die Luftzahl  $\lambda$  beschreibt üblicherweise dieses Luft-Kraftstoff-Verhältnis. Planare Breitbandlambdasonden, welche vorzugsweise als Grenzstromsonde betrieben werden, können insbesondere als Einzeller oder als Doppelzeller aufgebaut sein.

**[0002]** Bei einer Breitbandlambdasonde, insbesondere einem Breitbandlambdasensor, wird die in einem Messhohlraum eindiffundierende Menge an  $O_2$  oder Fettgas entweder anhand eines Grenzstroms, insbesondere bei Einzellern, oder anhand eines zu einer Regelung einer Hohlraumkonzentration auf  $\lambda = 1$  notwendigen Pumpstroms, insbesondere bei Doppelzellern, gemessen. Ein fließender elektrischer Strom, insbesondere ein fließender Messstrom und/oder ein Pumpstrom durch eine Pumpzelle einer Breitbandlambdasonde, ist üblicherweise proportional zu einem  $O_2$ -Gehalt und/oder Fettgas-Gehalt in dem Abgas. Eine Messung der Hohlraumkonzentration erfolgt üblicherweise anhand der Bestimmung einer Nernstspannung zwischen einer Nernstelektrode in dem Messhohlraum, beispielsweise in einem Hohlraum, und einer sauerstoff- und/oder luftbespülten Referenzelektrode in einem Referenzraum. Aus einem beispielsweise linearen Zusammenhang eines Grenzstroms, insbesondere eines Grenzstroms, mit dem Sauerstoffanteil, insbesondere mit dem Sauerstoffpartialdruck, lässt sich beispielsweise eine Messung des Sauerstoffpartialdrucks und/oder des Sauerstoffanteils in dem Abgas durch-

führen. Eine Steigung dieses linearen Zusammenhangs und/oder eine Empfindlichkeit des Sensorelements, insbesondere des Sensors, kann beispielsweise von einer Fertigungstoleranz einer Diffusionsbarriere, insbesondere hinsichtlich einer Dicke und/oder einer Länge und/oder einer Permeabilität und/oder eines Porendurchmessers, abhängen. Um die Fertigungstoleranz auszugleichen, wird beispielsweise bei aus dem Stand der Technik bekannten Sensorelementen, insbesondere bei bekannten Sensoren, beispielsweise ein Trimmwiderstand als Stromteiler in einem Stecker, insbesondere des Sensorelements, besonders bevorzugt der Breitbandlambdasonde, abgeglichen. Alternativ oder zusätzlich kann ein passender von einer ECU (engine control unit) lesbarer Widerstand in dem Stecker getrimmt werden und/oder ein Bypass zur Diffusionsbarriere durch Laserlicht geöffnet werden und/oder die Länge der Diffusionsbarriere durch Schleifen einer Kontur des Sensorelements verkürzt werden.

**[0003]** Aus dem Stand der Technik ist weiterhin ein Abgleich einer Kennlinie in einem Schub, insbesondere an Luft, bekannt, bei welchem ein Faktor in einem Steuergerät zu einer Umrechnung einer Steigung verwendet wird. Es ist weiterhin bekannt, ein Abklingen eines Ausgasens von Benzindämpfen aus einer Ölwanne zu berücksichtigen.

**[0004]** Bekannt ist weiterhin, den Hohlraum elektrochemisch aufzupumpen und nach einer Diffusionszeit aus einem Entleerungsintegral auf einen Diffusionswiderstand der Diffusionsbarriere zu schließen. Aus DE 10 2008 007 238 A1 ist ein Verfahren zum Abgleich eines Sensorelements für eine Sonde bekannt, wobei mit Hilfe einer Pumpelektrode ein Gasgemisch vorgebar, definierter Zusammensetzung eingestellt wird, wobei daraufhin durch die auf der der Abgasseite abgewandten Seite einer Diffusionsbarriere angeordnete Pumpelektrode die zu bestimmende Gaskomponente umgesetzt wird und wobei aus dem hierbei resultierenden Pumpstrom und/oder dem zeitlichen Verlauf des Pumpstroms auf einen Abgleichwert geschlossen wird.

**[0005]** Bekannt sind weiterhin zweizellige Lambda-sonden, bei welchen eine Pumpspannung derart geregelt werden kann, dass sich  $\lambda = 1$  in einem Hohlraum einstellt. Weiterhin sind einzellige Sonden bekannt, welche eine gasseitige Elektrode (GE) im Abgas und eine Referenzelektrode (RE) in einem Referenz zugewandten Volumen besitzen.

**[0006]** Ferner ist aus dem Stand der Technik bekannt, eine Nernstspannung einer geregelt betriebenen Sonde zu ändern, um eine Unterscheidung der Gaszusammensetzung zu ermöglichen sowie eine Modulation einer Sensorelementtemperatur.

**[0007]** Weiterhin ist eine selektive Wasserzersetzung aus dem Stand der Technik im Bereich der Elektrolyse grundsätzlich bekannt. Weiterhin sind Verfahren bekannt, bei denen eine Zusammensetzung von Gasgemischen durch Variation einer Pumpspannung und Auswertung des Pumpstroms ermittelt wird.

**[0008]** Weiterhin sind Verfahren bekannt, bei denen Stromwerte als Funktion vorgegebener Pumpspannungen zur elektrochemischen Detektion verschiedener Gase ausgewertet werden. In GB 2 443 951 A ist beispielsweise eine Methode zum Betrieb eines elektrochemischen Gassensors bekannt, wobei ein Spannungspuls über ein Messelektrodenpaar angelegt wird und ein Strom durch das Messelektrodenpaar, während der Spannungspuls vor dem Strom zu einem konstanten Zustandsniveau zerfällt, erfasst wird.

**[0009]** DE 39 90 187 C2 beschreibt einen elektrochemischen Gassensor, wobei sämtliche Elektroden so angeordnet und ausgebildet sind, dass die Ionenleitfähigkeit mindestens durch Vergrößerung der effektiven Oberfläche einer aktiven Elektrode verbessert wird. Dieser erfindungsgemäße Sensor ist in der Lage, die Anwesenheit von CO, H<sub>2</sub> und anderen Gasen selektiv festzustellen und anzuzeigen, und zwar mittels einer bei einem bestimmten Potenzial durchgeführten Elektrolyse, wobei der Sensor kleine Abmessungen, eine hohe Empfindlichkeit und ausgezeichnete Stabilität besitzt.

**[0010]** Weiterhin ist ein Verfahren bekannt, in dem der Dampfdruck und die relative Feuchte aus dem mit einer Lambdasonde gemessenen Sauerstoffpartialdruck, dem Gesamtdruck und der Temperatur berechnet werden können.

**[0011]** Üblicherweise wird eine Pumpspannung des Sensorelements, insbesondere der Sonde, so eingestellt, dass die Nernstspannung konstant 450 mV beträgt.

**[0012]** In EP 1 710 568 A2 wird ein Sensorelement zur Messung einer Konzentration von NO<sub>x</sub> als Gas Komponente eines Messgases beschrieben, wobei insbesondere ein Heizer in eine Aluminiumoxidisolationsschicht eingelassen ist. US 6,695,964 B1 beschreibt eine Methode und einen Sensor zur Messung einer genauen Bestimmung einer NO<sub>x</sub>-Konzentration in einem Abgas umfassend O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> und einen NO<sub>x</sub>-Gaskonzentrationssensor. Eine Spannung, welche über ein Elektrodenpaar einer zweiten Sauerstoffionepumpzelle angelegt wird, ist derart festgelegt, dass keine Dissoziation von H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> in einer zweiten Messkammer vorliegt.

**[0013]** Die bekannten Verfahren und Vorrichtungen aus dem Stand der Technik weisen einige Nachteile auf. Beispielsweise erfordern bekannte Abgleichver-

fahren einen kostenintensiven Prozess. Ein Schubabgleich, wie im Stand der Technik beschrieben, ist bei Automatikfahrzeugen nur bedingt verwendbar und bei Benzinfahrzeugen üblicherweise wegen einer geschlossenen Drosselklappe durch Benzindämpfe aus einer Ölwanne erheblich verfälscht. Die Verfahren aus dem Stand der Technik liefern insbesondere bei einem dynamischen Abgleich üblicherweise nur ein Signal proportional zu einem Hohlraumvolumen multipliziert mit dem gesuchten Grenzstrom und werden insbesondere durch eine Elektrodenkapazität verfälscht. Wünschenswert wären daher ein Verfahren und eine Vorrichtung, welche den Einfluss der Fertigungsstreuung auf den Grenzstrom der Lambdasonde messen können, insbesondere ein alternatives Abgleichverfahren.

#### Offenbarung der Erfindung

**[0014]** Es werden dementsprechend ein Verfahren und eine Vorrichtung vorgeschlagen, welche die Nachteile bekannter Verfahren und Vorrichtungen zumindest weitgehend vermeiden. Es wird ein Verfahren zum Betrieb eines Sensorelements zur Erfassung eines Sauerstoffanteils eines Gases in einem Messgasraum vorgeschlagen. Das Verfahren kann beispielsweise als dynamischer Abgleich durchgeführt werden, beispielsweise ein oder mehrmals vor und/oder während der Erfassung des Sauerstoffanteils des Gases in dem Messgasraum. Das Verfahren kann insbesondere mindestens eine Kalibrierung umfassen. Bei dem Sensorelement kann es sich prinzipiell um eine beliebige Vorrichtung handeln, welche eingerichtet ist, um den Sauerstoffanteil des Gases in dem Messgasraum zu erfassen. Bei dem Sensorelement kann es sich besonders bevorzugt um ein elektrochemisches Sensorelement handeln. Bei der Erfassung des Sauerstoffanteils kann es sich prinzipiell um eine qualitative Erfassung, besonders bevorzugt um eine quantitative Erfassung, handeln. Bei dem Sauerstoffanteil kann es sich beispielsweise um mindestens eine Sauerstoffkonzentration und/oder mindestens einen Sauerstoffvolumenanteil und/oder mindestens einen Sauerstoffpartialdruck und/oder mindestens eine Luftzahl  $\lambda$  handeln. Bei dem Gas kann es sich prinzipiell um ein beliebiges Gas handeln. Besonders bevorzugt kann es sich bei dem Gas um ein Abgas, beispielsweise einer Brennkraftmaschine, besonders bevorzugt in einem Kraftfahrzeug und/oder in einer Heizanlage, handeln. Bei dem Messgasraum kann es sich prinzipiell um einen beliebigen Raum handeln, welcher mit dem Gas beaufschlagt ist. Besonders bevorzugt kann es sich bei dem Messgasraum um einen Abgastrakt handeln, insbesondere von einer Verbrennungskraftanlage. Bei dem Sensorelement kann es sich insbesondere um ein Sensorelement zum Nachweis von Sauerstoff in einem Abgas einer Verbrennungsmaschine handeln.

