

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges  
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum  
8. August 2013 (08.08.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2013/113757 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 27/406 (2006.01) F02D 41/14 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/051801

(22) Internationales Anmeldedatum:  
30. Januar 2013 (30.01.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102012201467.5 1. Februar 2012 (01.02.2012) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE];  
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **HEIN, Reinhard**; Goethestr. 60, 74343  
Sachsenheim (DE). **BUCHHOLZ, Martin**; Bergstr. 13,  
74321 Bietigheim-Bissingen (DE). **WAGNER, Jens**;  
Rosensteinstr. 17, 70191 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,  
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,  
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,  
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,  
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,  
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,  
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,  
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,  
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,  
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz  
3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen  
eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING AND DIAGNOSING A SENSOR ELEMENT FOR DETECTING AT LEAST ONE  
PROPERTY OF A GAS IN A MEASUREMENT GAS SPACE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR ANSTEUERUNG UND DIAGNOSE EINES SENSORELEMENTS ZUR ERFASSUNG  
MINDESTENS EINER EIGENSCHAFT EINES GASES IN EINEM MESSGASRAUM

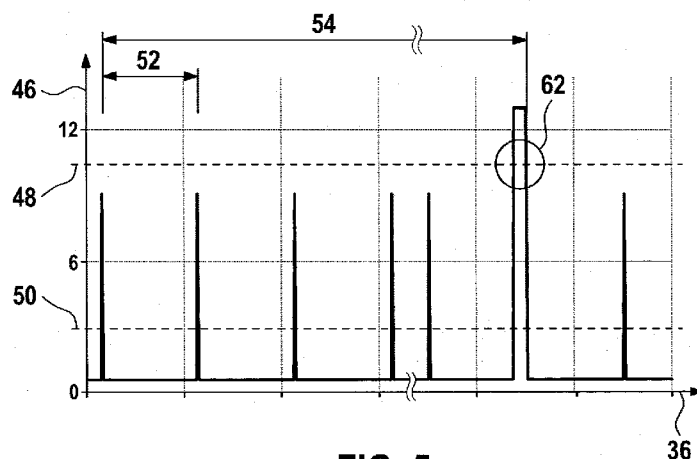


FIG. 5

(57) Abstract: The invention proposes a method for controlling and diagnosing a sensor element (10) for detecting at least one property of a gas in a measurement gas space. The sensor element (10) has at least one heating apparatus (14). The method comprises at least the following steps: controlling the heating apparatus (14) by means of at least one pulse width modulation, wherein the pulse width modulation is carried out at at least one pulse width modulation frequency, and defining a minimum switched-on duration and a minimum switched-off duration of the heating apparatus (14) at a diagnostic frequency, wherein the pulse width modulation frequency differs from the diagnostic frequency.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/113757 A1



---

Es wird ein Verfahren zur Ansteuerung und Diagnose eines Sensorelements (10) zur Erfassung mindestens einer Eigenschaft eines Gases in einem Messgasraum vorgeschlagen. Das Sensorelement (10) weist mindestens eine Heizvorrichtung (14) auf. Das Verfahren umfasst mindestens die folgenden Schritte: Ansteuern der Heizvorrichtung (14) mittels mindestens einer Pulsweitenmodulation, wobei die Pulsweitenmodulation mit mindestens einer Pulsweitenmodulationsfrequenz durchgeführt wird, und Festlegen einer minimalen Einschaltdauer und einer minimalen Abschaltdauer der Heizvorrichtung (14) mit einer Diagnosefrequenz, wobei sich die Pulsweitenmodulationsfrequenz von der Diagnosefrequenz unterscheidet.

## Beschreibung

## 5 Titel

Verfahren zur Ansteuerung und Diagnose eines Sensorelements zur Erfassung mindestens einer Eigenschaft eines Gases in einem Messgasraum

## 10 Stand der Technik

Aus dem Stand der Technik sind eine Vielzahl von Sensorelementen zur Erfassung mindestens einer Eigenschaft eines Gases in einem Messgasraum bekannt. Dabei kann es sich grundsätzlich um eine beliebige Eigenschaft des Gases handeln, beispielsweise eine physikalische und/oder chemische Eigenschaft des Gases. Insbesondere wird die Erfindung im Folgenden beschrieben unter Bezugnahme auf Sensorelemente zur Erfassung eines Anteils, also beispielsweise eines Partialdrucks und/oder eines Prozentsatzes, mindestens einer Gaskomponente in dem Gas. Bei der Gaskomponente kann es sich insbesondere um Sauerstoff handeln. Auch andere Gaskomponenten können jedoch alternativ oder zusätzlich nachgewiesen werden, beispielsweise Stickoxide, Kohlenwasserstoffe oder andere Gaskomponenten. Die Erfindung ist jedoch nicht auf den Nachweis von Gaskomponenten beschränkt, sondern es können grundsätzlich, alternativ oder zusätzlich, auch andere Eigenschaften des Gases nachgewiesen werden.

25

Zum Nachweis von Gaskomponenten werden insbesondere Sensorelemente eingesetzt, welche auf der Verwendung mindestens eines Festelektrolyten, also eines ionenleitenden Festkörpers, beispielsweise eines Sauerstoffionen leitenden Festkörpers, basieren. Derartige Festelektrolyte können beispielsweise auf Zirkoniumdioxid-Basis erstellt werden, beispielsweise Yttrium-stabilisiertes Zirkoniumdioxid und/oder Scandium-dotiertes Zirkoniumdioxid. Derartige Sensorelemente werden beispielsweise im Kraftfahrzeugbereich eingesetzt, um Gaskomponenten im Abgas einer Verbrennungskraftmaschine mit mindestens einem Motor nachzuweisen. Beispiele derartiger Sensorelemente sind in Konrad Reif (Hrsg.): Sensoren im Kraftfahrzeug, 1. Auflage 2010, Seiten 160-165 beschrieben. Die dort dargestellten Sensorelemente können grundsätzlich auch nach einem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung

35

betrieben werden und/oder im Rahmen eines erfindungsgemäßen Sensorelements eingesetzt werden. Beispielsweise können derartige Sensorelemente als Lambdasonden ausgeführt werden. Eine Lambdasonde beruht in der Regel auf der Verwendung mindestens einer galvanischen Sauerstoffkonzentrationszelle mit mindestens einem

5 Festelektrolyten. Alternativ oder zusätzlich können auch sogenannte Pumpzellen eingesetzt werden. Lambdasonden können einen einzelligen oder auch einen mehrzelligen Aufbau aufweisen, wobei ebenfalls exemplarisch auf den genannten Stand der Technik verwiesen werden kann. Mit Breitband-Lambda-Sonden, insbesondere mit planaren Breitband-Lambda-Sonden, kann beispielsweise die Sauerstoffkonzentration im

10 Abgas in einem großen Bereich bestimmt und damit auf das Luft-Kraftstoff-Verhältnis im Brennraum geschlossen werden. Die Luftzahl  $\lambda$  beschreibt dieses Luft-Kraftstoff-Verhältnis.

In der Regel weisen derartige Sensorelemente mindestens eine Heizvorrichtung auf. So

15 wird der Festelektrolyt typischerweise bei einer Aktivierungstemperatur von ca. 350°C für Sauerstoffionen leitend. Die Betriebstemperatur üblicher Lambdasonden liegt in der Regel deutlich höher, beispielsweise bei 650°C-850°C. Um die Betriebstemperatur unabhängig von den Umgebungsbedingungen, beispielsweise der Temperatur des Abgases, zu erreichen, wird das Sensorelement in der Regel aktiv elektrisch beheizt. Aus diesem

20 Grund verfügen die meisten Sensorelemente der genannten Art über mindestens ein elektrisches Heizelement, welches im Folgenden allgemein auch als Heizvorrichtung bezeichnet wird und welches in der Regel von mindestens einem Steuergerät angesteuert wird. Beispielsweise weisen bekannte Lambdasonden auf Zirkoniumdioxid-Basis einen integrierten Platin-Heizer auf, der in der Regel so ausgelegt ist, dass dieser unter

25 normalen Betriebsbedingungen eine größere Heizleistungsreserve aufweist. Dies bedeutet, dass die für den Betrieb des Sensorelements erforderliche Heizerspannung oder Heizleistung in der Regel deutlich kleiner ist als die zur Verfügung stehende Versorgungsspannung oder Versorgungsleistung. Beispielsweise werden bei typischen Sensorelementen der oben genannten Art Betriebstemperaturen von 780°C bereits mit

30 Heizerspannungen von weniger als 8 V erreicht. In vielen Fällen wird das Sensorelement dabei nicht mit einer Gleichspannung sondern mit einer getakteten Effektivspannung betrieben, die durch Pulsweitenmodulation einer höheren Gleichspannung (Batteriespannung) erzeugt wird. Dementsprechend kann unter dem Begriff einer Heizerspannung im Folgenden sowohl die tatsächliche Spannung verstanden werden, mit

35 welcher die Heizvorrichtung beaufschlagt wird, als auch alternativ eine effektive Spannung.

Das Ausgangssignal eines Sensorelements der oben genannten Art ist in der Regel funktional stark abhängig von der Temperatur des Sensorelements. Zur Verbesserung der Signalgenauigkeit ist es daher anzustreben, die Temperatur des Sensorelements von Änderungen der Abgastemperatur zu entkoppeln und möglichst konstant zu halten. Üblich ist zum Beispiel eine Temperatursteuerung der Heizerspannung einer Sprungsonde über ein betriebspunktabhängiges Kennfeld mit den Eingangsgrößen einer Abgastemperatur und einem Abgasmassenstrom. Eine erhöhte Temperaturgenauigkeit ergibt sich durch eine Temperaturregelung des Sensorelements. Als Regelgröße kann zum Beispiel ein Innenwiderstand des Sensorelements verwendet werden, beispielsweise mindestens einer Zelle des Sensorelements, da in der Regel ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Innenwiderstand und der Temperatur des Sensorelements besteht. Beispielsweise entspricht bei kommerziell erhältlichen Sprungsonden ein Innenwiderstand von 220  $\Omega$  einer Sensorelementtemperatur von 780°C. Eine entsprechende Temperaturregelung kommt auch in Breitbandsonden zum Einsatz.

Die Betriebstemperatur des Sensorelements soll unabhängig von der Abgastemperatur einstellbar sein, um die Signalgenauigkeit weiter zu erhöhen und damit wiederum geringere Emissionen und robustere Diagnosen zu ermöglichen. Gleichzeitig soll eine Ansteuerung mit einer hohen Heizleistungsreserve möglich sein, ohne dass die Gefahr der Zerstörung des Sensorelements durch eine Überhitzung bei Beheizung im grundsätzlich zusätzlichen Bordnetzspannungsbereich besteht. Weiterhin soll das Sensorelement einer Abgassonde bei möglichst konstanter Temperatur betreibbar sein und gleichzeitig vor Überhitzung geschützt werden.

