

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50206/2023
(22) Anmeldetag: 20.03.2023
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2024

(51) Int. Cl.: **H01M 8/04029** (2016.01)
H01M 8/0438 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
CN 111725539 B
EP 2922129 A1
JP 2005135711 A

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

(72) Erfinder:
Weingrill David Dipl.-Ing.
8152 Stallhofen (AT)
Blagojevic Nina
8020 Graz (AT)

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

(54) **Verfahren für eine Erkennung von Gasblasen**

- (57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für eine Erkennung von Gasblasen (GB) in einer Kühlflüssigkeit (KF) in einem Kühlkreislauf (142) einer Kühlvorrichtung (140) mit einer Pumpvorrichtung (144), wobei die folgenden Schritte vorgesehen sind:
- Erfassen des Kühlflüssigkeit-Drucks (KP) in der Pumpvorrichtung (144) im Kühlkreislauf (142) über einen Erfassungszeitraum (EZ),
 - Bestimmen einer Druck-Änderungsrate (DP) des erfassten Kühlflüssigkeit-Drucks (KP),
 - Vergleich der bestimmten Druck-Änderungsrate (DP) mit einem Druck-Änderungsgrenzwert (DPG),
 - Erzeugen und Ausgeben eines Gasblasen-Signals (GBS), wenn die erfasste Druck-Änderungsrate (DP) den Druck-Änderungsgrenzwert (DPG) übersteigt
 - wobei zusätzlich eine Erfassung einer Ventilstellung (SV) eines Thermostatventils des Kühlkreislaufs (142) und eine Bestimmung einer Stellungs-Änderungsrate (DV) der erfassten Ventilstellung (SV) erfolgt, wobei die Stellungs-Änderungsrate (DV) mit einem Stellungs-Änderungsgrenzwert (DVG) verglichen wird und das Gasblasen-Signal (GBS) nur ausgegeben wird, wenn auch die Stellungs-Änderungsrate (DV) den Stellungs-Änderungsgrenzwert (DVG) unterschreitet.

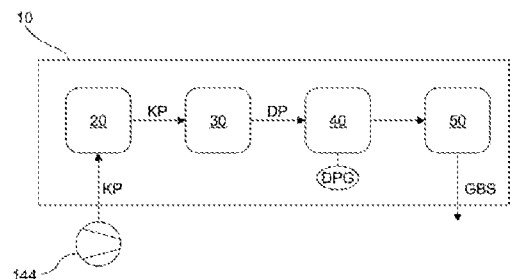


Fig. 1

Beschreibung

VERFAHREN FÜR EINE ERKENNUNG VON GASBLASEN

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für eine Erkennung von Gasblasen, eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens, ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines solchen Verfahrens sowie ein Brennstoffzellensystem mit einer solchen Kontrollvorrichtung.

[0002] Es ist bekannt, dass in Brennstoffzellensystemen Kühlvorrichtungen eingesetzt werden, um insbesondere stapelförmig angeordnete Brennstoffzellen in einem Brennstoffzellenstapel zu kühlen und damit unter einer definierten Maximaltemperatur zu halten. Solche Kühlvorrichtungen sind üblicherweise mit Kühlkreisläufen ausgestattet, in welchen Kühlflüssigkeit zirkulieren kann. Für eine aktive Zirkulation der Kühlflüssigkeit ist dabei üblicherweise eine Kühlpumpe vorgesehen.

[0003] Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass ein hoher Aufwand betrieben werden muss, um eine möglichst effektive Kühlung sicherzustellen. Insbesondere muss sichergestellt sein, dass die Kühlfunktionalität über alle Situationen mit ausreichender Quantität gewährleistet ist. Hierfür wird ein hoher konstruktiver Aufwand betrieben, um zum Beispiel in Form von Ausgleichsbehältern, krümmungsarmen Leitungsabschnitten oder Ähnlichem sicherzustellen, dass sich zum einen möglichst wenig Gasblasen, welche die Kühlfunktion beeinträchtigen würden, in der Kühlflüssigkeit bilden. Darüber hinaus sind zum Beispiel durch Ausgleichsbehälter für Kühlflüssigkeit konstruktive Komponenten gegeben, welche es erlauben, Gasblasen, welche sich gebildet haben, wieder aus der Kühlflüssigkeit zu entfernen. Dies führt zu einem erhöhten konstruktiven Aufwand sowohl in der Auslegung als auch zu geometrischen Einschränkungen bei der Bauweise solcher Kühlvorrichtungen. Auch führt es zu einem erhöhten Bauteilaufwand und häufig auch zu erhöhtem Platzbedarf solcher Kühlvorrichtungen.