**[0015]** Das Sensorelement umfasst mindestens eine erste Elektrode und mindestens eine zweite Elektrode. Die Begriffe "erste" und "zweite" sowie gegebenenfalls "dritte" werden hier und im Folgenden als Bezeichnungen verwendet, ohne Hinweis darauf, dass gegebenenfalls noch weitere Elemente der genannten Art, beispielsweise weitere Elektroden, existieren können und ohne Hinweis auf eine Reihenfolge. Die erste Elektrode und die zweite Elektrode sind über mindestens einen Festelektrolyten verbunden. Unter dem Festelektrolyten kann insbesondere ein keramischer Festelektrolyt verstanden werden, vorzugsweise ein sauerstoffionenleitender keramischer Festelektrolyt, beispielsweise ein auf Zirkoniumdioxid basierender Festelektrolyt. Beispielsweise kann das Sensorelement mindestens eine dritte Elektrode umfassen. Die zweite Elektrode kann beispielsweise mit mindestens einem Hohlraum und/oder mindestens einem Referenzgasraum und/oder mindestens einem Referenzgaskanal, beispielsweise einem Referenzluftkanal, verbunden sein. Die dritte Elektrode kann bevorzugt als Referenzelektrode ausgestaltet sein und beispielsweise mit dem Referenzgasraum und/oder dem Referenzgaskanal und/oder dem Referenzluftkanal verbunden sein. Die erste Elektrode und/oder die zweite Elektrode können mit dem Gas beaufschlagt werden, beispielsweise über mindestens eine Diffusionsbarriere. Unter dem Hohlraum kann ein Raum innerhalb des Sensorelements verstanden werden, welcher zwar baulich von dem Messgasraum separiert ist, welcher aber dennoch mit dem Gas aus dem Messgasraum beaufschlagbar sein kann, beispielsweise über mindestens einen Gaszutrittsweg und/oder über die Diffusionsbarriere. Der Hohlraum und/oder der Referenzgasraum und/oder der Referenzgaskanal kann ganz oder teilweise offen ausgestaltet sein, können jedoch auch ganz oder teilweise mit mindestens einem gasdurchlässigen Medium angefüllt sein, beispielsweise einem porösen Medium, beispielsweise porösem Aluminiumoxid. Der Hohlraum und/oder der Referenzgasraum können insbesondere ausgestaltet sein, um einen Vorrat einer Gaskomponente, beispielsweise von Sauerstoff und/oder von Luft, zu speichern, beispielsweise bevor dieser Vorrat gegebenenfalls an einen anderen Raum abgegeben werden kann. Die dritte Elektrode kann beispielsweise mit mindestens einem Festelektrolyten, beispielsweise den Festelektrolyten wie oben beschrieben, verbunden sein, insbesondere ionenleitend verbunden sein. Die dritte Elektrode kann bevorzugt in dem Referenzgasraum angeordnet sein. Unter der Diffusionsbarriere kann beispielsweise eine Schicht aus einem Material verstanden werden, welche eine Strömung eines Gases und/oder eines Fluids unterdrückt, währenddessen die Schicht eine Diffusion eines Gases und/oder eines Fluids und/oder von Ionen fördert. Das Sensorelement kann weiterhin mindestens ein Heizelement umfassen. Das Heizelement kann insbesondere zur Regelung der Temperatur des Sensorelements, ins-

besondere mindestens eines Teils des Sensorelements, dienen. Das Heizelement kann vorzugsweise der Verbesserung der katalytischen Aktivität der Elektroden, umfassend die erste Elektrode und/oder die zweite Elektrode und/oder die dritte Elektrode, insbesondere an dem Festelektrolyten, dienen.

**[0016]** Das Verfahren umfasst folgende Schritte:

- mindestens einen Dampfdruckbestimmungsschritt, wobei in dem Dampfdruckbestimmungsschritt mindestens ein Referenzwasserdampfdruck bestimmt wird,
- mindestens einen Kalibrationsmessschritt, wobei in dem Kalibrationsmessschritt mindestens ein Anteil an Wasserdampf in dem Gas elektrochemisch mit dem Sensorelement bestimmt wird.

**[0017]** Die Schritte, umfassend den Dampfdruckbestimmungsschritt und/oder den Kalibrationsmessschritt, können beispielsweise mehrfach wiederholt werden, beispielsweise abwechselnd oder in anderen Reihenfolgen. Beispielsweise kann das Verfahren weitere zusätzliche Schritte enthalten, insbesondere Schritte, welche sich von den oben genannten Schritten unterscheiden.

**[0018]** Der Dampfdruckbestimmungsschritt kann beispielsweise zeitlich unabhängig von dem Kalibrationsmessschritt ausgeführt werden. Beispielsweise kann der Dampfdruckbestimmungsschritt gleichzeitig mit dem Kalibrationsmessschritt stattfinden.

**[0019]** Beispielsweise kann der Dampfdruckbestimmungsschritt zeitlich zumindest teilweise mit dem Kalibrationsmessschritt überlappen. Beispielsweise kann der Kalibrationsmessschritt und/oder der Dampfdruckbestimmungsschritt durchgeführt werden, sobald der Dampfdruckbestimmungsschritt und/oder der Kalibrationsmessschritt beendet sind, vorzugsweise vollständig beendet sind. Beispielsweise kann zwischen dem Dampfdruckbestimmungsschritt und/oder dem Kalibrationsmessschritt und/oder einer Wiederholung des Dampfdruckbestimmungsschritts und/oder einer Wiederholung des Kalibrationsmessschritts und/oder eines weiteren Schritts mindestens eine Zeitverzögerung, insbesondere eine Wartepause, durchgeführt werden.

**[0020]** Bei dem Referenzwasserdampfdruck kann es sich beispielsweise um einen Dampfdruck in Torr und/oder bar und/oder um eine Wasserdampfkonzentration und/oder um einen Wasserdampfpartialdruck und/oder um eine Luftfeuchtigkeit handeln. Bei dem Anteil an Wasserdampf kann es sich beispielsweise um einen Dampfdruck in Torr und/oder mbar oder um einen Wasserdampfpartialdruck und/oder um einen Wasserdampfprozentsatz und/oder um eine Luftfeuchtigkeit handeln. Die Bestimmung des Referenzwasserdampfdrucks und/oder des Anteils an

Wasserdampf kann bevorzugt quantitativ sein. Bei der Bestimmung des Referenzwasserdampfdrucks kann es sich insbesondere um eine Bestimmung handeln, welche nicht elektrochemisch, insbesondere nicht durch das Sensorelement, durchgeführt wird und/oder werden kann. Insbesondere können sich die Bestimmung des Referenzwasserdampfdrucks und die Bestimmung des Anteils an Wasserdampf in dem Gas hinsichtlich der Messmethode bevorzugt unterscheiden. Unter dem Ausdruck "elektrochemisch bestimmen" kann beispielsweise verstanden werden, dass eine Bestimmung durchgeführt wird, wobei sowohl elektrische als auch chemische Vorgänge stattfinden und/oder ausgenutzt werden. Beispielsweise kann bei einer "elektrochemischen Bestimmung" mindestens eine chemische Reaktion mit mindestens einem elektrischen Strom verknüpft sein. Beispielsweise kann mindestens ein galvanisches Element an der "elektrochemischen Bestimmung" beteiligt sein. Der Ausdruck "mit dem Sensorelement" kann insbesondere bedeuten, dass der Anteil an Wasserdampf in dem Gas mittels des Sensorelements bestimmt werden kann, zumindest teilweise. Bei der elektrochemischen Bestimmung des Anteils an Wasserdampf in dem Gas kann der Anteil des Wasserdampfs alleine bestimmt werden. Alternativ kann auch ein kombinierter Anteil elektrochemisch bestimmt werden, wobei der kombinierte Anteil neben Wasserdampf mindestens eine weitere Gaskomponente umfasst. Beispielsweise kann in dem Kalibrationsmessschritt ein kombinierter Anteil an Wasserdampf und Sauerstoff in dem Gas elektrochemisch bestimmt werden, beispielsweise ein kombinierter Partialdruck ( $p(\text{H}_2\text{O}) + p(\text{O}_2)$ ) von Wasserdampf und Sauerstoff.

**[0021]** Unter einer Kalibrierung kann allgemein im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Vergleich mindestens zweier auf unterschiedliche Weisen und unabhängig voneinander ermittelten Größen, insbesondere Messgrößen, verstanden werden. Die Kalibrierung kann, basierend auf dem Vergleich, weiterhin mindestens einen Verfahrensschritt umfassen, welcher Abweichungen dieser Größen voneinander, die durch die Bedingungen der Ermittlung der Erfassung dieser Größen bedingt sind, beispielsweise apparativ bedingt sind, ausgleicht. Auf diese Weise können beispielsweise systematische Abweichungen oder apparative Abweichungen ausgeglichen werden. Mindestens eine der Größen kann als Referenzgröße verwendet werden, und das System, welches kalibriert werden soll, kann derart modifiziert werden, dass mindestens eine andere Größe an die Referenzgröße angeglichen wird. Der Ausgleich kann beispielsweise durch eine Veränderung der Hardware und/oder eine rechnerische Beeinflussung oder Beeinflussung einer Software des Systems erfolgen.

**[0022]** Eine Kalibrierung des Sensorelements wird unter Verwendung des Referenzwasserdampfdrucks

und des in dem Kalibrationsmessschritt bestimmten Anteils an Wasserdampf durchgeführt. Bei der Kalibrierung kann es sich beispielsweise um eine Neukalibrierung und/oder um einen Abgleich und/oder um einen dynamischen Abgleich und/oder eine Justierung handeln. Beispielsweise kann die Kalibrierung der Betriebsfähigkeit des Sensorelements und/oder einer Messgenauigkeit dienen. Beispielsweise kann die Kalibrierung bei Neuinbetriebnahme des Sensorelements und/oder nach einem Austausch des Sensorelements und/oder während des Betriebs, beispielsweise um Alterungseffekte zu kompensieren, durchgeführt werden.

**[0023]** Bei der Kalibrierung kann beispielsweise der Referenzwasserdampfdruck mit dem in dem Kalibrationsmessschritt bestimmten Anteil an Wasserdampf verglichen werden. Beispielsweise kann mindestens eine Rechenoperation, insbesondere unter Verwendung des Referenzwasserdampfdrucks und/oder des in dem Kalibrationsmessschritt bestimmten Anteils an Wasserdampf, durchgeführt werden. Beispielsweise kann mindestens eine Differenz zwischen dem Referenzwasserdampfdruck und dem in dem Kalibrationsmessschritt bestimmten Anteil an Wasserdampf gebildet werden. Beispielsweise kann aus mindestens einem Vergleich des Referenzwasserdampfdrucks mit dem in dem Kalibrationsmessschritt bestimmten Anteil an Wasserdampf mindestens eine Kennlinie des Sensorelements abgeglichen werden, beispielsweise hinsichtlich einer Änderung der Steigung der Kennlinie und/oder hinsichtlich eines Hinzufügens mindestens eines Offsets, beispielsweise eines konstanten und/oder eines von dem Sauerstoffanteil abhängigen Offsets.