Trotz der zahlreichen Vorteile der aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren zur Ansteuerung von Sensorelementen beinhalten diese noch Verbesserungspotential. So wird die Heizvorrichtung üblicherweise mittels der oben genannten Pulsweitenmodulation angesteuert, die beispielsweise aus dem Fahrzeugbordnetz realisiert wird. Grundsätzlich muss jederzeit der Zustand des Heizersystems überwacht werden. Dies ist die sogenannte On Board Diagnose (OBD). Aus diesem Grund ist der Bereich möglicher Tastverhältnisse üblicherweise auf eine Einschaltdauer der Heizvorrichtung von 2% bis 98% beschränkt. Die verbleibende Pulspause bzw. Einschaltphase ist zur Durchführung der Diagnose erforderlich. Um sowohl Kurzschlüsse nach Masse als auch nach Batterie erkennen zu können, muss die Heizerendstufe sowohl einschalten als auch abschalten. Bei extremen Tastverhältnissen von 0% bzw. 100% ist dies nicht gegeben. Da gesetzlich

eine minimale Frequenz dieser Prüfung gefordert ist, dürfen diese extremen Tastverhältnisse nicht eingestellt werden. Außerdem ist bei sehr kleine Tastverhältnissen kleiner 2% die effektive Heizleistung nicht mehr genau einstellbar. Bei solch kleinen Einschaltzeiten bewirkt die Flankensteilheit der Endstufe einen großen relativen Fehler in  
5 der eingestellten Heizleistung. Diese Beschränkung des Bereichs des Tastverhältnisses ist jedoch ungünstig, da kleinere Tastverhältnisse für einige Funktionen notwendig, aber nicht realisierbar sind. Des Weiteren kann sehr oft in Fahrzeug-Applikationen die vorgegebene Sondentemperatur nicht eingehalten werden, weil ein Tastverhältnis von 98% nicht ausreicht, um die Betriebstemperatur zu erreichen. Entsprechend gibt es bei  
10 den herkömmlichen Sensorelementen Zeitpunkte, zu denen die Betriebstemperatur nicht erreicht wird, da zu diesen Zeitpunkten eine Diagnose durchgeführt wird.

#### Offenbarung der Erfindung

15 Zur Verbesserung bekannter Sensorelemente und Verfahren zur Ansteuerung und Diagnose dieser Sensorelemente sowie zur zumindest teilweisen Realisierung der oben genannten Ziele werden dementsprechend ein Verfahren zur Ansteuerung und Diagnose eines mittels einer Heizvorrichtung beheizbaren Sensorelements zur Erfassung  
20 mindestens einer Eigenschaft eines Gases in einem Messgasraum vorgeschlagen. Wie oben beschrieben, kann die Erfassung der mindestens einen Eigenschaft insbesondere eine Bestimmung eines Anteils einer Gaskomponenten in dem Gas sein. Bei der Gaskomponente kann es sich insbesondere um eine oder mehrere der Gaskomponenten Sauerstoff, Stickstoff, Stickoxide, Kohlenwasserstoffe oder andere Komponenten handeln. Bei dem Gas kann es sich insbesondere um ein Abgas handeln, insbesondere ein Abgas  
25 einer Verbrennungsmaschine, und bei dem Messgasraum insbesondere um einen Abgastrakt, beispielsweise einen Abgastrakt in einem Kraftfahrzeug. Auch andere Einsatzgebiete sind jedoch grundsätzlich möglich.

Das Verfahren umfasst mindestens die folgenden Schritte:

- 30 - Ansteuern der Heizvorrichtung mittels mindestens einer Pulsweitenmodulation, wobei die Pulsweitenmodulation mit mindestens einer Pulsweitenmodulationsfrequenz durchgeführt wird, und
- Festlegen einer minimalen Einschaltdauer und einer minimalen Abschaltdauer der Heizvorrichtung mit einer Diagnosefrequenz, wobei sich die  
35 Pulsweitenmodulationsfrequenz von der Diagnosefrequenz unterscheidet.

Die Pulsweitenmodulationsfrequenz kann höher als die Diagnosefrequenz sein. Die Pulsweitenmodulationsfrequenz kann ein ganzzahliges Vielfaches der Diagnosefrequenz sein, insbesondere ein Faktor von mindestens 50, d.h. die Pulsweitenmodulationsfrequenz kann mindestens 50 mal höher als die Diagnosefrequenz sein. Die minimale Einschaltdauer und die minimale Abschaltdauer können für mindestens eine Pulsweitenmodulationsperiode mit der Diagnosefrequenz festgelegt werden und für die verbleibenden Pulsweitenmodulationsperioden kann eine längere oder kürzere Einschaltdauer festgelegt werden. Die minimale Einschaltdauer kann für mindestens eine Pulsweitenmodulationsperiode mit der Diagnosefrequenz festgelegt werden und für die verbleibenden Pulsweitenmodulationsperioden kann die Heizvorrichtung nicht eingeschaltet werden. Die minimale Einschaltdauer kann für mindestens eine Pulsweitenmodulationsperiode mit der Diagnosefrequenz festgelegt werden und für die verbleibenden Pulsweitenmodulationsperioden kann die Heizvorrichtung durchgehend eingeschaltet werden. Die minimale Einschaltdauer und die minimale Abschaltdauer können jeweils einen Anteil einer Pulsweitenmodulationsperiode von weniger als 2 % umfassen. In mindestens einem Anteil, wie beispielsweise ein Tastverhältnis, insbesondere 0 % bis 100 %, der Pulsweitenmodulationsperiode kann die Heizvorrichtung mit elektrischem Strom und/oder mit elektrischer Spannung und/oder in mindestens einem Anteil der Pulsweitenmodulationsperiode nicht mit elektrischem Strom und/oder elektrischer Spannung beaufschlagt werden. Durch die Diagnose kann die Heizvorrichtung überwacht werden. Während der Diagnose kann die Heizvorrichtung mit elektrischem Strom und/oder elektrischer Spannung beaufschlagt werden oder nicht mit elektrischem Strom und/oder nicht mit elektrischer Spannung beaufschlagt werden. Die Pulsweitenmodulationsfrequenz kann von 2 Hz bis 2 kHz, bevorzugt von 20 Hz bis 200 Hz und besonders bevorzugt 100 Hz, sein, wobei die Diagnosefrequenz von 1 Hz bis 2 kHz, bevorzugt von 1 Hz bis 10 Hz und besonders bevorzugt 2 Hz, sein kann. Die minimale Einschaltdauer und die minimale Abschaltdauer, die der Diagnosedauer entsprechen, können jeweils von 2  $\mu$ s bis 20 ms, bevorzugt 20  $\mu$ S bis 2 ms und besonders bevorzugt 200  $\mu$ S, sein.

30

Unter einer Diagnose ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine Überwachung des Sensorelements zu verstehen, insbesondere eine Überprüfung auf Kurzschlüsse der elektrischen Schaltkreise, wie beispielsweise Kurzschlüsse nach Masse als auch nach Batterie einer Heizvorrichtung. Während des Fahrbetriebes eines Fahrzeugs werden beispielsweise alle abgasbeeinflussenden Systeme überwacht, zusätzlich weitere wichtige Steuergeräte, deren Daten durch ihre Software zugänglich sind. Auftretende

35

Fehler können dem Fahrer über eine Kontrollleuchte angezeigt und im jeweiligen Steuergerät dauerhaft gespeichert werden. Fehlermeldungen können dann später durch eine Fachwerkstatt über genormte Schnittstellen abgefragt werden. Diagnosen beobachten beispielsweise das elektrische Verhalten des Heizerkreises. Für eine

5 vollständige elektrische Diagnose ist eine ausreichend lange Beobachtung des elektrischen Zustands sowohl während der Anschaltung der Heizvorrichtung als auch während der Abschaltung der Heizvorrichtung über mindestens eine Pulsweitenmodulationsperiode notwendig. Dazu ist es notwendig, dass die Anschaltdauer der Heizvorrichtung die minimale Diagnosedauer nicht unterschreitet. Damit beide

10 Zustände beobachtet werden können, darf die Heizvorrichtung aber auch für die minimale Diagnosedauer nicht eingeschaltet werden, um ein korrektes Abschaltverhalten überprüfen zu können. Die Ansteuerdauer der Heizvorrichtung darf also eine maximale Zeit nicht überschreiten, die sich aus der Pulsweitenmodulationsperiodendauer vermindert um die minimale Diagnosedauer zusammensetzt. Deswegen darf während einer

15 Diagnose ein minimales Tastverhältnis nicht unterschritten und ein maximales Tastverhältnis nicht überschritten werden. Die minimale Einschaltdauer und die minimale Abschaltdauer sind gemäß diesen Ausführungen technisch bedingt und werden unter anderem durch das Reaktionsverhalten der technischen Geräte zur Steuerung des Sensorelements und der Heizvorrichtung vorgegeben. Insbesondere kann eine sichere

20 Diagnoseaussage erst nach einer bestimmten Dauer getroffen werden, damit beispielsweise beobachtete Werte einer Spannung und/oder eines Stroms über die Zeit gesehen ausreichend Zeit haben, vorgegebene Schwellwerte für eine bestimmte Dauer zu überschreiten oder zu unterschreiten und sich auf diese Weise von anderen Werten der Spannung oder des Stroms zu anderen Zeitpunkten unterscheiden lassen.

25 Beispielsweise steigt die an die Heizvorrichtung angelegte Spannung beim Abschalten. Zum Überprüfen eines korrekten Abschaltens benötigt die Spannung eine bestimmte Zeitdauer aufgrund der Trägheit der elektrischen Bestandteile des Sensorelements, um auf ihren Maximalwert zu steigen, der oberhalb eines Schwellwerts liegt. Erst bei Überschreiten des Schwellwerts für eine bestimmte Zeitdauer kann bei diesem Beispiel

30 eine Diagnoseaussage derart getroffen werden, dass die Heizvorrichtung korrekt abschaltet, da sich der Maximalwert von anderen Zeitpunkten ausreichend unterscheidet, in denen die Heizvorrichtung für einen Zeitraum kleiner als die für die Diagnose erforderliche minimale Abschaltdauer abgeschaltet wird.

35 Unter einer Pulsweitenmodulation ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine Modulationsart zu verstehen, bei der eine technische Größe, wie beispielsweise der

elektrische Strom, die Spannung und/oder die elektrische Leistung, zwischen zwei Werten wechselt. Dabei wird bei konstanter Frequenz das Tastverhältnis des Signales moduliert, also die Breite eines Impulses. Ein Pulsweitenmodulationssignal wird allgemein über einen Tiefpass demoduliert. Die resultierende demodulierte technische Größe entspricht dem arithmetischen Mittelwert und damit der mittleren Höhe der Fläche unter der modulierten Größe, mathematisch bestimmt aus dem Integral über eine ganze Zahl von Perioden, geteilt durch die Dauer der Integration. Insbesondere ist die Pulsweitenmodulation eine Modulationsart, bei der die Heizvorrichtung ständig eingeschaltet und abgeschaltet wird. Je länger die Einschaltzeit gegenüber der Periodendauer ist, umso höher die mittlere Heizleistung. Die Temperatur des beheizten Sensorelements kann daher bei entsprechender Periodenanzahl einer bestimmten Solltemperatur angenähert werden, wie beispielsweise der Betriebstemperatur.