[0004] Ein weiteres Verfahren für eine Erkennung von Gasblasen ist beispielsweise aus der CN 111725539 B bekannt.

[0005] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehenden Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise die Kühlfunktionalität einer Kühlvorrichtung für ein Brennstoffzellensystem mit hoher Sicherheit zu gewährleisten.

[0006] Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Kontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 10, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 11 sowie ein Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 12. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung, dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt sowie dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

[0007] Erfindungsgemäß dient ein Verfahren einer Erkennung von Gasblasen in einer Kühlflüssigkeit in einem Kühlkreislauf einer Kühlvorrichtung mit einer Pumpvorrichtung. Insbesondere gilt dies für eine Kühlvorrichtung in einem Brennstoffzellensystem, wie es später noch näher erläutert wird. Ein erfindungsgemäßes Verfahren zeichnet sich durch die folgenden Schritte aus:

- Erfassen des Kühlflüssigkeit-Drucks in der Pumpvorrichtung im Kühlkreislauf über einen Erfassungszeitraum,
- Bestimmen einer Druck-Änderungsrate des erfassten Kühlflüssigkeit-Drucks,
- Vergleich der bestimmten Druck-Änderungsrate mit einem Druck-Änderungsgrenzwert,

- Erzeugen und Ausgeben eines Gasblasen-Signals, wenn die erfasste Druck-Änderungsrate den Druck-Änderungsgrenzwert übersteigt.

[0008] Ein erfindungsgemäßes Verfahren erlaubt es Gasblasen, welche sich in einer Kühlflüssigkeit in einem Kühlkreislauf befinden oder dort entstanden sind, zu erkennen. Diese Erkennung bildet anschließend die Basis auf solche erkannten Gasblasen zu reagieren und entsprechend die Kühlfunktion aktiv zur Kompensation der Beeinträchtigung durch Gasblasen zu beeinflussen.

[0009] Der erfindungsgemäße Kerngedanke beruht darauf, dass insbesondere Parameter überwacht werden, welche Teil der Kühlvorrichtung selbst sind und, wie dies später noch erläutert wird, für das Kontrollverfahren Parameter eines Brennstoffzellensystems, beispielsweise der Temperatur und/oder der Spannung, unberücksichtigt bleiben können.

[0010] Der erfindungsgemäße Kerngedanke beruht nun darauf, dass über einen Erfassungszeitraum der Kühlflüssigkeit-Druck in der Pumpvorrichtung überwacht wird. Da üblicherweise Kühlflüssigkeiten als inkompressive Medien in solchen Kühlkreisläufen eingesetzt werden, ist es im Wesentlichen unerheblich an welcher Stelle der Druck erfasst wird. Bevorzugt ist es jedoch, wenn ein entsprechender Drucksensor in die Pumpvorrichtung integriert ist, um beim Auftreten von kompressiblen Gasblasen direkt an Ort und Stelle in der Pumpvorrichtung die entsprechende Erfassung gewährleisten zu können. Der Kühlflüssigkeit-Druck wird dabei über einen Erfassungszeitraum kontinuierlich oder im Wesentlichen kontinuierlich erfasst. Der Erfassungszeitraum kann eine vordefinierte Länge aufweisen. Bevorzugt ist es, wenn der Erfassungszeitraum sich kontinuierlich verlängert und/oder rollierend fortgesetzt wird, sodass entsprechend auch das erfindungsgemäße Verfahren rollierend wiederholt wird, um eine kontinuierliche oder im Wesentlichen kontinuierliche Überwachung auf das Vorhandensein von Gasblasen zur Verfügung stellen zu können.