**[0024]** In dem Dampfdruckbestimmungsschritt kann mindestens eine Temperatur mindestens eines Teils des Sensorelements und/oder einer Umgebung des Sensorelements erfasst werden. Bei der Temperatur des mindestens einen Teils des Sensorelements kann es sich beispielsweise um mindestens eine Temperatur und/oder um mindestens eine mittlere Temperatur zumindest eines Teils des Kraftfahrzeugs und/oder des Abgastrakts und/oder des Sensorelements und/oder des Hohlraums handeln. Beispielsweise kann es sich bei der Temperatur des mindestens einen Teils des Sensorelements auch um eine Durchschnittstemperatur aus verschiedenen Temperaturen verschiedener Teile des Sensorelements und/oder der Umgebung des Sensorelements handeln. Die Erfassung der Temperatur des mindestens einen Teils des Sensorelements und/oder der Umgebung des Sensorelements kann beispielsweise durch mindestens einen Thermometer, insbesondere durch mindestens einen NTC (negative temperature coefficient thermistor), und/oder durch mindestens einen Temperaturfühler durchgeführt werden. Beispielsweise kann es sich bei der Temperatur des Sensorelements auch um eine Außentempe-

ratur, insbesondere außerhalb des Sensorelements und/oder des Abgastrakts, und/oder um eine Gas-temperatur, insbesondere eine Temperatur des Gases, handeln. Bei der Temperatur kann es sich insbesondere um eine mittlere Temperatur, beispielsweise gemittelt über mehrere Messpunkte, beispielsweise über zu verschiedenen Zeiten gemessenen Messpunkten und/oder an verschiedenen Orten gemessenen Messpunkten, handeln. Beispielsweise kann die Temperatur des mindestens einen Teils des Sensorelements und/oder der Umgebung des Sensorelements auch über mindestens eine Wärmebildkamera erfasst werden. Beispielsweise kann die Temperatur auch extern erfasst werden, beispielsweise von einem Wetterdienst, und/oder über mindestens eine Internetverbindung und/oder Funkverbindung und/oder Satellitenverbindung, bereitgestellt werden. Aus der Temperatur kann besonders bevorzugt auf den Referenzwasserdampfdruck geschlossen werden, insbesondere in dem Dampfdruckbestimmungsschritt. Beispielsweise kann mittels mindestens einer Eichkurve aus der Temperatur auf den Referenzwasserdampfdruck geschlossen werden. Beispielsweise kann der Referenzwasserdampfdruck aus der Temperatur berechnet werden, insbesondere bei Vorliegen eines gesättigten Wasserdampfes. Die Erfassung der Temperatur und/oder der Dampfdruckbestimmungsschritt und/oder der Kalibrationsmessschritt können insbesondere während eines Kaltstarts des Sensorelements und/oder des Fahrzeugs durchgeführt werden und/oder während eines anderen Zeitpunkts, zu welchem mindestens ein Teil des Sensorelements und/oder der Umgebung des Sensorelements sich in einem Temperaturngleichgewicht befinden und/oder ein gesättigter Wasserdampf vorliegt, insbesondere das Gas mit Wasserdampf gesättigt ist. Beispielsweise kann der Referenzwasserdampfdruck mit Hilfe der Temperatur aus mindestens einer Kennlinie bestimmt werden.

**[0025]** Das Verfahren kann in mindestens einem Zustand des Sensorelements durchgeführt werden. In dem Zustand kann das Sensorelement zumindest teilweise mit gesättigtem Wasserdampf beaufschlagt sein. Bei dem Zustand kann es sich besonders bevorzugt um einen stabilen Zustand handeln. Beispielsweise kann es sich bei dem Zustand um einen physikalischen Zustand handeln. Insbesondere kann sich der Zustand dadurch auszeichnen, dass sich das Sensorelement und/oder das Gas und/oder die Umgebung des Sensorelements in einem Temperaturngleichgewicht befinden und/oder das Gas mit Wasserdampf gesättigt ist. Bei dem Zustand kann es sich beispielsweise um einen Kaltstart handeln, beispielsweise um einen Zustand in oder direkt nach einer Betriebspause des Sensorelements und/oder des Abgastrakts und/oder des Kraftfahrzeugs. Beispielsweise kann der Zustand des Kaltstarts auch künstlich erzeugt werden. Beispielsweise kann der Zustand und/oder die Beaufschlagung des Sensor-

elements mit gesättigtem Wasserdampf künstlich erzeugt werden, beispielsweise durch mindestens einen Luftbefeuchter und/oder mindestens ein Wasserreservoir und/oder mindestens einen wassergetränkten Docht und/oder mindestens ein Heizelement und/oder durch mindestens eine Brennstoffzelle, insbesondere eine Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle. Besonders bevorzugt handelt es sich bei dem Zustand um einen Zustand, in welchem sich alle Komponenten eines Fahrzeugs und/oder des Sensorelements auf der gleichen Temperatur befinden, insbesondere auf der gleichen Temperatur wie das Gas.

**[0026]** In dem Kalibrationsmessschritt kann eine erste Pumpspannung zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode eingestellt werden. Weiterhin kann in dem Kalibrationsmessschritt, insbesondere bei Vorliegen der ersten Spannung, ein erster Pumpstrom erfasst werden. Der erste Pumpstrom kann insbesondere erfasst werden, um den Anteil an Wasserdampf in dem Gas elektrochemisch mit dem Sensorelement zu bestimmen. Bei dem ersten Pumpstrom kann es sich insbesondere zumindest teilweise um einen Pumpstrom handeln, welcher zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode als Ionenstrom, insbesondere als Strom von Sauerstoffionen, vorliegen kann. Bei der ersten Pumpspannung kann es sich insbesondere um eine elektrische Spannung handeln, welche ausreicht, um eine Wasserersetzung an der ersten Elektrode zu generieren, insbesondere in dem Kalibrationsmessschritt.

**[0027]** Das Verfahren kann weiterhin mindestens einen Standardbetriebsschritt umfassen. Bei dem Standardbetriebsschritt kann es sich beispielsweise um einen Regelbetrieb zur Einstellung und/oder Regelung des Sauerstoffanteils, beispielsweise einer Luftzahl, handeln. Bei dem Standardbetriebsschritt kann es sich besonders bevorzugt um einen Betriebsschritt handeln, bei welchem mittels des Sensorelements ein Sauerstoffanteil in dem Gas erfasst wird. Beispielsweise kann in dem Standardbetriebsschritt der Sauerstoffanteil in dem Gas elektrochemisch mit dem Sensorelement bestimmt werden. Bei dem Standardbetriebsschritt kann es sich insbesondere um einen Schritt bei konventionellen Standardbetrieb handeln, wie beispielsweise aus dem Stand der Technik bekannt und insbesondere in Robert Bosch GmbH: Sensoren im Kraftfahrzeug, 1. Auflage 2010, Seiten 160–165 beschrieben.

**[0028]** In dem Kalibrationsmessschritt kann beispielsweise mindestens eine erste Pumpspannung zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode eingestellt werden, wobei mindestens ein erster Pumpstrom erfasst werden kann. In dem Standardbetriebsschritt kann mindestens eine zweite Pumpspannung zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode eingestellt werden, wobei mindestens ein zweiter Pumpstrom erfasst werden kann. Bei

der ersten Pumpspannung kann es sich insbesondere um eine elektrische Spannung handeln, welche, wie oben beschrieben, ausreicht, um Wasser zu zersetzen. Bei der zweiten Pumpspannung kann es sich insbesondere um eine Spannung handeln, welche bevorzugt nicht ausreicht, um Wasser zu zersetzen. Bei dem ersten Pumpstrom kann es sich beispielsweise um einen Pumpstrom, wie oben beschrieben, handeln. Bei dem ersten Pumpstrom kann es sich um einen Pumpstrom handeln, welcher üblicherweise höher ist als der zweite Pumpstrom. Die erste Pumpspannung kann sich bevorzugt von der zweiten Pumpspannung unterscheiden, insbesondere im Betrag und/oder im Vorzeichen. Der erste Pumpstrom kann insbesondere erfasst werden, um den Anteil an Wasserdampf in dem Gas zu bestimmen.

**[0029]** Die erste Pumpspannung kann beispielsweise um 1 mV bis 10 kV höher, bevorzugt um 500 mV bis 1 kV höher, besonders bevorzugt um 800 mV höher sein als die zweite Pumpspannung. Auch andere Größenunterschiede zwischen der ersten Spannung und der zweiten Spannung können grundsätzlich möglich sein. Der Größenunterschied zwischen der ersten Spannung und der zweiten Spannung kann insbesondere temperaturabhängig sein. Die erste Pumpspannung kann im Vergleich zu der zweiten Pumpspannung insbesondere derart höher sein, dass bei der ersten Pumpspannung eine Wasserzersetzung erfolgt und bei der zweiten Pumpspannung eine Sauerstoffzersetzung erfolgt ohne Wasserzersetzung stattfinden kann. Die erste Pumpspannung kann besonders bevorzugt derart gewählt sein, dass keine Zersetzung von Zirkoniumdioxid oder eines anderen Bestandteils des Gases, außer Sauerstoff und/oder Wasser, und/oder des Sensorelements stattfinden kann. Besonders bevorzugt können die erste Pumpspannung und/oder die zweite Pumpspannung einen Wert haben, bei welchem sich in einem Pumpstrom-Pumpspannungsdiagramm jeweils ein Plateau des Pumpstroms, beispielsweise ein Bereich eines im Wesentlichen konstanten Pumpstroms, befindet.

**[0030]** In dem Kalibrationsmessschritt und/oder in dem Standardbetriebsschritt kann jeweils eine zumindest zeitweise zeitlich konstante Pumpspannung, insbesondere eine konstante erste Pumpspannung und/oder eine konstante zweite Pumpspannung, angelegt werden. Beispielsweise können in dem Kalibrationsmessschritt und/oder in dem Standardbetriebsschritt jeweils mehrere, beispielsweise voneinander verschiedene, erste Pumpspannungen und/oder zweite Pumpspannungen erfasst werden, beispielsweise um festzustellen, ob sich bei den ersten Pumpspannungen und/oder den zweiten Pumpspannungen ein Plateau des Pumpstroms befindet und/oder um einen Mittelwert aus den ersten Pumpspannungen und/oder aus den zweiten Pumpspannungen zu bilden.

**[0031]** In dem Kalibrationsmessschritt und/oder in dem Standardbetriebsschritt kann jeweils eine zumindest zeitweise zeitlich sich ändernde Pumpspannung angelegt werden, insbesondere eine sich zeitlich ändernde erste Pumpspannung und/oder eine sich zeitlich ändernde zweite Pumpspannung. Beispielsweise können die erste Pumpspannung und/oder die zweite Pumpspannung alternierend verändert werden und/oder "gewobbel" werden. Beispielsweise kann es sich bei der ersten Pumpspannung und/oder der zweiten Pumpspannung um eine in der Zeit periodische Spannung handeln, beispielsweise kann es sich bei der ersten Pumpspannung und/oder bei der zweiten Pumpspannung um mindestens eine sinusförmige Spannung und/oder um eine rechteckförmige Spannung und/oder um eine sägezahnförmige Spannung und/oder um eine Dreiecksspannung handeln. Insbesondere kann es sich bei der ersten Pumpspannung und/oder bei der zweiten Pumpspannung um eine sich zumindest zeitweise zeitlich ändernde Pumpspannung handeln, beispielsweise um festzustellen, ob sich die erste Pumpspannung und/oder die zweite Pumpspannung bei einem Plateau des Pumpstroms in Abhängigkeit von der Pumpspannung befindet. Beispielsweise kann in dem Kalibrationsmessschritt und/oder in dem Standardbetriebsschritt derart eine zumindest zeitweise zeitlich sich ändernde Pumpspannung angelegt werden, dass sowohl die erste Pumpspannung als auch die zweite Pumpspannung von der zeitweise zeitlich sich ändernden Pumpspannung überstrichen wird. Beispielsweise kann in einer Periode der sich ändernden Pumpspannung sowohl die erste Pumpspannung als auch die zweite Pumpspannung derart überstrichen werden, dass sowohl der Kalibrationsmessschritt als auch der Standardbetriebsschritt innerhalb einer Periode durchgeführt werden kann. Beispielsweise kann die sich ändernde Pumpspannung zwei Stromplateaus, besonders bevorzugt mit der ersten Pumpspannung und/oder der zweiten Pumpspannung, überstreichen. Beispielsweise kann, während die sich ändernde Pumpspannung angelegt wird, ein sich ändernder Pumpstrom, insbesondere der erste Pumpstrom und/oder der zweite Pumpstrom, erfasst werden, beispielsweise kontinuierlich und/oder als diskrete Werte.