Unter einem Tastverhältnis ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung das Verhältnis der Impulsdauer zur Impulsperiodendauer zu verstehen. Das Tastverhältnis wird als dimensionslose Verhältniszahl mit einem Wert von 0 bis 1 oder 0 % bis 100 % angegeben. Durch Variation des Tastgrades lässt sich beispielsweise der arithmetische Mittelwert der elektrischen Spannung an der Heizvorrichtung des Sensorelements ändern. Da diese Einstellung aufgrund des Schaltens nahezu ohne Verlustleistung erfolgt, ist diese digitaltechnische Methode eine verbreitete Methode zur Steuerung elektrischer Spannung und Leistung. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist dabei insbesondere der prozentuale Anteil zu verstehen, in dem die Heizvorrichtung im Verhältnis zu einer gesamten Periode aus eingeschalteter und abgeschalteter Heizvorrichtung eingeschaltet ist.

Das erfindungsgemäße Sensorelement kann insbesondere mindestens ein zusätzliches Element umfassen, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus: eine Nernstzelle, eine Pumpzelle, eine Heizvorrichtung. Zur Erzielung einer Breitband-Messung der Luftkennzahl  $\lambda$  kann das Sensorelement insbesondere als Breitband-Lambda-Sonde mit Pump- und Nernstzelle entweder als Magersonde nach dem Grenzstromprinzip oder als Sprungsonde mit gepumpter Referenz betrieben werden. Die Heizvorrichtung kann insbesondere zur Regelung der Temperatur des Sensorelements, insbesondere von Teilen des Sensorelements, dienen. Die Heizvorrichtung kann vorzugsweise der Verbesserung der katalytischen Aktivität der Elektrode oder Elektroden und/oder zur Einstellung eines Innenwiderstands des Sensorelements und/oder von Teilen desselben dienen. Beispielsweise kann die Heizvorrichtung als Platin-Heizer ausgebildet sein oder

einen Platin-Heizer umfassen, der in der Regel so ausgelegt ist, dass dieser unter normalen Betriebsbedingungen eine größere Heizleistungsreserve aufweist. Dies bedeutet, dass die für den Betrieb des Sensorelements erforderliche Heizerspannung oder Heizleistung in der Regel deutlich kleiner ist als die zur Verfügung stehende

5 Versorgungsspannung oder Versorgungsleistung. Beispielsweise werden bei typischen Sensorelementen der oben genannten Art Betriebstemperaturen von 780°C bereits mit Heizerspannungen von weniger als 8 V erreicht. Diese Reserve ist notwendig, da in ungünstigen Betriebspunkten für eine bestimmte Zeit, wie beispielsweise 10 s, eine sehr hohe effektive Heizspannung von 99% bis nahezu 100% der Versorgungsspannung  
10 notwendig sein kann. Ebenso kann es bei schnellen Betriebspunktänderungen notwendig sein, für kurze Zeit, wie beispielsweise 1 s bis 3 s, eine sehr geringe Heizspannung von nahezu 0 V einzustellen, damit die Temperatur des Sensorelements nicht unzulässig hoch wird. Die Heizvorrichtung kann beispielsweise in das Sensorelement und insbesondere in den Festelektrolyten integriert sein.

15

Unter einem Festelektrolyten ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Festkörper mit ionenleitenden Eigenschaften zu verstehen, beispielsweise mit Sauerstoffionen leitenden Eigenschaften. Derartige Festelektrolyte können beispielsweise auf Zirkoniumdioxid-Basis erstellt werden, beispielsweise Yttrium-stabilisiertes  
20 Zirkoniumdioxid und/oder Scandium-dotiertes Zirkoniumdioxid.

Unter einer Diagnosefrequenz ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung die Anzahl von Diagnoseperioden pro Sekunde zu verstehen.

25 Unter einer Pulsweitenmodulationsfrequenz ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung die Anzahl von Pulsweitenmodulationsperioden pro Sekunde zu verstehen.

Unter einer Einstellung einer Temperatur kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine Einstellung auf eine fest vorgegebene oder auch auf eine variabel vorgegebene  
30 Temperatur verstanden werden, wobei auch Temperaturverläufe vorgebar sind. Unter einer Einstellung kann, wie unten noch näher ausgeführt wird, eine Steuerung und/oder eine Regelung der Temperatur subsummiert werden. Die Heizvorrichtung kann insbesondere eine resistive Heizvorrichtung umfassen, also beispielsweise mindestens einen Heizwiderstand, welcher beispielsweise durch Beaufschlagung mit einer

35 Heizerspannung und/oder einem Heizerstrom resistiv beheizbar sein kann.

Ein Gedanke der Erfindung ist, das Sensorelement gegenüber einer relativ niedrigen Mindest-Diagnosefrequenz, wie beispielsweise 2Hz, mit einer vergleichsweise sehr hohen Pulsweitenmodulationsfrequenz, wie beispielsweise 100Hz, anzusteuern. Mit anderen Worten, wird eine Diagnose nicht während jeder Pulsweitenmodulationsperiode durchgeführt, sondern beispielsweise nur bei mindestens zwei

5 Pulsweitenmodulationsperioden pro Sekunde. Für Soll-Tastverhältnisse größer als 98% können in Abhängigkeit der Anforderung für eine definierte Zahl von Pulsen 100% eingestellt werden. Das heißt, in diesen Zyklen wird der Heizerstrom nicht abgeschaltet, in den anderen Zyklen wird ein Tastverhältnis von maximal 98% eingestellt. Beispielsweise

10 ergibt sich bei 1 Puls mit einem Tastverhältnis von 98% und 9 Zyklen mit einem Tastverhältnis von 100% ein maximales Tastverhältnis von 99,8% anstelle der herkömmlichen 98%. Technisch entspricht dies einer variablen Absenkung der Pulsweitenmodulationsfrequenz bei gleichzeitiger Anhebung des Tastverhältnis-Werts, die vom vorgegebenen Sollwert abhängig ist. Durch Beibehaltung der üblichen

15 Ausschaltdauer bzw. Einschaltdauer bei maximalen oder minimalen Tastverhältnis ist die Diagnose weiterhin jederzeit gewährleistet. Analog kann die Anwendung bei niedrigen Tastverhältnissen kleiner als 2% erfolgen. In diesem Fall entfallen sukzessive Einschaltphasen, d.h. über einen oder mehrere Zyklen hinweg entfällt die Einschaltphase.

20 Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird die Sondenbeheizung ohne zusätzliche Hardware-Kosten aufgrund hoher Tastverhältnisse verbessert. Somit werden auch Verbesserungen im Betrieb von Abgassensorelementen erzielt. Ebenso wird eine Nutzung des Bereichs sehr kleiner Tastverhältnisse möglich. Auch wird eine erheblich verbesserte Reproduzierbarkeit bei kleinen Tastverhältnissen trotz des Zielkonflikts

25 zwischen den Anforderungen der elektromagnetischen Verträglichkeit und der Sondenheizung erzielt. Hier werden mit üblicher Hardware große Streuungen befürchtet. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Nutzfahrzeuge mit hoher Bordnetzspannung.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

30

Weitere Einzelheiten und Merkmale optionaler Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgenden Beschreibungen bevorzugter Ausführungsbeispiele, welche in den Figuren schematisch dargestellt sind.

35 Es zeigen:

Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Sensorelements und dessen elektrische Verbindung mit einem Steuergerät,

5 Figur 2 ein Beispiel für einen Temperaturverlauf bei hoher und bei niedriger Pulsweitenmodulationsfrequenz über die Zeit,

10 Figur 3 ein Beispiel für einen Verlauf der Spannung der Heizvorrichtung über die Zeit bei hohem Heizleistungsbedarf und einer Limitierung der Schaltdauer alle 10 ms,

Figur 4 ein Beispiel für einen Verlauf des Stroms der Heizvorrichtung über die Zeit bei hohem Heizleistungsbedarf und einer Limitierung der Schaltdauer alle 10 ms,

15 Figur 5 ein Beispiel für einen Verlauf der Spannung der Heizvorrichtung über die Zeit bei hohem Heizleistungsbedarf und einer Limitierung der Schaltdauer alle 500 ms, und

20 Figur 6 ein Beispiel für einen Verlauf des Stroms der Heizvorrichtung über die Zeit bei hohem Heizleistungsbedarf und einer Limitierung der Schaltdauer alle 500 ms,

#### Ausführungsformen der Erfindung

Figur 1 zeigt ein Beispiel für eine erfindungsgemäßes Sensorelement 10 zur Erfassung  
mindestens einer Eigenschaft eines Gases in einem Messgasraum. Das Sensorelement  
25 10 ist schematisch durch eine gestrichelte Linie 12 dargestellt. Im Rahmen der Erfindung  
weist das Sensorelement 10 mindestens eine Heizvorrichtung 14 zur Beheizung  
zumindest eines Teils des Sensorelements 10 auf. Die Heizvorrichtung 14 kann  
beispielsweise eine resistive Heizvorrichtung 14 sein und ist in Figur 1 durch einen  
elektrischen Widerstand 16 schematisch dargestellt. Beispielsweise ist das  
30 Sensorelement 10 exemplarischer Bestandteil einer Lambdasonde oder ist als  
Lambdasonde eines Fahrzeugs ausgeführt. Beispielsweise kann die mindestens eine  
Heizvorrichtung 14 ganz oder teilweise Bestandteil des Sensorelements 10 sein.  
Alternativ oder zusätzlich kann die mindestens eine Heizvorrichtung 14 jedoch auch ganz  
oder teilweise in anderer Weise in dem Sensorelement 10 aufgenommen sein,  
35 beispielsweise als externes Bauteil. Im ersten Fall kann die Heizvorrichtung 14  
beispielsweise in einen keramischen Festelektrolyten integriert sein, beispielsweise in

einen Schichtaufbau des keramischen Festelektrolyten, wie dies beispielsweise bei planaren Lambdasonden in der Regel der Fall ist. Im zweiten Fall kann die Heizvorrichtung 14 beispielsweise als Stäbchenheizer ausgestaltet sein, wie dies beispielsweise bei Fingersonden in der Regel der Fall ist.

5

Beispielsweise kann das Sensorelement 10 ein Sensorelement 10 mit mindestens einem Festelektrolyten der oben beschriebenen Art sein, insbesondere einem keramischen Festelektrolyten. Das Sensorelement 10 kann insbesondere eine oder mehrere Zellen umfassen, also beispielsweise zwei Elektroden, welche über den Festelektrolyten miteinander in Verbindung stehen. Das Sensorelement 10 kann einzellig oder auch mehrzellig ausgestaltet sein. Bezüglich möglicher Ausgestaltungen des Sensorelements 10 kann beispielsweise auf den oben beschriebenen Stand der Technik verwiesen werden. Grundsätzlich sind alle Arten von Sensorelementen 10 erfindungsgemäß einsetzbar, insbesondere keramische Sensorelemente 10.