[0011] Um sicherzustellen, dass das Gasblasen-Signal mit hoher Wahrscheinlichkeit nur dann ausgegeben wird, wenn auch tatsächlich eine Gasblase im System der Kühlflüssigkeit vorliegt, wird bei der erfindungsgemäßen Ausgestaltung nicht der erfasste Kühlflüssigkeit-Druck direkt ausgewertet, sondern auf Basis des erfassten Kühlflüssigkeit-Drucks eine Druck-Änderungsrate bestimmt. Mit anderen Worten wird nun nicht berücksichtigt, wie stark ein Druck sich geändert hat, sondern auch mit welcher Geschwindigkeit der Druck sich geändert hat. Erst diese Druck-Änderungsrate, also mathematisch gesehen die erste Ableitung des erfassten Kühlflüssigkeit-Drucks, wird mit einem Druck-Änderungsgrenzwert verglichen. Eine sehr schnelle Änderung des Kühlflüssigkeit-Drucks und dementsprechend eine hohe Druck-Änderungsrate gibt den Hinweis auf eine Gasblase, welche in der Kühlflüssigkeit entstanden sein könnte. Dies erlaubt es nun, durch die Vorgabe eines definierten Druck-Änderungsgrenzwertes zu unterscheiden, ob beim erfassten Kühlflüssigkeit-Druck eine hohe Druck-Änderungsrate oberhalb oder eine niedrige Druck-Änderungsrate unterhalb des Druck-Änderungsgrenzwerts vorliegt. Damit stellt der Druck-Änderungsgrenzwert ein Unterscheidungsmerkmal dar, um anhand der bestimmten Druck-Änderungsrate zu unterscheiden, ob der erfasste Kühlflüssigkeit-Druck in der jeweiligen Situation auf eine vorhandene Gasblase rückschließen lässt oder nicht. Durch dieses Unterscheidungsmerkmal kann im Rahmen des anschließenden Vergleichsschrittes eines erfindungsgemäßen Verfahrens nun final ein Gasblasen-Signal erzeugt und ausgegeben werden, für den Fall, dass die erfasste Druck-Änderungsrate den Druckänderungs-Grenzwert übersteigt. Ist dies nicht der Fall, wird das Gasblasen-Signal unterdrückt und/oder entsprechend auch weder erzeugt noch ausgegeben.

[0012] Das Erzeugen und Ausgeben eines Gasblasen-Signals dient dazu, eine Information auszugeben, dass zu diesem Zeitpunkt zumindest ein Hinweis auf eine Gasblase in dem Kühlkreislauf entdeckt worden ist. Dies erfolgt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, da nicht der Kühlflüssigkeit-Druck alleine, sondern dessen zeitliche Änderung, den Rückschluss ermöglicht hat. Auf Basis dieses Gasblasen-Signals sind nun verschiedene Reaktionen bei der Kontrolle der Kühlvorrichtung wie auch bei der Kontrolle des Brennstoffzellensystems möglich. Da eine Gasblase in einem Kühlkreislauf grundsätzlich die Kühlfunktionalität negativ beeinträchtigt, kann nun in unterschiedlicher Weise reagiert werden. Die stärkste Reaktion wäre in einem Brennstoffzel-

lensystem ein Reduzieren der Leistung, um das Aufheizen des Brennstoffzellenstapels, welcher mit der Kühlvorrichtung gekühlt wird, zu reduzieren oder zu minimieren. Da dies jedoch die Leistung des Brennstoffzellenstapels direkt schwächt und beispielsweise eine vorgegebene Leistungsanforderung dann nicht mehr erfüllt werden könnte, sind andere Reaktionen, welche den Brennstoffzellenstapel nicht beeinträchtigen, bevorzugt.

[0013] So kann beispielsweise beim Erzeugen und Ausgeben eines Gasblasen-Signals die Kühlvorrichtung selbst dahingehend reagieren, dass zum Beispiel die Pumpendrehzahl erhöht und/oder entsprechende Ventilstellungen so variiert werden, dass ein erhöhter Volumenstrom an gekühltem Kühlmittel durch den Brennstoffzellenstapel hindurchfließen kann. Damit wird die Verschlechterung der Kühlleistung auf Basis der erkannten Gasblase zumindest teilweise kompensierbar, da entsprechend ein höherer Volumenstrom an Kühlmittel diese Verschlechterung ausgleichen oder wenigstens teilweise ausgleichen kann. Alternativ ist es auch denkbar, dass bei einer Wärmesenke im Kühlkreislauf eine verstärkte Kühlung der Kühlflüssigkeit stattfindet, so dass dementsprechend die Vorlauftemperatur beim Eintritt in den Brennstoffzellenstapel für die Kühlflüssigkeit herabgesetzt und damit ebenfalls die Kühlleistung in für die Gasblase kompensierender Weise wieder gesteigert werden kann.