**[0032]** Beispielsweise kann das Verfahren noch mindestens einen zusätzlichen Schritt umfassen. Der Dampfdruckbestimmungsschritt und/oder der Kalibrationsmessschritt und/oder der Standardbetriebsschritt und/oder der zusätzliche Schritte können mehrmals hintereinander ausgeführt werden, insbesondere in unterschiedlichen Reihenfolgen und/oder periodisch wiederholend aufeinander folgend. In dem Verfahren kann mindestens eine Kennlinie, beispielsweise eine Kennlinie des Sensorelements, abgeglichen werden.

**[0033]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere eine Prozedur umfassen, wobei die Prozedur eine Messung des Anteils an Wasser und Sauerstoff ( $p(\text{H}_2\text{O}) + p(\text{O}_2)$ ), insbesondere in dem Kalibrationsmessschritt, umfasst und/oder eine Messung des Anteils an Sauerstoff  $p(\text{O}_2)$ , insbesondere in dem Kalibrationsmessschritt und/oder in dem Standardbetriebsschritt, und/oder eine Bestimmung des Anteils an Wasser  $p(\text{H}_2\text{O})_{\text{Mess}}$ , insbesondere in dem Dampfdruckbestimmungsschritt, und/oder eine Korrektur der Kennlinie, beispielsweise bei der Kalibrierung.  $p(\text{H}_2\text{O})$  kann beispielsweise aus  $(p(\text{H}_2\text{O}) + p(\text{O}_2))$  bestimmt werden, insbesondere durch mindestens eine Rechenoperation und/oder durch den Vergleich, beispielsweise durch eine Subtraktion. Die Korrektur der Kennlinie und/oder die Kalibrierung kann derart erfolgen, dass nach der Korrektur der Kennlinie  $p(\text{H}_2\text{O})_{\text{Mess}} = p(\text{H}_2\text{O})$  erfüllt ist. Diese Korrektur der Kennlinie, insbesondere die Kennlinienkorrektur und/oder der Abgleich, gilt für alle Gasspezies und/oder kann für alle Gasspezies durchgeführt werden, insbesondere auch für einen regulären Sondenbetrieb, insbesondere zur Erfassung von  $p(\text{O}_2)$ .

**[0034]** In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Vorrichtung zur Erfassung eines Sauerstoffanteils eines Gases in einem Messgasraum vorgeschlagen. Die Vorrichtung umfasst mindestens ein Sensorelement. Bevorzugt kann die Vorrichtung ein Sensorelement oder zwei Sensorelemente umfassen. Das Sensorelement umfasst mindestens eine erste Elektrode und mindestens eine zweite Elektrode. Die erste Elektrode und die zweite Elektrode sind über mindestens einen Festelektrolyten, beispielsweise einen Festelektrolyten wie oben beschrieben, verbunden. Die Vorrichtung weist weiterhin mindestens eine Ansteuerung auf. Die Ansteuerung ist eingerichtet, um ein wie oben beschriebenes erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen. Die Ansteuerung kann beispielsweise mit dem Sensorelement verbunden und/oder verbindbar sein. Unter der Ansteuerung kann eine Vorrichtung verstanden werden, welche eingerichtet ist, um mindestens eine Funktion der Vorrichtung, insbesondere des Sensorelements, zu unterstützen und/oder zu steuern, beispielsweise die Erfassung des Anteils an Wasserdampf in dem Kalibrationsmessschritt und/oder die Erfassung des Referenzwasserdampfdrucks. Unter "verbindbar" kann beispielsweise eine Eigenschaft verstanden werden, bei welcher eine elektrische Verbindung hergestellt werden kann oder bereits besteht. Die Ansteuerung kann ganz oder teilweise getrennt von dem Sensorelement ausgestaltet sein, kann jedoch auch ganz oder teilweise in das Sensorelement integriert sein, beispielsweise in mindestens einen Stecker des Sensorelements und/oder der Vorrichtung. Die Ansteuerung kann mindestens eine Spannungsmessvorrichtung und/oder mindestens eine Strommessvorrichtung zur Erfassung des ersten Pumpstroms und/oder des zwei-

ten Pumpstroms und/oder der ersten Pumpspannung und/oder der zweiten Pumpspannung und/oder zur Regelung der ersten Pumpspannung und/oder zur Regelung der zweiten Pumpspannung umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann die Ansteuerung und/oder das Sensorelement und/oder die Vorrichtung mindestens eine Beaufschlagungsvorrichtung aufweisen. Die Beaufschlagungsvorrichtung kann insbesondere mindestens eine Spannungsquelle und/oder mindestens eine Stromquelle umfassen. Beispielsweise kann die Beaufschlagungsvorrichtung eingerichtet sein, um das Sensorelement mit dem ersten Pumpstrom und/oder der ersten Pumpspannung und/oder dem zweiten Pumpstrom und/oder der zweiten Pumpspannung zu beaufschlagen. Die Ansteuerung kann weiterhin eingerichtet sein, um den Kalibrationsmessschritt und/oder den Standardbetriebsschritt durchzuführen und/oder die Kalibrierung des Sensorelements durchzuführen. Die Ansteuerung kann weiterhin mindestens eine Datenverarbeitungsvorrichtung umfassen.

**[0035]** Das Verfahren und die Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung weisen gegenüber bekannten Verfahren und Vorrichtungen eine Vielzahl von Vorteilen auf. Beispielsweise sind in dem erfindungsgemäßen Verfahren keine anderen Abgleichverfahren, beispielsweise mindestens ein Steckerabgleich und/oder mindestens ein Schubabgleich und/oder mindestens ein Laserabgleich, mehr nötig, können allerdings prinzipiell zusätzlich durchgeführt werden. Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann weiterhin ein dynamischer Abgleich realisiert werden, beispielsweise kann eine Alterung des Sensorelements, beispielsweise einer Sonde, kompensiert werden, bevorzugt während des Betriebs.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0036]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

**[0037]** Es zeigen:

**[0038]** [Fig. 1](#) ein Pumpstrom-Pumpspannungs-Diagramm eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

**[0039]** [Fig. 2](#) eine Abhängigkeit des Dampfdrucks von einer Temperatur zur Anwendung bei einem Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

**[0040]** [Fig. 3A](#) ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung während eines Standardbetriebsschritts eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0041] [Fig. 3B](#) ein Pumpstrom-Pumpspannungs-Diagramm für verschiedene Sauerstoffpartialdrücke bei einem Standardbetriebsschritt eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0042] [Fig. 4A](#) ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung während eines Kalibrationsmessschritts eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0043] [Fig. 4B](#) ein Pumpstrom-Pumpspannungs-Diagramm für verschiedene Anteile an Wasserdampf in einem Gas bei einem Kalibrationsmessschritt eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0044] [Fig. 5A](#) ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung bei Durchführung eines Standardbetriebsschritts eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens; und

[0045] [Fig. 5B](#) das weitere Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung bei Durchführung eines Kalibrationsmessschritts eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

#### Ausführungsformen der Erfindung

[0046] In den Figuren sind insbesondere Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betrieb eines Sensorelements **110** zur Erfassung eines Sauerstoffanteils eines Gases in einem Messgasraum **112** dargestellt. In den [Fig. 3A](#), [Fig. 4A](#), [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) sind weiterhin Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen Vorrichtung **114** dargestellt. Die Vorrichtung **114** ist eine Vorrichtung zur Erfassung eines Sauerstoffanteils eines Gases in einem Messgasraum **112**. Die Vorrichtung **114** umfasst mindestens ein Sensorelement **110**. Das Sensorelement **110** umfasst mindestens eine erste Elektrode **116** und mindestens eine zweite Elektrode **118**. Die erste Elektrode **116** und die zweite Elektrode **118** sind über mindestens einen Festelektrolyten **120** verbunden, insbesondere ionenleitend verbunden. Die Vorrichtung **114** weist weiterhin mindestens eine Ansteuerung **122** auf. Die Ansteuerung **122** ist eingerichtet, um ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung **114** kann weiterhin mindestens ein Heizelement **124** und/oder mindestens einen Hohlraum **126** aufweisen. Bei dem Sensorelement **110** kann es sich beispielsweise um mindestens eine Lambdasonde handeln. Das Sensorelement **110** kann beispielsweise mindestens eine Diffusionsbarriere **128** aufweisen. Bei der ersten Elektrode **116** kann es sich beispielsweise um eine äußere Pumpelektrode **130** handeln. Bei der zweiten Elektrode **118** kann es sich bei-

spielsweise um eine innere Pumpelektrode **132** handeln.

[0047] Beispielsweise kann die Vorrichtung **114**, insbesondere das Sensorelement **110**, mindestens eine dritte Elektrode umfassen, insbesondere mindestens eine Nernstelektrode **133**.

[0048] In den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#), [Fig. 3A](#), [Fig. 3B](#), [Fig. 4A](#), [Fig. 4B](#), [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) sind Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betrieb des Sensorelements **110**, insbesondere des Sensorelements **110** wie oben beschrieben, zur Erfassung eines Sauerstoffanteils in einem Gas in dem Messgasraum **112** dargestellt. Das Sensorelement **110** kann beispielsweise wie oben beschrieben ausgestaltet sein. Das Sensorelement **110** umfasst mindestens eine erste Elektrode **116** und mindestens eine zweite Elektrode **118**. Die erste Elektrode **116** und die zweite Elektrode **118** sind über mindestens einen Festelektrolyten **120** verbunden. Das Verfahren umfasst folgende Schritte:

- mindestens einen Dampfdruckbestimmungsschritt, wobei in dem Dampfdruckbestimmungsschritt mindestens ein Referenzdampfdruck bestimmt wird,
- mindestens einen Kalibrationsmessschritt, wobei in dem Kalibrationsmessschritt mindestens ein Anteil an Wasserdampf in dem Gas elektrochemisch mit dem Sensorelement **110** bestimmt wird.

[0049] Eine Kalibrierung des Sensorelements **110** wird unter Verwendung des Referenzwasserdampfdrucks und des in dem Kalibrationsmessschritt bestimmten Anteils an Wasserdampf durchgeführt. Der Anteil an Wasserdampf, insbesondere der Dampfdruck  $p(\text{H}_2\text{O})$ , kann insbesondere durch eine Lambdasonde als Sensorelement **110** gemessen werden. Durch Messung des Referenzwasserdampfdrucks und des Anteils an Wasserdampf in dem Gas mit dem Sensorelement **110** kann beispielsweise mindestens ein Widerstand der Diffusionsbarriere **128**, insbesondere ein Diffusionswiderstand, erfasst werden und ist danach somit bekannt. Hierdurch kann das Sensorelement **110**, insbesondere die Lambdasonde, abgeglichen werden, d.h. Fertigungsstreuungen können in der Ansteuerung **122**, insbesondere in einem Steuergerät, durch eine Anpassung mindestens einer Kennlinie kompensiert werden. In dem Dampfdruckbestimmungsschritt kann mindestens eine Temperatur mindestens eines Teils des Sensorelements **110** und/oder einer Umgebung des Sensorelements **110** erfasst werden. Aus der Temperatur kann auf den Referenzwasserdampfdruck geschlossen werden. Beispielsweise kann während eines Kaltstarts die Temperatur der Abgasanlage bekannt sein. Dies kann beispielsweise darauf zurückzuführen sein, dass sich während des Kaltstarts sämtliche Komponenten des Sensorelements **110** und/oder des Fahrzeugs, welche einer Außenluft ausge-