15

Das Sensorelement 10 umfasst weiterhin mindestens eine Ansteuervorrichtung 18. Die Ansteuervorrichtung 18 ist durch eine gestrichelte Linie 20 schematisch dargestellt. Die Ansteuervorrichtung 18 kann zentral oder auch dezentral ausgestaltet sein und kann vollständig oder teilweise Software-implementiert und/oder Hardware-implementiert sein. Die Ansteuervorrichtung 18 kann auch ganz oder teilweise beispielsweise in eine zentrale Motorsteuerung implementiert sein. Die Ansteuervorrichtung 18 kann beispielsweise eine Sensorelement-Ansteuervorrichtung zum Ansteuern und/oder Auswerten des Sensorelements 10 bzw. von Signalen des Sensorelements 10 umfassen. Zur Implementierung des genannten Verfahrens kann die Ansteuervorrichtung 18 weiterhin beispielsweise mindestens eine Regelvorrichtung umfassen, in welcher beispielsweise mindestens ein Regler enthalten sein kann. Zur Überlagerung einer optionalen Steuerung kann die Ansteuervorrichtung 18 weiterhin mindestens eine Steuervorrichtung umfassen. Die Regelvorrichtung und die Steuervorrichtung können zusammen eine Heizvorrichtung-Ansteuervorrichtung 22 bilden.

30

Ferner weist das erfindungsgemäße Sensorelement 10 eine Diagnosevorrichtung 24 auf. Die Diagnosevorrichtung 24 kann ein von der Ansteuervorrichtung 18 separates Bauteil oder in diese integriert sein. Die Diagnosevorrichtung 24 ist eingerichtet, um eine Überwachung des Sensorelements 10 durchzuführen, insbesondere eine Überwachung der Heizvorrichtung 14. Die Überwachung kann dabei eine Überprüfung umfassen, ob ein Kurzschluss nach Masse und nach Batterie des Fahrzeugs vorliegt. In Figur 1 ist

35

exemplarisch eine Stelle 26 angegeben, an der die Diagnosevorrichtung 24 einen möglichen Kurzschluss nach Masse erfasst. Die Stelle 26 des Kurzschlusses nach Masse befindet sich in diesem Beispiel an elektrischen Verbindungen 28, die die Heizvorrichtung 14 mit der Ansteuervorrichtung 18 elektrisch verbinden. Beispielsweise befinden sich die elektrischen Verbindungen 28 im Inneren eines Kabelbaums und eines Steckers 30, die schematisch durch eine gestrichelte Linie 32 dargestellt sind.

Das Sensorelement 10 kann insbesondere mit der Eigenschaft einer hohen Heizleistungsreserve realisiert werden, die zur Zerstörung des Sensorelements 10 durch Überhitzung bei Beheizung im grundsätzlich zulässigen Bordnetzspannungsbereich führen könnte. Dieses Sensorelement 10 kann jedoch unabhängig vom Motorbetriebspunkt bei konstanter Temperatur betrieben werden und gleichzeitig derart eingerichtet sein, dass das Sensorelement 10 vor einer Überhitzung geschützt werden kann. Das nachstehend beschriebene erfindungsgemäße Verfahren lässt sich grundsätzlich auf alle aktiv beheizten und temperaturgeregelten oder temperaturgesteuerten Abgassensoren anwenden.

Um die Sensorelementtemperatur möglichst konstant zu halten, können insbesondere eine Temperatursteuerung und eine Temperaturregelung kombiniert werden. Beispielsweise kann die Steuerung mittels eines Kennfeldes betrieben werden, beispielsweise in dem ein oder mehrere Steuergrößen erfasst werden, die den Einfluss der Umgebung des Sensorelements 10 auf die Temperatur des Sensorelements 10 charakterisieren. Eine derartige Steuerung kann insbesondere als Kennfeldvorsteuerung ausgestaltet sein, welcher die genannte Regelung überlagert sein kann. Eine derartige Überlagerung einer Steuerung mit einer Regelung bietet den Vorteil der hohen Genauigkeit einer Regelung, kombiniert mit einer schnellen Reaktion auf Änderungen des Motorbetriebspunkts, beispielsweise bei abrupten Lastwechseln, durch die vorzugsweise betriebspunktabhängige Steuerungen. Dadurch werden hohe Reglerhübe vermieden, und die Regelung kann beispielsweise lediglich zur Korrektur einer Steuer-Stellgröße, die durch die Steuerung erzeugt wird, eingesetzt werden. Dieses Verfahren kann allgemein zu einer verbesserten Temperaturstabilisierung eingesetzt werden. Für die Temperaturregelung, insbesondere einer Sprungsonde, kann insbesondere ein Innenwiderstand einer Nernstzelle durch einen kurzzeitigen Strompuls zwischen Mess- und Referenzelektrode des Sensorelements 10 gemessen werden.

In einem ersten Schritt wird beispielsweise mindestens ein Istwert mindestens einer Regelgröße des Sensorelements 10 erfasst. Unter einer Regelgröße kann dabei grundsätzlich eine beliebige Messgröße des Sensorelements 10 verstanden werden, welche für die Temperatureinstellung von Relevanz ist, insbesondere eine elektrische und/oder thermische Messgröße, welche direkt oder indirekt mit der Temperatur korreliert, also eine Messgröße, welche einen Rückschluss auf eine aktuelle Temperatur des Sensorelements 10 oder eines Bereichs des Sensorelements 10 ermöglicht. Die mindestens eine Regelgröße kann insbesondere eine oder mehrere der folgenden Regelgrößen umfassen: mindestens einen Innenwiderstand des Sensorelements, insbesondere einen Innenwiderstand mindestens einer elektrochemischen Zelle des Sensorelements, also einer Kombination aus mindestens zwei Elektroden und mindestens einem die mindestens zwei Elektroden verbindenden Festelektrolyten; eine Temperatur des Sensorelements 10, welche beispielsweise mittels eines separaten Temperatursensors erfassbar sein kann; eine Spannung zwischen mindestens zwei Elektroden des Sensorelements 10, insbesondere zwischen mindestens zwei Elektroden einer Nernstzelle des Sensorelements 10; einen Strom zwischen mindestens zwei Elektroden des Sensorelements 10, insbesondere zwischen mindestens zwei Elektroden einer Pumpzelle des Sensorelements 10; beispielsweise einen Strom bei einer fest vorgegebenen Pumpspannung; einen elektrischen Widerstand einer leitenden Struktur, insbesondere einer leitenden Struktur des Sensorelements 10, beispielsweise einen elektrischen Widerstand einer Metallstruktur, beispielsweise einen elektrischen Widerstand einer Zuleitung und/oder eines metallischen Mäanders. Auch andere Regelgrößen oder Kombinationen der genannten und/oder andere Regelgrößen sind denkbar. Anstelle der eigentlichen Messgröße können auch aus dieser Messgröße abgeleitete Größen verwendet werden, beispielsweise interpolierte, extrapolierte, gefilterte, verstärkte, digitalisierte oder andere Werte. Unter einem Istwert der mindestens einen Regelgröße wird dabei ein aktueller Wert verstanden, also ein Messwert oder aus dem Messwert abgeleiteter Wert der Regelgröße, welcher zum gegenwärtigen Zeitpunkt oder zu einem Zeitpunkt erfasst wurde, welcher vorzugsweise nicht mehr als einige Sekunden, beispielsweise nicht mehr als 10 Sekunden, insbesondere nicht mehr als 5 Sekunden, vorzugsweise nicht mehr als 1 Sekunde oder sogar nicht mehr als 100 Millisekunden zurückliegt.

In einem weiteren Schritt wird mindestens ein Sollwert der zumindest einen Regelgröße ermittelt. Unter einem Sollwert wird dabei ein Wert der Regelgröße verstanden, auf welchen die Regelgröße exakt oder unter Vorgabe einer oder mehrerer

Toleranzschwellen eingestellt werden soll. Die Ermittlung des Sollwerts kann insbesondere dadurch erfolgen, dass dieser Sollwert von einer von dem Sensorelement 10 getrennten Vorrichtung bereitgestellt wird, beispielsweise in dem dieser Sollwert fest vorgegeben wird oder, wie unten noch näher erläutert wird, unter Berücksichtigung

5 mindestens einer Steuergröße, die den Einfluss einer Umgebung des Sensorelement 10 auf die Temperatur des Sensorelements 10 charakterisiert, bestimmt wird. Zur Ermittlung des Sollwerts können dementsprechend beispielsweise mindestens eine

10 Datenverarbeitungsvorrichtung und/oder mindestens eine elektronische Tabelle und/oder eine andere Art von Vorrichtung vorgesehen sein, welche den mindestens einen Sollwert ermittelt und für das Verfahren bereitstellt.

In einem weiteren Verfahrensschritt wird mindestens eine Stellgröße der Heizvorrichtung 14 mittels mindestens eines Vergleichs des Sollwerts und des Istwerts erzeugt. Unter einer Stellgröße ist dabei eine Größe, vorzugsweise ein elektrisches Signal und/oder eine

15 digitale Information, zu verstehen, mittels derer die Heizvorrichtung 14 unmittelbar oder indirekt angesteuert werden kann. Diese Stellgröße kann somit beispielsweise eine Heizleistung, eine Heizerspannung, wobei aktuelle oder auch effektive Heizerspannungen verwendet werden können, einen Heizstrom oder ähnliche Größen umfassen, mittels

20 derer die Heizvorrichtung 14 unmittelbar beaufschlagt werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann die mindestens eine Stellgröße optional jedoch auch derart ausgestaltet sein, dass diese zunächst weiterverarbeitet werden muss, bevor diese zur

Beaufschlagung der Heizvorrichtung 14 dient, wobei beispielsweise mindestens ein Stellglied, wie beispielsweise mindestens ein Heizspannungsgenerator und/oder

mindestens ein Verstärker, eingesetzt werden können.

25 In einem weiteren Schritt wird mindestens ein Kontrollschritt durchgeführt. In diesem Kontrollschritt wird mindestens ein zur Einstellung der Temperatur mittels des vorgeschlagenen Verfahrens verwendeter Parameter überprüft und die mindestens eine Stellgröße in Abhängigkeit von der Überprüfung beeinflusst. Unter einem zur Einstellung

30 der Temperatur verwendeten Parameter können dabei grundsätzlich eine oder mehrere der oben genannten und/oder weitere, bei dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendete Größen eingesetzt werden. Insbesondere kann der mindestens eine Parameter ein bei der Regelung und/oder einer optional überlagerten und unten noch

näher erläuterten Steuerung verwendeter Parameter sein, gegebenenfalls auch die

35 Stellgröße selbst. Beispiele von für die Einstellung der Temperatur verwendeten Parametern werden unten noch näher aufgeführt. Unter einer Überprüfung kann

insbesondere, wie unten ebenfalls noch näher ausgeführt wird, eine Abfrage verstanden werden, ob der mindestens eine Parameter mindestens einer vorgegebenen Bedingung genügt oder nicht. Beispielsweise können, wie unten noch näher ausgeführt wird, eine oder mehrere Schwellwertbedingungen vorgegeben werden. Unter einer Beeinflussung der mindestens einen Stellgröße in Abhängigkeit von der Überprüfung kann dabei eine direkte oder indirekte Beeinflussung der Stellgröße verstanden werden, beispielsweise indem die Stellgröße oder eine auf die Stellgröße einwirkende, vorgeschaltete Größe gezielt verändert wird. Die Beeinflussung kann eine Veränderung umfassen, beispielsweise eine Veränderung mittels eines oder mehrerer Korrekturfunktionen, Korrekturkennlinien, Korrekturfaktoren, mittels eines Abzugs und/oder einer Addition eines vorgegebenen Betrags, mittels einer Ersetzung durch einen Default-Wert, insbesondere 0 oder einen Maximal- oder Minimalwert, oder auch – je nach Ergebnis der Überprüfung des mindestens einen Parameters – ein Unverändertlassen der mindestens einen Stellgröße. Anstelle einer einzelnen Bedingung können auch mehrere Bedingungen vorgegeben sein, welche beispielsweise auch mit unterschiedlichen Arten von Beeinflussungen gekoppelt werden können. So können beispielsweise mehrere Überprüfungen durchgeführt werden, wobei jede Überprüfung oder jede Gruppe von Überprüfungen zu einer unterschiedlichen Beeinflussung der mindestens einen Stellgröße führt.