setzt sind, sich üblicherweise auf einer gleichen Temperatur befinden, somit befindet sich auch die Abgasanlage üblicherweise auf der gleichen Temperatur. Beispielsweise können sich zahlreiche Fühler, insbesondere Temperaturfühler, an dem Sensorelement **110** und/oder in der Umgebung des Sensorelements **110** befinden, beispielsweise in dem Fahrzeug, insbesondere in einer Klimaanlage und/oder in einem Turbolader und/oder in einem Abgastrakt. Mit diesen Temperaturfühlern kann beispielsweise die Temperatur erfasst werden. Da hierdurch die Temperatur, insbesondere die Temperatur der Abgasanlage, bekannt sein kann, ist üblicherweise auch eine Temperatur der Abgasrohrinnenwand, beispielsweise des Krümmers, bekannt. Hierdurch kann auch der Dampfdruck in dem Abgasrohr bekannt sein und/oder erfasst und/oder berechnet werden, beispielsweise über die in **Fig. 2** dargestellte Beziehung zwischen einer Temperatur in °C und einem Dampfdruck, beispielsweise einem Wasserdampfdruck  $p$  ( $H_2O$ ) in Torr. Aus der erfassten Temperatur kann somit beispielsweise mittels des in **Fig. 2** dargestellten Zusammenhangs der Referenzwasserdampfdruck in dem Dampfdruckbestimmungsschritt bestimmt werden. **Fig. 2** zeigt insbesondere eine Abhängigkeit des Dampfdrucks von Wasser von der Umgebungstemperatur in einem möglicherweise relevanten Temperaturbereich, insbesondere zwischen  $-10^\circ\text{C}$  und  $60^\circ\text{C}$ . Weitere Einflüsse auf den Dampfdruck können beispielsweise unberücksichtigt bleiben, können beispielsweise aber auch im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens erfasst und/oder berücksichtigt werden, beispielsweise im Rahmen einer Fehlerrechnung und/oder einer Korrektur und/oder einer Störungsrechnung. Insbesondere können Einflüsse auf den Dampfdruck, insbesondere auf den Referenzwasserdampfdruck, berücksichtigt werden, beispielsweise eine Abweichung von einem Zustand mit einem gesättigten Wasserdampfdruck und/oder Einflüsse durch das Abgas und/oder Einflüsse durch Temperaturunterschiede und/oder durch Temperaturgradienten und/oder Einflüsse durch Luftdruckänderungen. **Fig. 2** zeigt insbesondere die Abhängigkeit des Wasserdampfdrucks, beispielsweise des Referenzwasserdampfdrucks,  $p(H_2O)$ , gegenüber der Temperatur  $T$  in °C. Beispielsweise kann der Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Referenzwasserdampfdruck angepasst werden, beispielsweise bei einer Änderung der relativen Luftfeuchte, beispielsweise je nach Wetterlage und/oder Klimatisierung, beispielsweise eines Abstellortes.

**[0050]** Das Verfahren kann insbesondere in einem Zustand des Sensorelements **110** durchgeführt werden. Das Sensorelement **110** kann in dem Zustand zumindest teilweise mit gesättigtem Wasserdampf beaufschlagt sein.

**[0051]** In dem Kalibrationsmessschritt kann eine erste Pumpspannung **134**, wie beispielsweise in den

**Fig. 1** und **Fig. 4B** dargestellt, zwischen der ersten Elektrode **116** und der zweiten Elektrode **118** eingestellt und/oder beaufschlagt und/oder angelegt werden. Hierbei kann mindestens ein erster Pumpstrom **136** erfasst werden.

**[0052]** Das Verfahren kann weiterhin mindestens einen Standardbetriebsschritt umfassen. In dem Standardbetriebsschritt kann der Sauerstoffanteil in dem Gas elektrochemisch mit dem Sensorelement **110** bestimmt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise eine Messmethode umfassen, insbesondere eine Messmethode der Lambdasonde, mit deren Hilfe sowohl der Sauerstoffanteil, beispielsweise ein Sauerstoffpartialdruck, als auch ein Anteil an Wasserdampf, insbesondere ein Wasserdampfpartialdruck, insbesondere bei Verbrennungsmotoren, ermittelt werden können. Beispielsweise kann nach dem erfindungsgemäßen Verfahren das Sensorelement **110**, insbesondere eine gewöhnliche Breitbandlambdasonde, als Feuchtesensor eingesetzt werden, hierdurch lässt sich insbesondere der Anteil an Wasserdampf in dem Gas, insbesondere eine Luftfeuchte, messen.

**[0053]** In dem Kalibrationsmessschritt kann die erste Pumpspannung **134** zwischen der ersten Elektrode **116** und der zweiten Elektrode **118** eingestellt werden. Mindestens der erste Pumpstrom **136** kann erfasst werden. In dem Standardbetriebsschritt kann mindestens eine zweite Pumpspannung **138** zwischen der ersten Elektrode **116** und der zweiten Elektrode **118** eingestellt werden. Hierbei kann beispielsweise mindestens ein zweiter Pumpstrom **140** erfasst werden. Die erste Pumpspannung **134** kann sich bevorzugt von der zweiten Pumpspannung **138** unterscheiden und/oder der erste Pumpstrom **136** kann sich von dem zweiten Pumpstrom **140** unterscheiden.

**[0054]** Beispielsweise kann die erste Pumpspannung **134** um 1 mV bis 10 kV höher, bevorzugt um 500 mV bis 1 kV höher, besonders bevorzugt um 800 mV höher sein als die zweite Pumpspannung **138**. In dem erfindungsgemäßen Verfahren kann neben einem Sauerstoffsignal, insbesondere neben dem zweiten Pumpstrom **140**, in einem Regelbetrieb des Sensorelements **110**, insbesondere der Sonde, auch direkt der Anteil an Wasserdampf, insbesondere eine Feuchte, bevorzugt eines Kathodenzweigs, erfasst werden. Hierzu kann eine Pumpspannung an einer Sensorzelle der Sonde, insbesondere des Sensorelements **110**, beispielsweise eine Pumpspannung zwischen der ersten Elektrode **116** und der zweiten Elektrode **118**, auf einen Wert oberhalb der Zersetzungsspannung des Wassers erhöht werden.

**[0055]** Beispielsweise kann sich, insbesondere in einem Grenzstrombetrieb, das SONDENSIGNAL, beispielsweise der erste Pumpstrom **136** und/oder der zweite Pumpstrom **140** und/oder eine hiermit kor-

relierende Größe, wie im Folgenden beschrieben und in den [Fig. 1](#), [Fig. 3B](#) und [Fig. 4B](#) dargestellt, zusammensetzen. Der Standardbetriebsschritt kann beispielsweise einen konventionellen Regelbetrieb des Sensorelements **110**, insbesondere der Sonde, umfassen. Hierbei kann das Sondersignal, beispielsweise der zweite Pumpstrom **140** und/oder eine hierzu korrespondierende Größe, beispielsweise eine elektrische Spannung, mit dem Sauerstoffanteil in dem Gas, insbesondere mit der  $O_2$ -Konzentration, korrelieren. Der Kalibrationsmessschritt kann insbesondere mindestens einen Sondenbetrieb bei erhöhter Pumpspannung, insbesondere bei der ersten Pumpspannung **134**, umfassen. In dem Kalibrationsmessschritt, insbesondere in dem Sondenbetrieb, kann das Sondersignal, beispielsweise der erste Pumpstrom **136**, mit der Summe aus dem Sauerstoffanteil in dem Gas, insbesondere der  $O_2$ -Konzentration, und dem Anteil an Wasserdampf in dem Gas, insbesondere einer  $H_2O$ -Konzentration, korrelieren. Beispielsweise kann das Sensorelement **110**, insbesondere wie oben beschrieben, über mindestens einen Betriebszyklus, beispielsweise einen vollständigen Betriebszyklus, einen Verlauf des Anteils an Wasserdampf in dem Gas, insbesondere mindestens eine Feuchtigkeitskonzentration, und/oder den Sauerstoffanteil in dem Gas, insbesondere die Sauerstoffkonzentration, erfassen. In [Fig. 1](#) ist insbesondere ein Zahlenbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. [Fig. 1](#) zeigt insbesondere einen schematischen Pumpstromverlauf eines Pumpstroms  $I_p$  über einer Pumpspannung  $U_p$  mit zwei Grenzstromplateaus, jeweils ein Grenzstromplateau für  $O_2$  **142** und ein Grenzstromplateau für  $H_2O + O_2$  **144**, insbesondere für  $H_2O$  und  $O_2$ . Bei der Pumpspannung kann es sich um die erste Pumpspannung **134** und/oder um die zweite Pumpspannung **138** handeln. Bei dem Pumpstrom kann es sich um den ersten Pumpstrom **136** und/oder den zweiten Pumpstrom **140** handeln. Die angegebene Pumpspannung, insbesondere die Breite des Grenzstromplateaus für  $O_2$  **142** von ungefähr 0,8 V, kann als Beispielwert angesehen werden.

**[0056]** In dem erfindungsgemäßen Verfahren, insbesondere in dem Standardbetriebsschritt, beispielsweise in dem konventionellen Regelbetrieb, kann der Pumpstrom, insbesondere der zweite Pumpstrom **140**, bei einer Pumpspannung, insbesondere bei der zweiten Pumpspannung **138** von ungefähr  $U_p = 400$  mV, ein Maximum, insbesondere sein Maximum, bevorzugt ein lokales Maximum, besonders bevorzugt einen Sattelpunkt, erreichen. Hier kann insbesondere das Grenzstromplateau für  $O_2$  **142** erreicht werden, wie beispielsweise in den [Fig. 1](#), [Fig. 3B](#) und [Fig. 4B](#) dargestellt, in [Fig. 3B](#) insbesondere für verschiedene Sauerstoffanteile in dem Gas. Die benötigte Pumpspannung, beispielsweise für die Sauerstoffzerersetzung, insbesondere die zweite Pumpspannung **138**, setzt sich üblicherweise zusammen aus:

$U_p = I_{gO_2} \cdot R_{iDC} + U_{O_2\text{-Reduktion}} + U_{O_2\text{-Oxidation}}$ .  $U_p$  steht hierbei für die Pumpspannung, insbesondere für die zweite Pumpspannung **138**,  $I_{gO_2}$  steht hierbei für den zweiten Pumpstrom **140**, insbesondere für einen Grenzstrom an der Diffusionsbarriere **128** für  $O_2$ ,  $R_{iDC}$  steht für einen Innenwiderstand des Sensorelements **110**, insbesondere einen Innenwiderstand der Lambdasonde und/oder des Sensorelements **110**.  $R_{iDC} = R_{IPN} + R_{Elektrolyt} + R_{APE}$ , wobei  $R_{IPN}$  für den Widerstand einer inneren Pumpelektrode (IPN) **132**,  $R_{Elektrolyt}$  für den Widerstand des Festelektrolyten **120**, insbesondere eines Elektrolyten, und  $R_{APE}$  für den Widerstand einer äußeren Pumpelektrode (APE) **130** steht. Bei der inneren Pumpelektrode **132** kann es sich insbesondere um die zweite Elektrode **118** handeln, bei der äußeren Pumpelektrode **130** kann es sich insbesondere um die erste Elektrode **116** handeln. Bei unterschiedlichen Sauerstoffpartialdrücken an den Elektroden kann sich eine Nernstspannung ergeben, die hier als  $U_{O_2\text{-Reduktion}}$  und  $U_{O_2\text{-Oxidation}}$  bezeichnet wird. Eine Reduktionsspannung an der zweiten Elektrode **118**, insbesondere an der inneren Pumpelektrode **132**, und eine Oxidationsspannung an der ersten Elektrode **116**, insbesondere an der äußeren Pumpelektrode **130**, können betragsmäßig gleich groß sein, so dass gilt:  $U_{O_2\text{-Reduktion}} + U_{O_2\text{-Oxidation}} = 0$  mV. Üblicherweise sind alle Widerstände und Spannungen hierbei temperaturabhängig. Diese Temperaturabhängigkeit kann beispielsweise in dem erfindungsgemäßen Verfahren berücksichtigt werden, beispielsweise durch Verwendung nicht konstanter Pumpspannungen, insbesondere von einer sich zeitlich ändernden ersten Pumpspannung **134** und/oder einer sich zeitlich ändernden zweiten Pumpspannung **138**. Der Betrieb des Sensorelements **110** in diesem Standardbetriebsschritt, insbesondere der Betrieb der Sonde, kann bevorzugt über mindestens eine Nernstspannungsregelung, beispielsweise als Teil der Ansteuerung **122**, erfolgen, bevorzugt mit einer Regelung auf  $\lambda = 1$ .