Nach Durchführung der genannten Schritte kann die Heizvorrichtung 14 insbesondere mit der mindestens einen Stellgröße und/oder mit mindestens einer aus der Stellgröße abgeleiteten weiteren Stellgröße, beispielsweise unter Zwischenschaltung eines oder mehrerer Stellglieder, beaufschlagt werden. Die Korrektur der Stellgröße folgt vorzugsweise vor der Beaufschlagung der Heizvorrichtung 14.

Besonders bevorzugt ist es, wenn das Verfahren derart durchgeführt wird, dass weiterhin mindestens eine Steuergröße erfasst wird. Unter einer Steuergröße ist dabei eine beliebige Größe zu verstehen, welche einen Einfluss einer Umgebung des Sensorelements auf die Temperatur des Sensorelements 10 charakterisiert. Insbesondere kann die Steuergröße mindestens einen der folgenden Parameter umfassen: eine Umgebungstemperatur des Sensorelements, insbesondere eine Gastemperatur, beispielsweise eine Abgastemperatur, in dem Messgasraum; einen Betriebsparameter einer das Gas beinhaltenden, generierenden oder verwendenden Vorrichtung, insbesondere einen Betriebsbereich einer Verbrennungsmaschine, vorzugsweise einen Motorbetriebspunkt; einen Parameter, der einen in der Umgebung des Sensorelements

10 auftretenden Gasstrom charakterisiert, insbesondere quantifiziert, beispielsweise einen Volumenstrom und/oder Massenstrom des Gases, beispielsweise des Abgases; einen Parameter, der eine in der Umgebung des Sensorelements 10 auftretende Temperatur charakterisiert und insbesondere quantifiziert, insbesondere eine Abgastemperatur, eine  
5 Katalysatortemperatur und/oder eine Rohrwandtemperatur; eine Motordrehzahl; einen Motor-Lastzustand. Diese mindestens eine Steuergröße wird bereits in derzeitigen Abgassystemen in Kraftfahrzeugen in der Regel erfasst, da beispielsweise Abgastemperaturen für den Betrieb von Katalysatoren von Bedeutung sind, da Motorbetriebspunkte von einer Motorsteuerung ohnehin erfasst werden und da auch  
10 Abgasströme (Massenströme und/oder Volumenströme) beispielsweise bei einer Abgasrückführung von Bedeutung sind. Insofern können beispielsweise ohnehin erfasste Parameter oder Kombinationen derartiger Parameter als Steuergrößen für das vorgeschlagene Verfahren verwendet werden. Auch andere Parameter sind jedoch alternativ oder zusätzlich einsetzbar.

15

Im Rahmen der oben vorgeschlagenen Verfahrensschritte kann der derartig erfasste Innenwiderstand als Istwert der mindestens einen Regelgröße des Sensorelements 10 oder als Teil eines Istwerts des Wertes verwendet werden. Der ermittelte Innenwiderstand kann dann für die Regelung der Temperatur verwendet werden. Der bei herkömmlichen  
20 Regelverfahren bei ungenauer oder fehlerhafter Erfassung der Regelgröße auftretende Nachteil, dass die optimale Betriebstemperatur überschritten oder unterschritten werden kann oder dass sich bei starker Überschreitung der Betriebstemperatur sogar Beschädigungen am Sensorelement einstellen können, kann jedoch durch den vorgeschlagenen Kontrollschritt vermieden werden. Wenn beispielsweise permanent oder  
25 temporär ein erhöhter Übergangswiderstand im Signalkreis des Sensorelements 10 auftritt, beispielsweise in Form von Kontaktierungsproblemen, neigen herkömmliche Temperaturregelungen dazu, den hohen gemessenen Widerstand auf den kleineren Zielwiderstand einzuregeln und erhöhen dabei die Heizerspannung. Dadurch wird das Sensorelement 10 zu heiß betrieben, und die im Sensorelement 10 integrierte  
30 Heizvorrichtung 14 kann durchbrennen. So würden beispielsweise herkömmliche Sensorelemente auf eine Temperatur von  $> 1150^{\circ}\text{C}$  aufgeheizt, wenn diese längere Zeit mit einer Heizerspannung von 11 V betrieben werden, was zum Durchbrennen des Heizers führt. Je größer die Heizleistungsreserve der Heizvorrichtung 14, insbesondere einer in das Sensorelement 10 integrierten Heizvorrichtung 14, ist, desto größer ist die  
35 Gefahr einer schädigenden Überhitzung des Sensorelements 10. Zur Vermeidung dieser Überhitzung wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Regelung der Temperatur

vorgesehen, welche optional durch eine oder mehrere Steuergrößen modifiziert oder unterstützt werden kann, die beispielsweise von einem Motorsteuerungssystem bereitgestellt werden können.

5 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird nun zum Einregeln einer Solltemperatur die Heizvorrichtung 14 mittels mindestens einer Pulsweitenmodulation angesteuert. Zur Diagnose weist die Heizvorrichtung-Ansteuervorrichtung 22 einen Analog/Digital-Wandler 34 auf. Figur 2 zeigt zwei Beispiele für einen Temperaturverlauf über die Zeit, von denen das erste Beispiel den Temperaturverlauf bei niedriger Pulsweitenmodulationsfrequenz  
10 darstellt und das zweite Beispiel den Temperaturverlauf bei hoher Pulsweitenmodulationsfrequenz darstellt. In Figur 2 ist auf der X-Achse die Zeit 36 aufgetragen und auf der Y-Achse die Temperatur 38. Die Solltemperatur ist mit dem Bezugszeichen 40 markiert. Ein Temperaturverlauf bei einer Ansteuerung der Heizvorrichtung 14 mit einer niedrigen Pulsweitenmodulationsfrequenz ist durch die Linie  
15 42 angegeben und ein Temperaturverlauf bei einer Ansteuerung der Heizvorrichtung 14 mit einer hohen Pulsweitenmodulationsfrequenz ist durch die Linie 44 angegeben. Wie in Figur 2 gezeigt ist, wird die Solltemperatur 40 bei einer niedrigen Pulsweitenmodulationsfrequenz in bestimmten Zeiträumen stark überschritten und in anderen Zeiträumen stark unterschritten. Daher kommt es bei einer niedrigen  
20 Pulsweitenmodulationsfrequenz zu starken Temperaturschwankungen. Diese Temperaturschwankungen lassen sich durch eine hohe Pulsweitenmodulationsfrequenz deutlich verringern, wie durch den Temperaturverlauf der Linie 44 erkennbar ist. Entsprechend kann bei einer hohen Pulsweitenmodulationsfrequenz für die Ansteuerung der Heizvorrichtung 14 eine Isttemperatur der Solltemperatur 40 angenähert werden.

25  
Figur 3 zeigt ein Beispiel für einen Verlauf einer Spannung 46 der Heizvorrichtung 14 über die Zeit 36 bei hohem Heizleistungsbedarf und einer Limitierung der Schaltdauer alle 10 ms. Auf der X-Achse ist die Zeit 36 in ms aufgetragen und auf der Y-Achse ist die Spannung 46 in V aufgetragen. Ferner ist mit 48 ein oberer Schwellwert der Spannung 46  
30 und mit 50 ein unterer Schwellwert der Spannung 46 markiert. Der obere Schwellwert 48 kann beispielsweise 10 V sein und der untere Schwellwert 50 kann beispielsweise 3 V sein. Die Pulsweitenmodulation kann bei dem bei dem Beispiel der Figur 3 eine Pulsweitenmodulationsfrequenz von 100 Hz aufweisen. Entsprechend diesem Beispiel erfolgt die Ansteuerung mit mindestens 100 Pulsweitenmodulationsperioden pro Sekunde.  
35 Somit wird die Heizvorrichtung 14 mindestens 100 mal pro Sekunde eingeschaltet und abgeschaltet. Somit liegen mindestens 100 Impulse pro Sekunde bei der Ansteuerung

vor. Eine Pulsweitenmodulationsperiode, die in Figur 3 mit 52 bezeichnet ist, kann beispielsweise 10 ms sein. Herstellervorgaben und/oder auch gesetzliche Vorschriften erfordern eine Diagnose des Sensorelements 10 und insbesondere der Heizvorrichtung 14 mit einer Diagnosefrequenz von mindestens 2 Hz. Entsprechend sind zwei

5 Diagnoseperioden pro Sekunden erforderlich. Die Diagnoseperiode ist in Figur 3 mit 54 bezeichnet. Folglich ist die Pulsweitenmodulationsfrequenz höher als die Diagnosefrequenz, hier bei diesem Beispiel um den Faktor 50. Die Diagnose umfasst bei dem Beispiel der Figur 3 eine Überwachung auf Kurzschlüsse nach Masse und Batterie.

10 Die Diagnose umfasst dabei die Überwachung der Heizvorrichtung 14 sowohl in einem eingeschalteten als auch abgeschalteten Zustand. Insbesondere können die Pulsweitenmodulationsperioden 52 während einer oder mehreren Diagnoseperioden 54 durchgeführt werden.

Bei dem in Figur 3 gezeigten Beispiel für ein Verfahren zur Ansteuerung und Diagnose

15 wird die Heizvorrichtung mittels Pulsweitenmodulation angesteuert. Bei einem Abschalten der Heizvorrichtung 14 steigt die Spannung 46 und bei einem Einschalten sinkt die Spannung 46, da die Heizvorrichtung 14 üblicherweise low-side angesteuert wird, da dies schaltungstechnisch einfacher zu realisieren ist. Wie in Figur 3 gezeigt ist, wird die Heizvorrichtung alle 10 ms abgeschaltet und die Spannung 46 steigt auf beispielsweise

20 13 V bis 14 V an. Ferner ist bei dem in Figur 3 gezeigten Beispiel die Einschaltdauer der Heizvorrichtung 14 alle 10 ms limitiert. Dabei wird die Spannung 46 zur Diagnose beobachtet, ob die Heizvorrichtung 14 korrekt einschaltet und abschaltet. Dies lässt sich daran erkennen, dass bei einem Abschalten die Spannung 46 über einen längeren Zeitraum von ungefähr 1 ms auf den Spitzenwert von 13 V bis 14 V ansteigt. Bei einem

25 Kurzschluss nach Masse würde die Spannung 46 den oberen Schwellwert 48 beim Abschalten nicht überschreiten und bei einem Kurzschluss nach Batterie würde die Spannung 46 den unteren Schwellwert 50 nicht unterschreiten.

Figur 4 zeigt ein Beispiel für einen Verlauf eines elektrischen Stroms 56 durch die

30 Steuervorrichtung 22 über die Zeit 36 bei hohem Heizleistungsbedarf und einer Limitierung der Schaltdauer alle 10 ms. Das Beispiel der Figur 4 gibt dabei den Verlauf des Stroms 56 bei einem Spannungsverlauf gemäß dem Beispiel der Figur 3 wieder. Auf der X-Achse ist die Zeit 36 in ms aufgetragen und auf der Y-Achse ist der Strom 56 in A aufgetragen. Ferner ist mit 58 ein oberer Schwellwert des Stroms 56 und mit 60 ein

35 unterer Schwellwert des Stroms 56 markiert. Der obere Schwellwert 58 kann beispielsweise 1,5 A sein und der untere Schwellwert 60 kann beispielsweise 0,3 A sein.

Wie der Figur 4 entnehmbar ist, steigt der Strom 56 beim Einschalten der Heizvorrichtung 14 auf ungefähr 3 A an und sinkt beim Abschalten der Heizvorrichtung 14 auf 0 A. Dabei wird der Strom 56 zur Diagnose beobachtet, ob die Heizvorrichtung 14 korrekt einschaltet und abschaltet. Bei einem Kurzschluss nach Masse würde der Strom 56 den unteren  
5 Schwellwert 60 beim Abschalten nicht unterschreiten und bei einem Kurzschluss nach Batterie würde der Strom 56 den oberen Schwellwert 58 nicht überschreiten.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ansteuerung und Diagnose des Sensorelements 10 wird nachstehend unter Erläuterung der Unterschiede zu den Beispielen der Figur 3 und 4  
10 beschrieben, da das erfindungsgemäße Verfahren auf diesen Beispielen basiert und modifiziert. Gleiche Bauteile und Merkmale sind dabei mit gleichen Bezugszeichen angegeben.

Die Pulsweitenmodulation kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren mindestens eine  
15 Pulsweitenmodulationsfrequenz aufweisen, beispielsweise mindestens 100 Hz.

Entsprechend diesem Beispiel erfolgt die Ansteuerung mit mindestens 100 Pulsweitenmodulationsperioden 52 pro Sekunde. Somit wird die Heizvorrichtung 14 mindestens 100 mal pro Sekunde eingeschaltet und abgeschaltet. Somit liegen mindestens 100 Impulse pro Sekunde bei der Ansteuerung vor. Herstellervorgaben  
20 und/oder auch gesetzliche Vorschriften erfordern eine Diagnose des Sensorelements 10 und insbesondere der Heizvorrichtung 14 mit einer Diagnosefrequenz von mindestens 2 Hz. Entsprechend sind zwei Diagnoseperioden 54 pro Sekunden erforderlich. Folglich ist die Pulsweitenmodulationsfrequenz höher als die Diagnosefrequenz, hier bei diesem Beispiel um mindestens den Faktor 50. Die Diagnose kann beispielsweise eine  
25 Überwachung auf Kurzschlüsse nach Masse und/oder Batterie umfassen, vorzugsweise eine Überwachung auf Kurzschlüsse nach Masse und Batterie. Insbesondere können die Pulsweitenmodulationsperioden 52 während einer oder mehreren Diagnoseperioden 54 durchgeführt werden.

Um diese Vorgaben der Mindest-Diagnosefrequenz von 2 Hz zu erfüllen, können  
30 beispielsweise von den 100 Pulsweitenmodulationsperioden 52 jeweils 50 aufeinanderfolgende Pulsweitenmodulationsperioden 52 derart angesteuert werden, dass beispielsweise die ersten 49 Pulsweitenmodulationsperioden 52 mit einem Tastverhältnis von 99,85 % durchgeführt wird, wohingegen die fünfzigste Pulsweitenmodulationsperiode  
35 52 mit einem Tastverhältnis von 98 % durchgeführt wird. Folglich wird die Heizvorrichtung 14 alle 500 ms ausreichend lange eingeschaltet und abgeschaltet. Insgesamt liegt dann

über die genannten 50 Pulsweitenmodulationsperioden 52 ein Tastverhältnis von 99,8 % vor. In der fünfzigsten der genannten 50 Pulsweitenmodulationsperiode 52 wird nun die Diagnose in den ersten und letzten 2 % der Pulsweitenmodulationsperiode 52 durchgeführt. Diese 2 % der 10 ms, in der die Heizvorrichtung 14 eingeschaltet und abgeschaltet wird, ergeben somit eine minimale Diagnosedauer von jeweils 200  $\mu$ S mit eingeschalteter und abgeschalteter Heizvorrichtung 14 in dem Zyklus aus 50 Pulsweitenmodulationsperioden 54. Entsprechend wird als minimale Einschaltdauer und als minimale Abschaltdauer jeweils die 200  $\mu$ s festgelegt, um die Diagnose sicher hinsichtlich der Überwachung des Einschaltverhaltens und des Abschaltverhaltens durchführen zu können. Die insgesamte Diagnoseperiode 54 ist weiterhin 500 ms. Die Diagnose wird dabei sowohl mit eingeschalteter Heizvorrichtung 14 durchgeführt, um einen Kurzschluss nach Batterie zu überwachen, als auch mit ausgeschalteter Heizvorrichtung 14, um einen Kurzschluss nach Masse zu überwachen.

Figur 5 zeigt ein Beispiel für einen Verlauf einer Spannung 46 der Heizvorrichtung 14 über die Zeit 36 bei hohem Heizleistungsbedarf und einer Limitierung der Schaltdauer alle 500 ms gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren. Auf der X-Achse ist die Zeit 36 in ms aufgetragen und auf der Y-Achse ist die Spannung 46 in V aufgetragen. Ferner ist mit 48 ein oberer Schwellwert der Spannung 46 und mit 50 ein unterer Schwellwert der Spannung 46 markiert. Der obere Schwellwert 48 kann beispielsweise 10 V sein und der untere Schwellwert 50 kann beispielsweise 3 V sein. In Figur 5 sind nun beispielhaft 5 Pulsweitenmodulationsperioden 54 gezeigt, bei denen die Spannung 46 den oberen Schwellwert 48 nicht überschreitet, da die Heizvorrichtung 14 nur vernachlässigbar kurz abgeschaltet wird, was einem Tastverhältnis von nahezu 100 % entspricht. Ferner ist in Figur 5 eine Pulsweitenmodulationsperiode 52 gezeigt, in der die Spannung 46 auf einen Spitzenwert von ungefähr 13 V bis 14 V ansteigt, da die Heizvorrichtung 14 etwas länger abgeschaltet wird, um eine Diagnose bei abgeschalteter Heizvorrichtung 14 durchzuführen. Diese Pulsweitenmodulationsperiode 52 entspricht einem Tastverhältnis von 98 %. Entsprechend ist die Heizvorrichtung 14 für 49,8 ms nahezu durchgehend eingeschaltet und für 200  $\mu$ S abgeschaltet. Das Überschreiten des oberen Schwellwerts 48 ist dabei durch einen Kreis 62 markiert und gibt an, dass kein Kurzschluss nach Masse vorliegt. Bei einem Kurzschluss nach Masse würde die Spannung 46 den oberen Schwellwert 48 beim Abschalten nicht überschreiten und bei einem Kurzschluss nach Batterie würde die Spannung 46 den unteren Schwellwert 50 nicht unterschreiten.

Figur 6 zeigt ein Beispiel für einen Verlauf eines elektrischen Stroms 56 durch die Steuervorrichtung 22 über die Zeit 36 bei hohem Heizleistungsbedarf und einer Limitierung der Schaltdauer alle 500 ms. Das Beispiel der Figur 6 gibt dabei den Verlauf des Stroms 56 bei einem Spannungsverlauf gemäß dem Beispiel der Figur 5 wieder. Auf der X-Achse ist die Zeit 36 in ms aufgetragen und auf der Y-Achse ist der Strom 56 in A aufgetragen. Ferner ist mit 58 ein oberer Schwellwert des Stroms 56 und mit 60 ein unterer Schwellwert des Stroms 56 markiert. Der obere Schwellwert 58 kann beispielsweise 1,5 A sein und der untere Schwellwert 60 kann beispielsweise 0,3 A sein. Wie der Figur 6 entnehmbar ist, steigt der Strom 56 beim Einschalten der Heizvorrichtung 14 auf ungefähr 3 A an und sinkt beim Abschalten der Heizvorrichtung 14 auf 0 A. Dabei wird der Strom 56 zur Diagnose beobachtet, ob die Heizvorrichtung 14 korrekt einschaltet und abschaltet. In den ersten 49 Pulsweitenmodulationsperioden 54 sinkt der Strom 56 nicht unter den unteren Schwellwert 60, da die Heizvorrichtung 14 vernachlässigbar kurz abgeschaltet wird, was einem Tastverhältnis von nahezu 100 % entspricht. Das Unterschreiten des unteren Schwellwerts 60 in der fünfzigsten Pulsweitenmodulationsperiode 52 mit länger abgeschalteter Heizvorrichtung 14 ist dabei durch einen Kreis 64 markiert und gibt an, dass kein Kurzschluss nach Masse vorliegt. Bei einem Kurzschluss nach Masse würde der Strom 56 den unteren Schwellwert 60 beim Abschalten nicht unterschreiten und bei einem Kurzschluss nach Batterie würde der Strom 56 den oberen Schwellwert 58 nicht überschreiten.

Entsprechend den obigen Ausführungen werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren während der Diagnoseperiode 54 mindestens zwei Pulsweitenmodulationsperioden 52 durchgeführt, wobei in mindestens einer Pulsweitenmodulationsperiode 52 eine minimale Einschaltdauer und eine minimale Abschaltdauer festgelegt wird, um die Diagnose durchzuführen. Die Diagnosedauer kann dabei einen Anteil einer Pulsweitenmodulationsperiode 52 von 2 % oder weniger umfassen, in dem die Heizvorrichtung 14 eingeschaltet und ausgeschaltet ist. In anderen Pulsweitenmodulationsperioden 52, in denen keine minimale Einschaltdauer und minimale Abschaltdauer festgelegt wird und keine Diagnose durchgeführt werden muss, kann in Abhängigkeit von dem Betriebszustand des Sensorelements 10, d.h. in Abhängigkeit davon, ob das Sensorelement 10 beheizt werden muss oder nicht, eine längere oder kürzere Einschaltdauer oder Abschaltdauer festgelegt werden. Zusammenfassend wird in mindestens einem Anteil der Pulsweitenmodulationsperiode 52 die Heizvorrichtung 14 mit elektrischem Strom 56 und/oder mit elektrischer Spannung 46 und/oder in mindestens einem Anteil der Pulsweitenmodulationsperiode 52 nicht mit

elektrischem Strom 56 und/oder elektrischer Spannung 46 beaufschlagt. Während der Diagnose wird die Heizvorrichtung 14 für mindestens die Diagnosedauer mit elektrischem Strom 56 und/oder elektrischer Spannung 46 beaufschlagt und für mindestens die Diagnosedauer nicht mit elektrischem Strom 56 und/oder nicht mit elektrischer Spannung 46 beaufschlagt. Die Diagnosedauer entspricht der minimalen Einschaltdauer und der minimalen Abschaltdauer.