**[0057]** Der Kalibrationsmessschritt kann insbesondere einen Sondenbetrieb mit erhöhter Pumpspannung umfassen. Bei der erhöhten Pumpspannung, insbesondere im Vergleich zu der zweiten Pumpspannung **138**, kann es sich beispielsweise um die erste Pumpspannung **134** handeln. Der Pumpstrom, wie in [Fig. 1](#) oder [Fig. 4B](#) dargestellt, kann beispielsweise als erster Pumpstrom **136** bei einer Pumpspannung von ungefähr  $\Delta U_p = 600$  mV nach Erreichen des Grenzstromplateaus von  $O_2$  **142**, vorzugsweise nach  $\Delta U_p = 800$  mV, ein zweites Maximum erreichen, insbesondere ein zweites Grenzstromplateau, beispielsweise ein Grenzstromplateau für  $H_2O + O_2$  **144**, bevorzugt einen zweiten Sattelpunkt. In dem Kalibrationsmessschritt kann, beispielsweise neben dem Grenzstromplateau für  $O_2$  **142**, auch das Grenzstromplateau für  $H_2O + O_2$  **144** erreicht werden. Die benötigte Pumpspannung, insbesondere die erste Pumpspannung **134**, besonders bevor-

zugt die Pumpspannung für den Kalibrationsmessschritt, kann sich zusammensetzen aus:  $U_p = (I_{g_{O_2}} + I_{g_{H_2O}}) \cdot R_{iDC} + U_{H_2O\text{-Reduktion}}(IPN) + U_{O_2\text{-Oxidation}}(APE)$ .  $I_{g_{H_2O}}$  steht hierbei für den Grenzstrom an der Diffusionsbarriere **128** bei  $H_2O$ ,  $U_{H_2O\text{-Reduktion}}$  steht hierbei für die Reduktionsspannung von  $H_2O$  an der inneren Pumpelektrode (IPN) **132** und  $U_{O_2\text{-Oxidation}}$  steht hierbei für die Oxidationsspannung bei  $O_2$  an der äußeren Pumpelektrode (APE) **130**. Diese Reduktionsspannung und diese Oxidationsspannung sind üblicherweise betragsmäßig unterschiedlich groß. Ein Zahlenbeispiel für die Wasserzerersetzung kann insbesondere lauten:  $U_p > 0,8 \text{ V} + (I_{g_{O_2}} + I_{g_{H_2O}}) \cdot R_{iDC}$ . Der Betrieb des Sensorelements **110**, insbesondere der Sonde, kann, insbesondere in dem Kalibrationsmessschritt, über eine Pumpspannungssteuerung erfolgen, welche beispielsweise von der Ansteuerung **122** umfasst werden kann. **Fig. 1** zeigt insbesondere den Grenzstrom von  $O_2$ , insbesondere den Grenzstrom am Grenzstromplateau für  $O_2$  **142** ( $I_{g_{O_2}}$ ), und den Grenzstrom  $H_2O + O_2$ , insbesondere am Grenzstromplateau für  $H_2O + O_2$  **144** ( $I_{g_{H_2O}}$ ). Das Grenzstromplateau für  $O_2$  **142** kann beispielsweise ungefähr  $0,8 \text{ V}$  breit sein. In dem Grenzstromplateau für  $H_2O + O_2$  **144** kann der Pumpstrom  $I_{g_{O_2}}$ , insbesondere in dem Normalbetrieb, beispielsweise in dem Standardbetriebsschritt, bevorzugt als zweiter Pumpstrom **140**, abgelesen werden. Weiterhin zeigt **Fig. 1** den Strom  $I_{g_{H_2O}}$ , insbesondere bei dem Betrieb mit erhöhter Pumpspannung, insbesondere in dem Kalibrationsmessschritt, beispielsweise zur Wasserzerersetzung, besonders bevorzugt als Teil des ersten Pumpstroms **136**. Weiterhin wird ein Anstieg des Pumpstroms bei weiterer Erhöhung der Pumpspannung angedeutet, insbesondere bis hin zu einer Zerersetzung von  $ZrO_2$ .

**[0058]** In den **Fig. 3A** und **Fig. 3B** ist ein Ausführungsbeispiel eines Standardbetriebsschritts, insbesondere einer Lambdasonde in einem  $XO_2$ -Messbetrieb, dargestellt.  $X$  steht hierbei bevorzugt für den Sauerstoffanteil in dem Gas und/oder für den Anteil an Wasserdampf in dem Gas. **Fig. 3A** zeigt insbesondere ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung **114**, wobei durch Pfeile ein Pumpstrom, insbesondere der zweite Pumpstrom **140**, dargestellt ist. **Fig. 3B** zeigt ein Diagramm des Pumpstroms, insbesondere des zweiten Pumpstroms **140**, über der Pumpspannung, insbesondere der zweiten Pumpspannung **138**, insbesondere für unterschiedlich hohe Sauerstoffanteile in dem Gas, bevorzugt für unterschiedlich hohe Drücke, insbesondere für ansteigende Drücke von  $p_1$  über  $p_2$  zu  $p_3$ .

**[0059]** Bei den in **Fig. 3A** und **Fig. 4A** dargestellten Ausführungsbeispielen erfindungsgemäßer Vorrichtungen **114** kann es sich insbesondere um Breitbandlambdasonden handeln. Beispielsweise kann es sich in **Fig. 4A** und **Fig. 5A** um das gleiche Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung

**114** handeln. In den **Fig. 4A** und **Fig. 4B** ist ein Ausführungsbeispiel eines Kalibrationsmessschritts des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, insbesondere eine Lambdasonde in einem ( $XO_2 + XH_2O$ )-Messbetrieb. In **Fig. 4A** ist ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung **114** dargestellt, wobei insbesondere ein Pumpstrom, besonders bevorzugt der erste Pumpstrom **136**, dargestellt ist und/oder, wie auch in **Fig. 3A**, eine Beaufschlagung des Sensorelements **110** mit dem Gas. In den **Fig. 3A**, **Fig. 3B**, **Fig. 4A** und **Fig. 4B** sind insbesondere Funktionsweisen der erfindungsgemäßen Vorrichtung **114** dargestellt. **Fig. 4B** zeigt Pumpströme  $I_p$ , insbesondere erste Pumpströme **136**, gegenüber einer Pumpspannung, insbesondere der ersten Pumpspannung **134** und der zweiten Pumpspannung **138**, insbesondere für unterschiedlich große Anteile an Wasserdampf in dem Gas, insbesondere ansteigend von (1), über (2) zu (3). Dargestellt ist unter anderem das Grenzstromplateau für  $O_2$  **142** und verschiedene Grenzstromplateaus für unterschiedliche Anteile an Wasserdampf in dem Gas **144**.

**[0060]** In **Fig. 5A** sind insbesondere ein Reduktionsmechanismus von Sauerstoff ( $O_2$ ) eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens, beispielsweise ein Standardbetriebsschritt, und ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung **114** dargestellt. **Fig. 5B** zeigt einen Reduktionsmechanismus für Wasser ( $H_2O$ ), beispielsweise eines Kalibrationsmessschritts eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens. In den **Fig. 5A** und **Fig. 5B** sind insbesondere Reduktionsmechanismen in einem Hohlraum **126** einer Lambdasonde dargestellt.

**[0061]** In dem Kalibrationsmessschritt und/oder in dem Standardbetriebsschritt kann jeweils eine zumindest zeitweise zeitlich konstante Pumpspannung angelegt werden, insbesondere eine erste Pumpspannung **134** und/oder eine zweite Pumpspannung **138**. Unter einer zeitlich konstanten Pumpspannung kann insbesondere eine Pumpspannung, beispielsweise die erste Pumpspannung **134** und/oder die zweite Pumpspannung **138**, verstanden werden, wobei der Betrag der Pumpspannung zumindest über einen Zeitraum von mindestens  $1 \text{ ms}$ , bevorzugt  $10 \text{ ms}$ , besonders bevorzugt  $100 \text{ ms}$  im Wesentlichen konstant bleibt. Unter "im Wesentlichen konstant" kann insbesondere eine Konstanz der Pumpspannung innerhalb eines Bereichs von wenigen  $V$ , bevorzugt von weniger als  $100 \text{ mV}$ , besonders bevorzugt von weniger als  $1 \text{ mV}$  verstanden werden.

**[0062]** In dem Kalibrationsmessschritt und/oder in dem Standardbetriebsschritt kann eine zumindest zeitweise zeitlich sich ändernde Pumpspannung, insbesondere die erste Pumpspannung **134** und/oder die zweite Pumpspannung **138**, angelegt werden, insbesondere zwischen der ersten Elektrode **116** und

der zweiten Elektrode **118** und/oder der zweiten Elektrode **118** und der dritten Elektrode. Beispielsweise kann sich alternativ oder zusätzlich eine Pumpspannung, insbesondere die erste Pumpspannung **134** und/oder die zweite Pumpspannung **138**, alternierend und/oder "gewobbel" erhöhen, beispielsweise mit einer Amplitude von 1 mV bis 1 V, bevorzugt von 100 mV bis 200 mV, besonders bevorzugt von ungefähr 150 mV, insbesondere gesteuert von der Ansteuerung **122**. Insbesondere kann sich die Pumpspannung erhöhen und/oder die Pumpspannung kann erhöht werden, bevorzugt geregelt durch die Ansteuerung **122**, bis zu einem zweiten Mal eine Stromänderung, insbesondere des ersten Pumpstroms **136** und/oder des zweiten Pumpstroms **140**, von weniger als 100 mA, bevorzugt von weniger als 1 mA, besonders bevorzugt von weniger als 0,5 mA erreicht ist und/oder erfasst werden kann. Hierbei kann insbesondere angenommen werden, dass das Grenzstromplateau für  $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$  **144** erreicht ist, insbesondere sicher erreicht ist. Diese alternative Betriebsweise, insbesondere mit einer zumindest zeitweise zeitlich sich ändernden Pumpspannung, kann allerdings unter Umständen eine verringerte Dynamik aufweisen. Insbesondere kann die erste Pumpspannung **134** und/oder die zweite Pumpspannung **138** und/oder die Nernstspannung in dem Sondenbetrieb und/oder in dem Standardbetriebsschritt und/oder in dem Kalibrationsmessschritt derart variiert werden, dass sich mindestens zwei Betriebspunkte ergeben: beispielsweise mindestens einen Regelbetrieb, bevorzugt bei einer Nernstspannung von ungefähr  $U_N = 450$  mV, insbesondere für eine Messung des Sauerstoffanteils  $p(\text{O}_2)$ , insbesondere in dem Standardbetriebsschritt, und mindestens einen Regelbetrieb, bevorzugt bei ungefähr  $U_N = 1000$  mV, insbesondere bei einer Messung von  $p(\text{O}_2) + p(\text{H}_2\text{O})$ , insbesondere in dem Kalibrationsmessschritt. Der Dampfdruckbestimmungsschritt und/oder der Kalibrationsmessschritt und/oder der Standardbetriebsschritt kann mehrmals hintereinander ausgeführt werden, beispielsweise in unterschiedlichen Reihenfolgen. Mindestens eine Kennlinie kann hierbei abgeglichen werden. Besonders bevorzugt kann das erfindungsgemäße Verfahren, umfassend insbesondere den Kalibrationsmessschritt und/oder den Standardbetriebsschritt, mit einem Sensorelement **110** durchgeführt werden. Beispielsweise kann das erfindungsgemäße Verfahren auch mit zwei Sensorelementen **110** und/oder mit zwei erfindungsgemäßen Vorrichtungen **114** durchgeführt werden. Beispielsweise kann der Kalibrationsmessschritt mit einem ersten Sensorelement **110** durchgeführt werden und der Standardbetriebsschritt mit einem zweiten Sensorelement **110**. Beispielsweise kann eine Lambdasonde für eine Vermessung und/oder Erfassung von  $p(\text{O}_2)$  verwendet werden, insbesondere für den Standardbetriebsschritt, und eine weitere Lambdasonde für die Vermessung und/oder Erfassung von  $p(\text{O}_2 + \text{Dampf})$ , insbesondere für den Kalibrations-