Alternativ wird sukzessive in einem Teil der Pulsweitenmodulationsperioden 52 die Heizvorrichtung 14 durchgängig eingeschaltet, während in den verbleibenden Pulsweitenmodulationsperioden 52, mindestens aber in einer anderen Pulsweitenmodulationsperiode 52, als diejenige, in der die Diagnose durchgeführt wird, die Heizvorrichtung 14 für mindestens die Diagnosedauer nicht eingeschaltet wird. Die Diagnose wird dann nur noch in den verbleibenden Pulsweitenmodulationsperioden 52 durchgeführt.

Analog erfolgt die Anwendung bei niedrigen Tastverhältnissen von kleiner 2%. Alternativ entfallen sukzessive Einschaltphasen der Heizvorrichtung 14. Mit anderen Worten entfällt die Einschaltphase über einen oder mehrere Zyklen hinweg.

Die sinnvolle Grenze des Eingriffs bzw. der oben geschilderten Ansteuerung und Diagnose ergibt sich über eine zeitliche Mittelung der Heizleistung in dem Sensorelement 10. Näherungsweise liegt diese in Abhängigkeit von der jeweiligen Ausführungsform des Sensorelements 10 und den jeweiligen Anforderungen bei maximal 20 bis 50 Zyklen, also Wiederholungen der Pulsweitenmodulationsperiode 52, in denen jeweils die Einschalt- oder Ausschalt-Impulse entfallen können. Folglich sind Tastverhältnisse von nahezu 0 % bis 100 % mit dem erfindungsgemäßen Verfahren nutzbar.

Es wird explizit betont, dass alle in der Beschreibung und/oder in den Ansprüchen offenbarten Merkmale als getrennt und unabhängig voneinander zum Zweck der ursprünglichen Offenbarung ebenso wie zum Zweck des Einschränkens der beanspruchten Erfindung unabhängig von den Merkmalskombinationen in den Ausführungsformen und/oder den Ansprüchen angesehen werden sollen. Es wird explizit festgehalten, dass alle Bereichsangaben oder Angaben von Gruppen von Einheiten jeden möglichen Zwischenwert oder Untergruppe von Einheiten zum Zweck der ursprünglichen Offenbarung ebenso wie zum Zweck des Einschränkens der beanspruchten Erfindung offenbaren, insbesondere auch als Grenze einer Bereichsangabe.

## Ansprüche

- 5 1. Verfahren zur Ansteuerung und Diagnose eines Sensorelements (10) zur Erfassung mindestens einer Eigenschaft eines Gases in einem Messgasraum, wobei das Sensorelement (10) mindestens eine Heizvorrichtung (14) aufweist, wobei das Verfahren mindestens die folgenden Schritte umfasst:
- 10 - Ansteuern der Heizvorrichtung (14) mittels mindestens einer Pulsweitenmodulation, wobei die Pulsweitenmodulation mit mindestens einer Pulsweitenmodulationsfrequenz durchgeführt wird, und
- Festlegen einer minimalen Einschaltdauer und einer minimalen Abschaltdauer der Heizvorrichtung (14) mit einer Diagnosefrequenz, wobei sich die Pulsweitenmodulationsfrequenz von der Diagnosefrequenz unterscheidet.
- 15 2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Pulsweitenmodulationsfrequenz höher ist als die Diagnosefrequenz.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Pulsweitenmodulationsfrequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Diagnosefrequenz ist, insbesondere ein Faktor von mindestens 50.
- 20 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die minimale Einschaltdauer und die minimale Abschaltdauer für mindestens eine Pulsweitenmodulationsperiode mit der Diagnosefrequenz festgelegt wird und für die verbleibenden Pulsweitenmodulationsperioden eine längere oder kürzere Einschaltdauer festgelegt wird.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die minimale Einschaltdauer für mindestens eine Pulsweitenmodulationsperiode mit der Diagnosefrequenz festgelegt wird und für die verbleibenden Pulsweitenmodulationsperioden die Heizvorrichtung nicht eingeschaltet wird.
- 30 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die minimale Einschaltdauer für mindestens eine Pulsweitenmodulationsperiode mit der
- 35

Diagnosefrequenz festgelegt wird und für die verbleibenden Pulsweitenmodulationsperioden die Heizvorrichtung durchgehend eingeschaltet wird.

- 5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die minimale Einschaltdauer und die minimale Abschaltdauer jeweils einen Anteil einer Pulsweitenmodulationsperiode (52) von weniger als 2 % umfassen.
- 10 8. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei in mindestens einem Anteil der Pulsweitenmodulationsperiode (52) die Heizvorrichtung (14) mit elektrischem Strom (56) und/oder mit elektrischer Spannung (46) und/oder in mindestens einem Anteil der Pulsweitenmodulationsperiode (52) nicht mit elektrischem Strom (56) und/oder elektrischer Spannung (46) beaufschlagt wird.
- 15 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei durch die Diagnose die Heizvorrichtung (14) überwacht wird.
- 20 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei während der Diagnose die Heizvorrichtung (14) mit elektrischem Strom (56) und/oder elektrischer Spannung (46) beaufschlagt wird oder nicht mit elektrischem Strom (56) und/oder nicht mit elektrischer Spannung (46) beaufschlagt wird.
- 25 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Pulsweitenmodulationsfrequenz von 2 Hz bis 2 kHz, bevorzugt von 20 Hz bis 200 Hz und besonders bevorzugt 100 Hz, ist, wobei die Diagnosefrequenz von 1 Hz bis 2 kHz, bevorzugt von 1 Hz bis 10 Hz und besonders bevorzugt 2 Hz, ist.
- 30 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die minimale Einschaltdauer und die minimale Abschaltdauer jeweils von 2  $\mu$ s bis 20 ms, bevorzugt 20  $\mu$ s bis 2 ms und besonders bevorzugt 200  $\mu$ s, sind.