messschritt. Ein Dampfdruck, insbesondere der Anteil an Wasserdampf in dem Gas, kann sich ergeben aus:  $p(\text{Dampf}) = p(\text{O}_2 + \text{Dampf}) - p(\text{O}_2)$ . Alternativ oder zusätzlich kann eine Lambdasonde für eine abwechselnde und/oder gleichzeitige Vermessung von  $p(\text{O}_2)$  und  $p(\text{O}_2 + \text{Dampf})$  verwendet werden. Der Dampfdruck kann hierbei beispielsweise ebenfalls mit oben beschriebener Gleichung berechnet und/oder erfasst werden. Eine Dynamik der Messung, insbesondere des erfindungsgemäßen Verfahrens, insbesondere ein Zyklus des erfindungsgemäßen Verfahrens, beispielsweise umfassend mindestens einen Dampfdruckbestimmungsschritt und/oder mindestens einen Kalibrationsmessschritt und/oder mindestens einen Standardbetriebsschritt, kann beispielsweise weniger als 1 s, bevorzugt weniger als 500 ms, besonders bevorzugt weniger als 100 ms betragen. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann es sich insbesondere um einen autonomen Abgleich handeln. Dem erfindungsgemäßen Verfahren kann insbesondere die Erkenntnis zugrunde liegen, dass üblicherweise zwischen einem Diffusionswiderstand für Sauerstoff und einem Diffusionswiderstand für Wasserdampf ein reproduzierbarer Zusammenhang, insbesondere ein gut reproduzierbarer Zusammenhang, besteht. Bei dem Diffusionswiderstand kann es sich insbesondere um einen Diffusionswiderstand der Diffusionsbarriere **128** und/oder des Festelektrolyten **120** handeln.

**[0063]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung **114** kann insbesondere mindestens ein Heizelement **124** umfassen. Das Heizelement **124** kann eingerichtet sein, um, beispielsweise in einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens, eine Betriebstemperatur einzuregulieren und/oder zu kontrollieren. Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise bei einer Temperatur von 500 bis 1000 °C, bevorzugt von 700 bis 800 °C, besonders bevorzugt von ungefähr 780 °C durchgeführt werden. Beispielsweise kann eine Betriebstemperatur von  $T = 780$  °C angestrebt werden. Hierdurch können sich beispielsweise eine geringere Zersetzungsspannung und/oder eine Verschiebung der Plateaus, insbesondere der Grenzstromplateaus, beispielsweise hin zu niedrigeren Spannungen, insbesondere zu einer niedrigeren ersten Pumpspannung **134** und/oder zu einer niedrigeren zweiten Pumpspannung **138**, ergeben. Eine alternative Betriebsweise mit einer zumindest zeitweise sich zeitlich ändernden Pumpspannung kann beispielsweise angewendet werden, wenn ein Benutzer und/oder die Ansteuerung **122** die erste Pumpspannung **134** und/oder die zweite Pumpspannung **138**, insbesondere zur Messung des Grenzstromplateaus für  $\text{O}_2$  **142** und/oder des Grenzstromplateaus für  $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$  **144**, nicht kennt und/oder sich dieses verschoben hat, beispielsweise durch mindestens eine Temperaturänderung mindestens eines Teils des Sensorelements **110** und/oder der Umgebung und/

oder durch einer Alterung, beispielsweise des Senso-  
relements **110**.

## ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

### Zitierte Patentliteratur

- DE 102008007238 A1 [0004]
- GB 2443951 A [0008]
- DE 3990187 C2 [0009]
- EP 1710568 A2 [0012]
- US 6695964 B1 [0012]

### Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Robert Bosch GmbH: Sensoren im Kraftfahrzeug, 1. Auflage 2010, Seiten 160–165 [0001]
- Robert Bosch GmbH: Sensoren im Kraftfahrzeug, 1. Auflage 2010, Seiten 160–165 [0027]

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Sensorelements (110) zur Erfassung eines Sauerstoffanteils eines Gases in einem Messgasraum (112), wobei das Sensorelement (110) mindestens eine erste Elektrode (116) und mindestens eine zweite Elektrode (118) umfasst, wobei die erste Elektrode (116) und die zweite Elektrode (118) über mindestens einen Festelektrolyten (120) verbunden sind, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- mindestens einen Dampfdruckbestimmungsschritt, wobei in dem Dampfdruckbestimmungsschritt mindestens ein Referenzwasserdampfdruck bestimmt wird,
- mindestens einen Kalibrationsmessschritt, wobei in dem Kalibrationsmessschritt mindestens ein Anteil an Wasserdampf in dem Gas elektrochemisch mit dem Sensorelement (110) bestimmt wird, wobei eine Kalibrierung des Sensorelements (110) unter Verwendung des Referenzwasserdampfdrucks und des in dem Kalibrationsmessschritt bestimmten Anteils an Wasserdampf durchgeführt wird.

2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei in dem Dampfdruckbestimmungsschritt mindestens eine Temperatur mindestens eines Teils des Sensorelements (110) und/oder einer Umgebung des Sensorelements (110) erfasst wird, wobei aus der Temperatur auf den Referenzwasserdampfdruck geschlossen wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren in einem Zustand des Sensorelements (110) durchgeführt wird, wobei das Sensorelement (110) in dem Zustand zumindest teilweise mit gesättigtem Wasserdampf beaufschlagt ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend mindestens einen Standardbetriebsschritt, wobei in dem Standardbetriebsschritt der Sauerstoffanteil in dem Gas elektrochemisch mit dem Sensorelement (110) bestimmt wird.

5. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei in dem Kalibrationsmessschritt eine erste Pumpspannung (134) zwischen der ersten Elektrode (116) und der zweiten Elektrode (118) eingestellt wird, wobei mindestens ein erster Pumpstrom (136) erfasst wird, wobei in dem Standardbetriebsschritt mindestens eine zweite Pumpspannung (138) zwischen der ersten Elektrode (116) und der zweiten Elektrode (118) eingestellt wird, wobei mindestens ein zweiter Pumpstrom (140) erfasst wird, wobei sich die erste Pumpspannung (134) von der zweiten Pumpspannung (138) unterscheidet.

6. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die erste Pumpspannung (134) um 1 mV bis 10

kV höher, bevorzugt um 500 mV bis 1 kV höher, besonders bevorzugt um 800 mV höher ist als die zweite Pumpspannung (138).

7. Verfahren nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, wobei in dem Kalibrationsmessschritt und/oder in dem Standardbetriebsschritt jeweils eine zumindest zeitweise zeitlich konstante Pumpspannung angelegt wird.

8. Verfahren nach einem der vier vorhergehenden Ansprüche, wobei in dem Kalibrationsmessschritt und/oder in dem Standardbetriebsschritt jeweils eine zumindest zeitweise zeitlich sich ändernde Pumpspannung angelegt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Dampfdruckbestimmungsschritt und/oder der Kalibrationsmessschritt und/oder der Standardbetriebsschritt mehrmals hintereinander ausgeführt werden, wobei mindestens eine Kennlinie abgeglichen wird.

10. Vorrichtung (114) zur Erfassung eines Sauerstoffanteils eines Gases in einem Messgasraum (112), wobei die Vorrichtung (114) mindestens ein Sensorelement (110) umfasst, wobei das Sensorelement (110) mindestens eine erste Elektrode (116) und mindestens eine zweite Elektrode (118) umfasst, wobei die erste Elektrode (116) und die zweite Elektrode (118) über mindestens einen Festelektrolyten (120) verbunden sind, wobei die Vorrichtung (114) weiterhin mindestens eine Ansteuerung (122) aufweist, wobei die Ansteuerung (122) eingerichtet ist, um ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

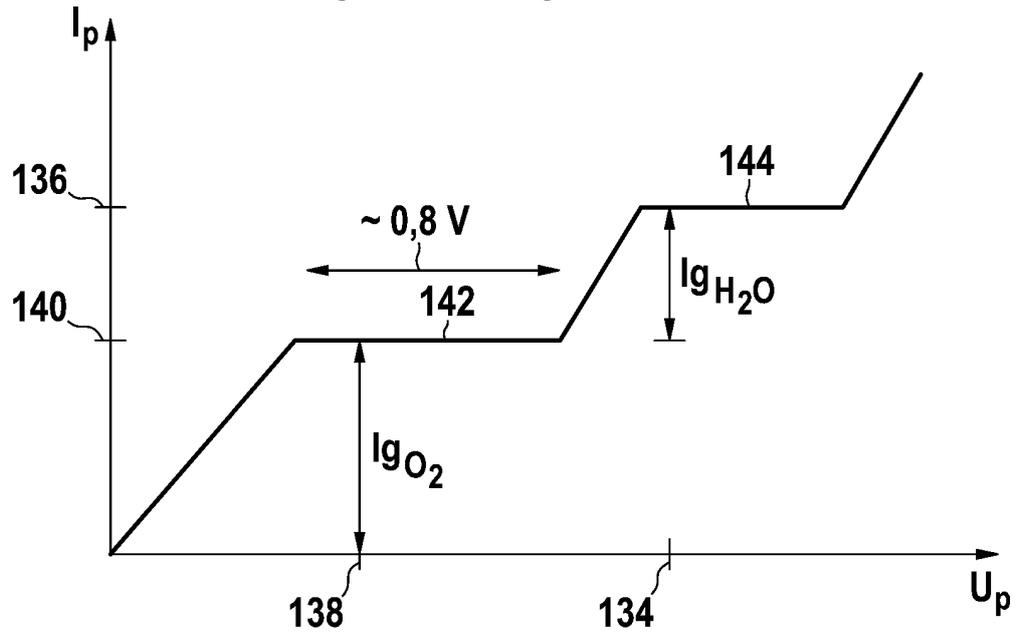
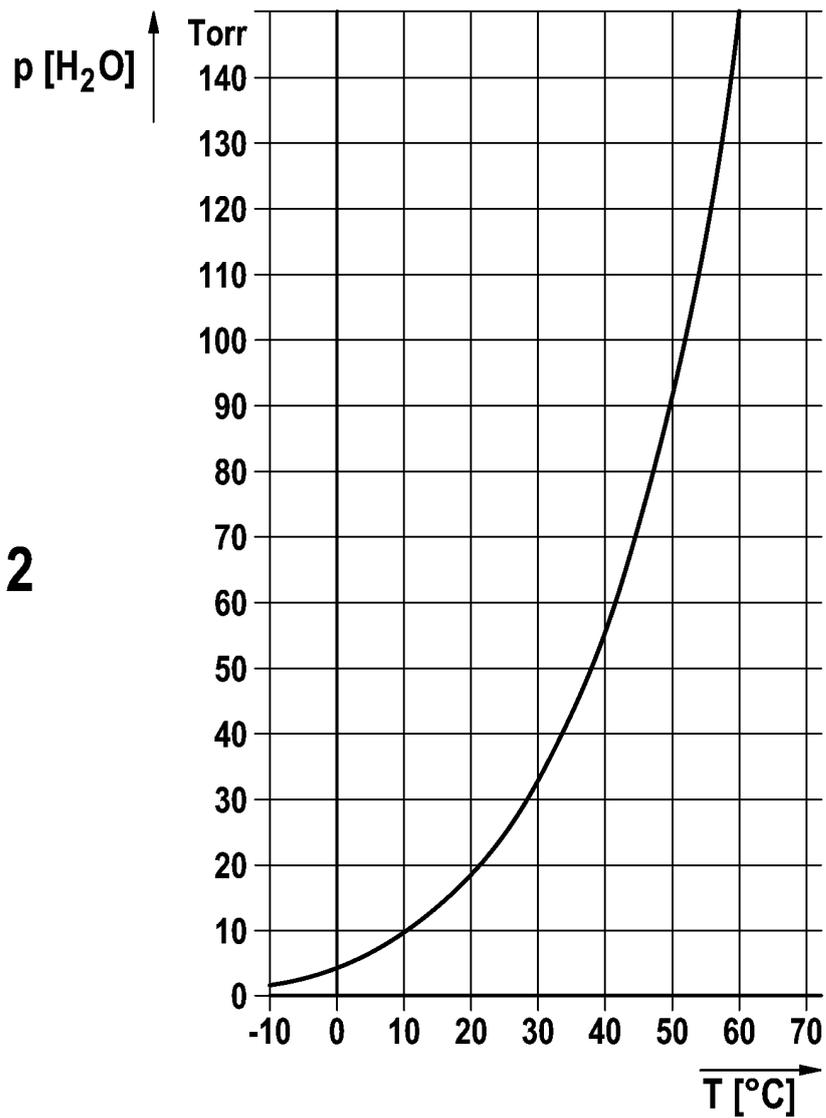


FIG. 2



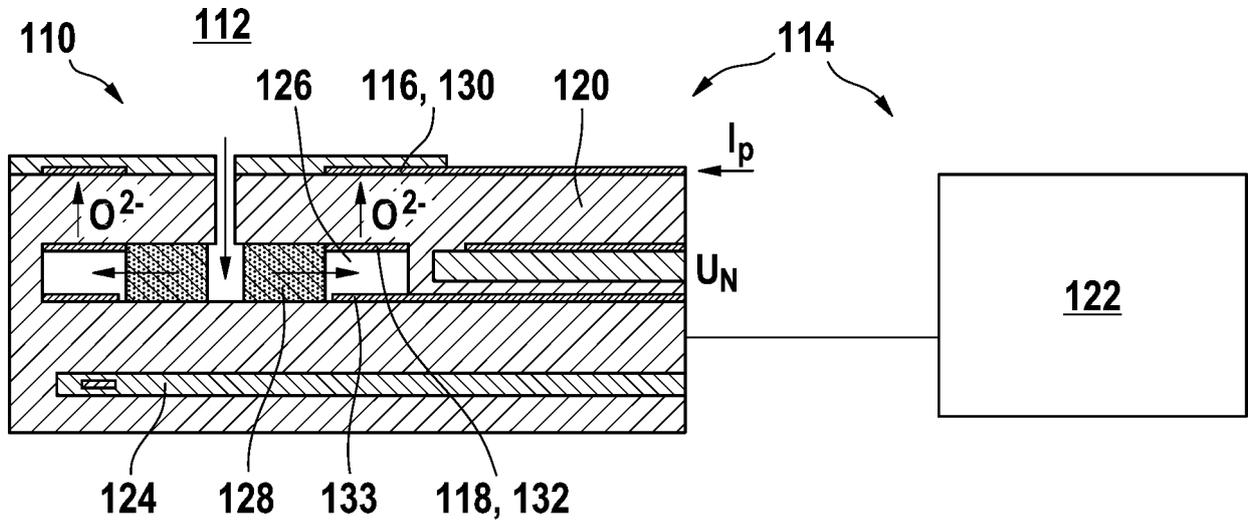


FIG. 3A

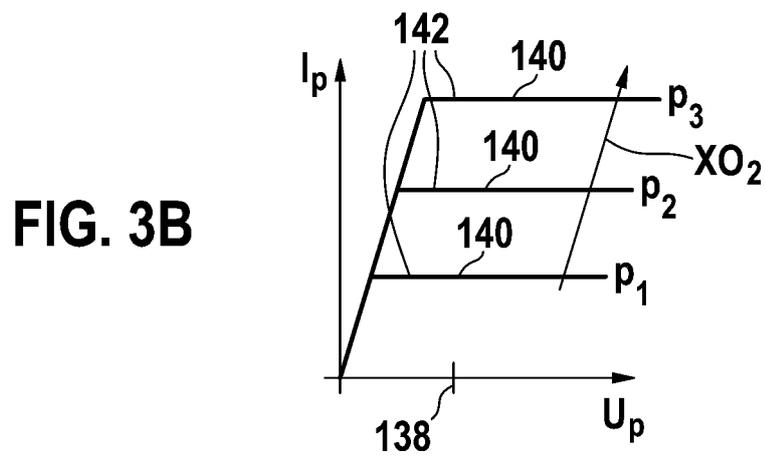


FIG. 3B

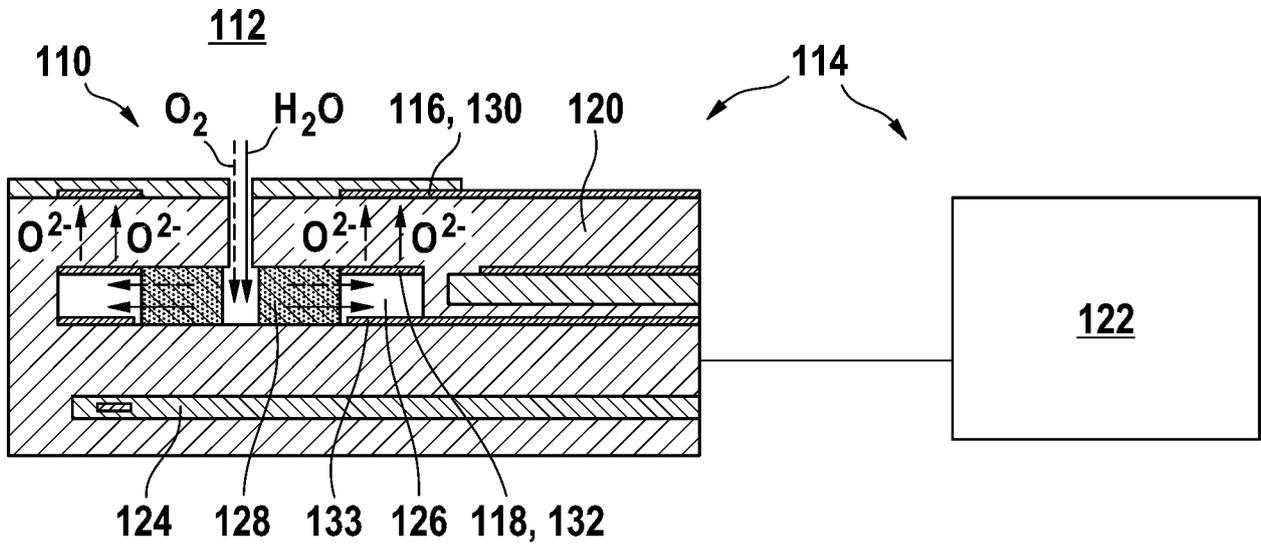


FIG. 4A

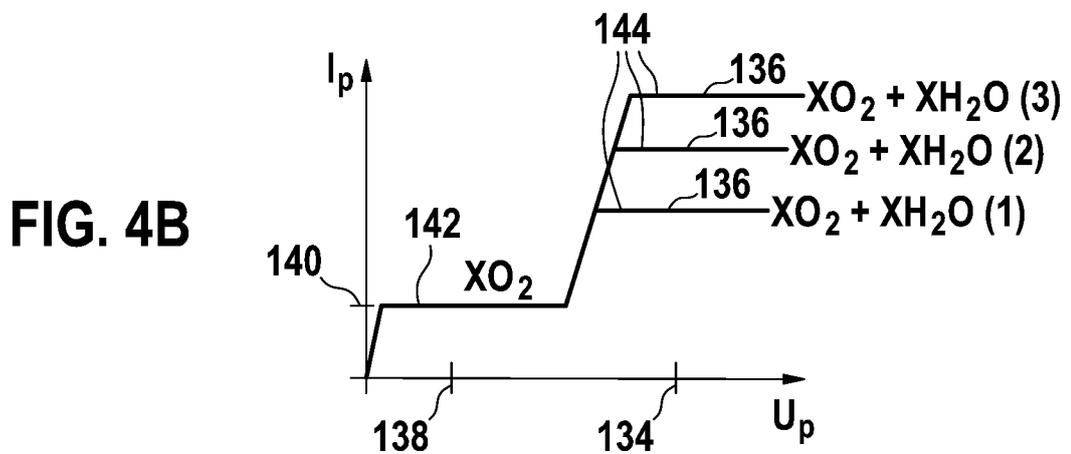


FIG. 4B

FIG. 5A

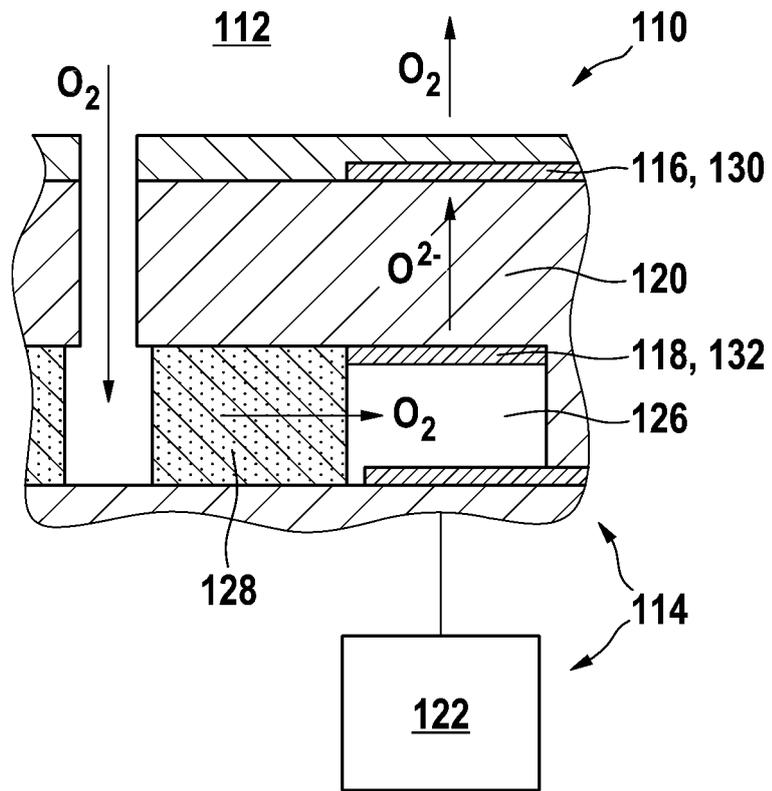


FIG. 5B