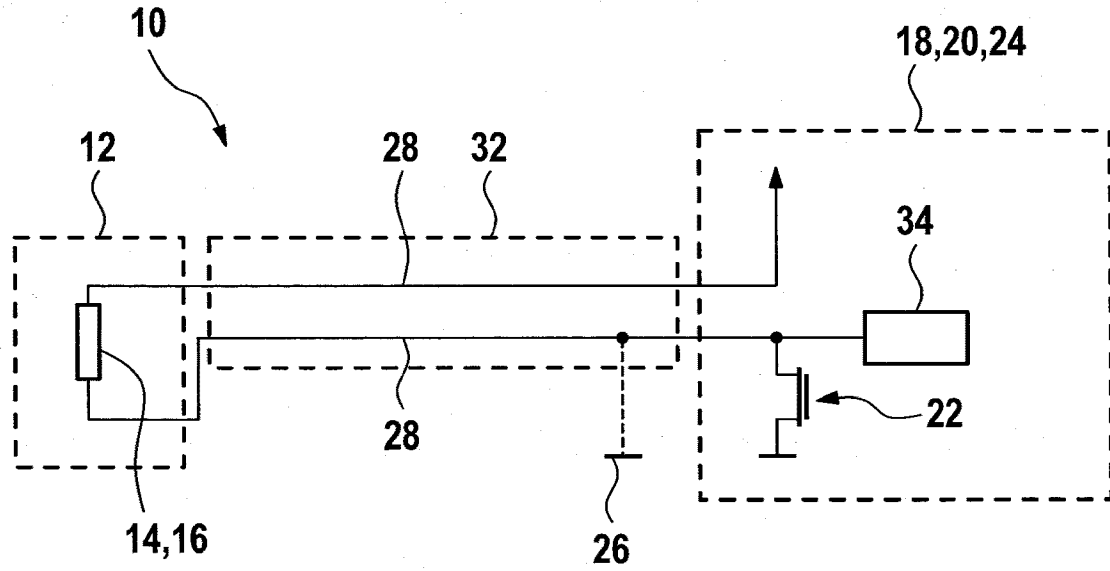


FIG. 1

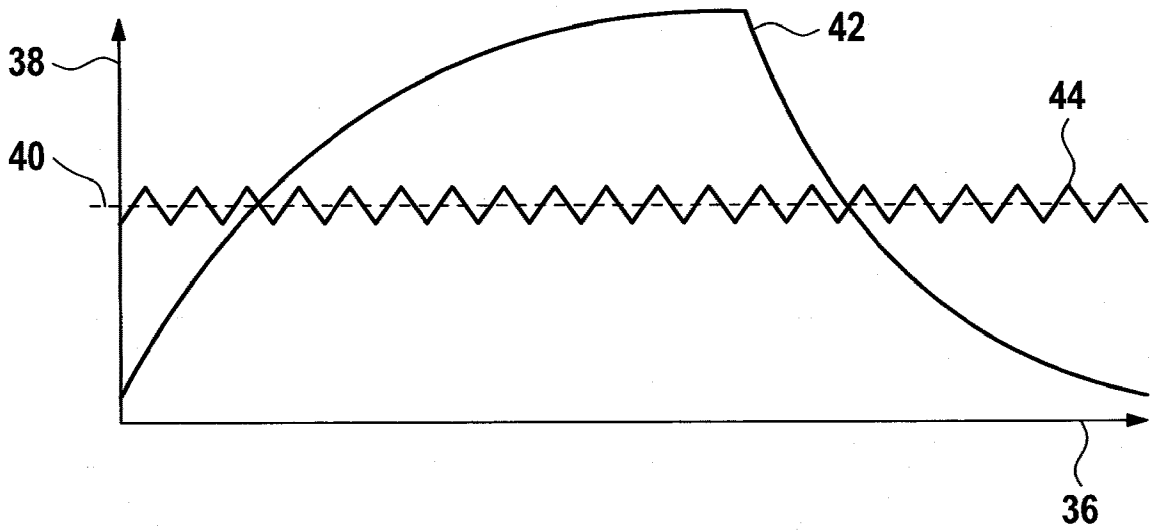


FIG. 2

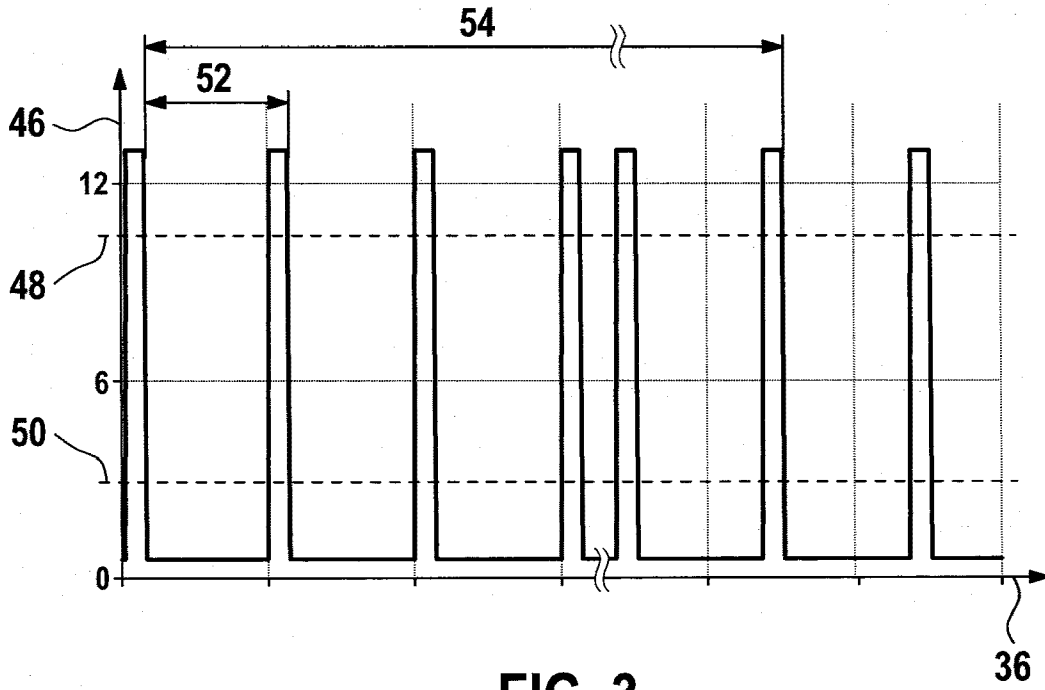


FIG. 3

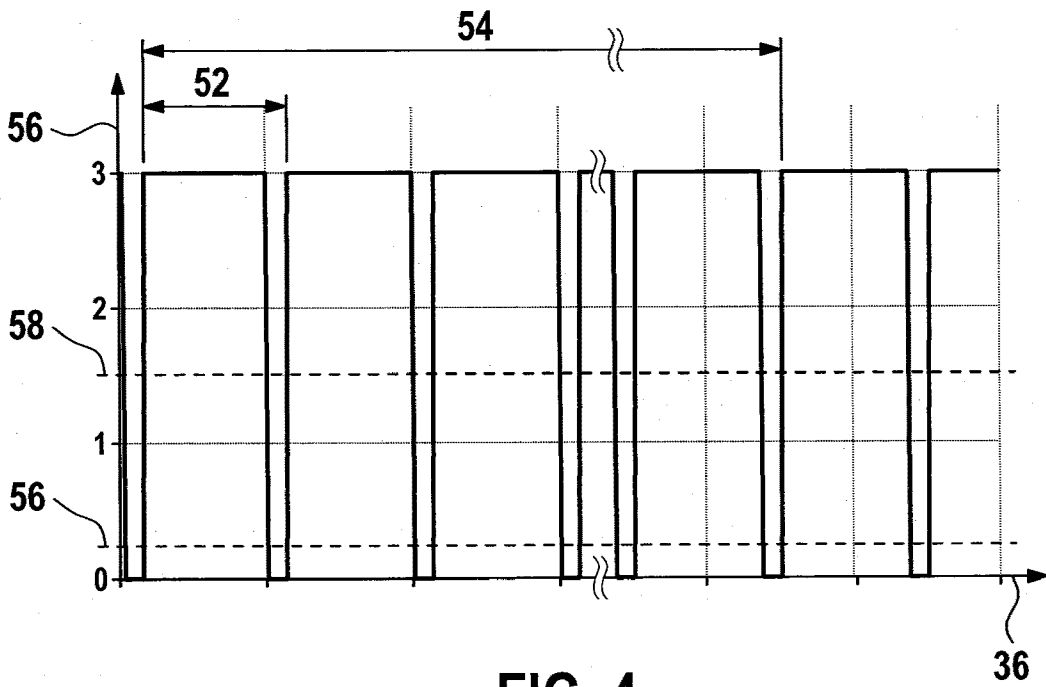


FIG. 4

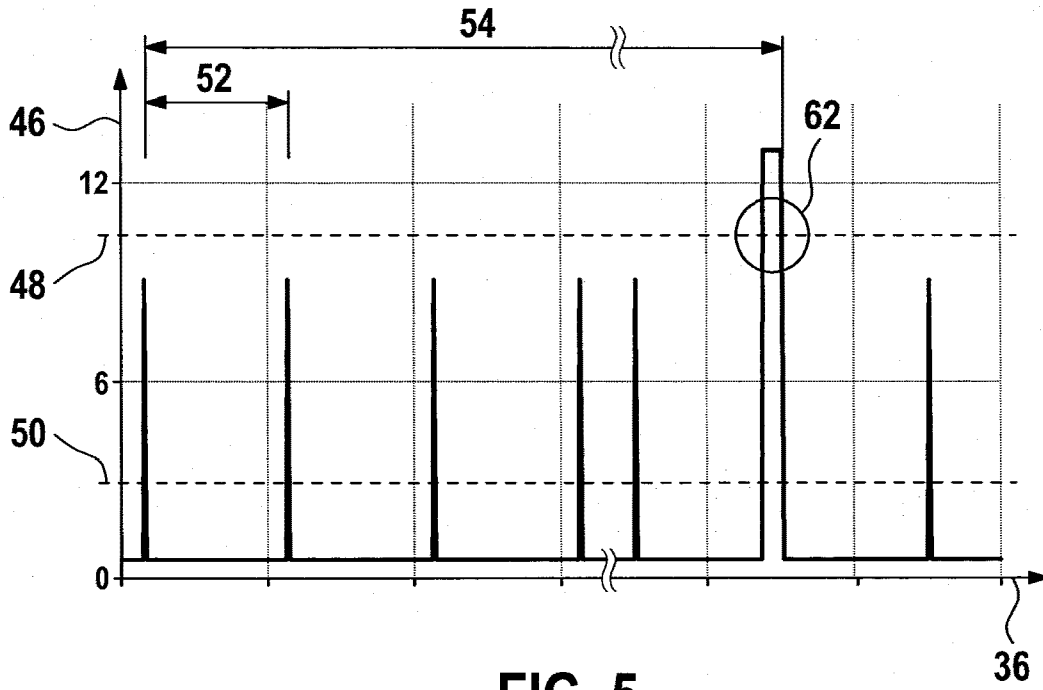


FIG. 5

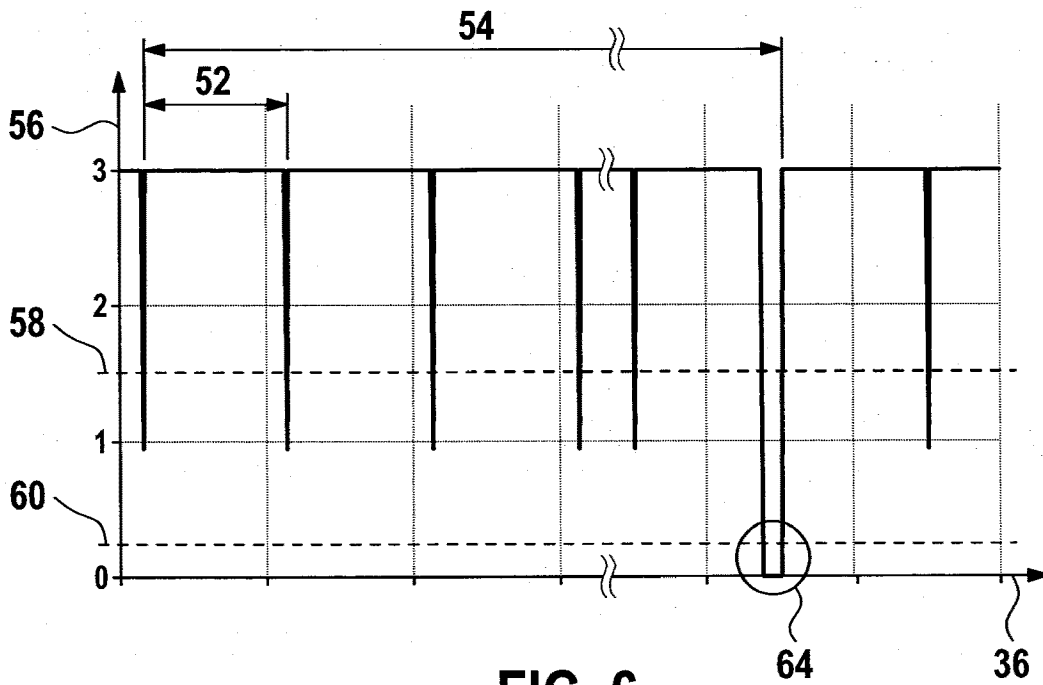


FIG. 6

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2013/051801

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. G01N27/406 F02D41/14  
ADD.  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G01N F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 262 649 A2 (DENSO CORP [JP]) 4 December 2002 (2002-12-04) paragraphs [0112], [0113]; figure 18 -----	1-12
X	US 2011/265551 A1 (HOPKA MICHAEL [US] ET AL) 3 November 2011 (2011-11-03) paragraphs [0001], [0030], [0034], [0037] - [0041], [0046], [0053], [0055], [0056], [0068] -----	1-12
X	US 2010/073017 A1 (BEVOT CLAUDIUS [DE] ET AL) 25 March 2010 (2010-03-25) paragraphs [0002], [0011] - [0017], [0032] - [0034], [0038] - [0047]; figure 3 -----	1,4-12

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search <b>27 May 2013</b>	Date of mailing of the international search report <b>05/06/2013</b>
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer <b>Meyer, Fred</b>
--	--

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/051801

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 1262649	A2	04-12-2002	EP 1262649 A2	04-12-2002
			EP 1953371 A2	06-08-2008
			JP 3843880 B2	08-11-2006
			JP 2003050226 A	21-02-2003
			US 2002179443 A1	05-12-2002
-----				
US 2011265551	A1	03-11-2011	CN 102797545 A	28-11-2012
			DE 102012207392 A1	29-11-2012
			US 2011265551 A1	03-11-2011
-----				
US 2010073017	A1	25-03-2010	CN 101685078 A	31-03-2010
			DE 102008042268 A1	01-04-2010
			US 2010073017 A1	25-03-2010
-----				

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. G01N27/406 F02D41/14  
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTER GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 G01N F02D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 262 649 A2 (DENSO CORP [JP]) 4. Dezember 2002 (2002-12-04) Absätze [0112], [0113]; Abbildung 18 -----	1-12
X	US 2011/265551 A1 (HOPKA MICHAEL [US] ET AL) 3. November 2011 (2011-11-03) Absätze [0001], [0030], [0034], [0037] - [0041], [0046], [0053], [0055], [0056], [0068] -----	1-12
X	US 2010/073017 A1 (BEVOT CLAUDIUS [DE] ET AL) 25. März 2010 (2010-03-25) Absätze [0002], [0011] - [0017], [0032] - [0034], [0038] - [0047]; Abbildung 3 -----	1,4-12



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. Mai 2013

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

05/06/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Meyer, Fred

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/051801

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 1262649	A2	04-12-2002	EP 1262649 A2	04-12-2002
			EP 1953371 A2	06-08-2008
			JP 3843880 B2	08-11-2006
			JP 2003050226 A	21-02-2003
			US 2002179443 A1	05-12-2002
-----				
US 2011265551	A1	03-11-2011	CN 102797545 A	28-11-2012
			DE 102012207392 A1	29-11-2012
			US 2011265551 A1	03-11-2011
-----				
US 2010073017	A1	25-03-2010	CN 101685078 A	31-03-2010
			DE 102008042268 A1	01-04-2010
			US 2010073017 A1	25-03-2010
-----				