[0014] Erfindungsgemäß ist es also von Vorteil, dass das Verfahren es erlaubt, Kühleinschränkungen in einer Kühlvorrichtung, welche auf Gasblasen beruhen, zu erkennen und damit eine im Wesentlichen kontinuierliche Überwachung sicherzustellen. Diese kontinuierliche Überwachung ist auch mit einer sehr einfachen Messmethode, nämlich der Überwachung des Kühlflüssigkeits-Drucks in der Pumpvorrichtung, möglich, sodass ein sehr geringer konstruktiver Aufwand notwendig ist, um das Verfahren in einer Kühlvorrichtung zu implementieren. Darüber hinaus ist jedoch nun durch das Erzeugen und Ausgeben des Gasblasen-Signals eine aktive Einflussnahme möglich, um die Verschlechterung bei einer vorhandenen Gasblase zumindest teilweise durch geänderte Kühlparameter zu kompensieren. Diese Einflussmöglichkeit erlaubt es nun, die Kühlvorrichtung konstruktiv im Vergleich zum Stand der Technik einfacher und kostengünstiger und/oder auch kleiner auszubilden, da beispielsweise Ausgleichsbehälter kleiner ausgebildet werden können oder sogar gänzlich auf solche verzichtet werden kann. Auch können komplexere Geometrien, welche durch ihre Komplexität die Bildung von Gasblasen eher fördern akzeptiert werden, da durch die Erkennungsmöglichkeit von Gasblasen eine Reaktion und Teilkompensation dieser Kühlverschlechterung möglich wird.

[0015] Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zusätzlich eine Erfassung einer Pumpendrehzahl der Pumpvorrichtung und eine Bestimmung einer Drehzahl-Änderungsrate der erfassten Pumpendrehzahl erfolgt. Die Drehzahl-Änderungsrate wird anschließend mit einem Drehzahl-Änderungsgrenzwert verglichen und das Gasblasen-Signal nur ausgegeben, wenn auch die Drehzahl-Änderungsrate den Drehzahl-Änderungsgrenzwert unterschreitet, also nicht übersteigt. Während bereits das grundsätzlich erfindungsgemäße Verfahren, welches insbesondere ausschließlich auf einem Kühlflüssigkeits-Druck und der Druck-Änderungsrate basiert die grundsätzlichen Vorteile der Erfindung ermöglicht, kann die Anzahl von Fehlerkennungen, also das Erzeugen und Ausgeben von Gasblasen-Signalen ohne in der Realität vorhandene Gasblase, durch die Ergänzung der Pumpendrehzahl als zusätzliche Bedingung verringert werden. Das erfindungsgemäße Verfahren erhält nun also eine zweite Vorgabe, welche überprüft werden muss, um das Gasblasen-Signal mit noch höherer Genauigkeit auszugeben. Mit anderen Worten werden nur dann Gasblasen als solche erkannt und das zugehörige Gasblasen-Signal erzeugt und ausgegeben, wenn in diesem Fall insbesondere zumindest zwei Bedingungen erfüllt sind, nämlich der Druck-Änderungsgrenzwert wurde überschritten und die Drehzahl-Änderungsrate hat den Drehzahl-Änderungsgrenzwert unterschritten.

[0016] Auch von Vorteil kann es sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zusätzlich eine Erfassung einer Pumpendrehzahl der Pumpvorrichtung erfolgt, wobei die Pumpendrehzahl mit einem Drehzahl-Absolutgrenzwert verglichen wird. In diesem Fall wird das Gasblasen-Signal nur ausgegeben, wenn die Pumpendrehzahl auch den Drehzahl-Absolutgrenzwert übersteigt. Dies kann zusätzlich oder alternativ zu der Verwendung eines Drehzahl-Änderungsgrenzwerts gemäß dem voranstehenden Absatz verwendet werden. Somit erlaubt auch der Vergleich mit

dem Drehzahl-Absolutgrenzwert eine zusätzliche Bedingung für das Erzeugen und Ausgeben des Gasblasen-Signals einzuführen, sodass die Sicherheit bei der Erkennung einer Gasblase noch weiter erhöht werden kann. Besonders bevorzugt ist es, wenn für das Erzeugen und Ausgeben eines Gasblasen-Signals alle drei Bedingungen, also ein Überschreiten des Druck-Änderungsgrenzwerts, ein Unterschreiten der Drehzahl-Änderungsrate und zusätzlich ein Überschreiten des Drehzahl-Absolutgrenzwerts vorhanden ist.

[0017] Beim erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt zusätzlich eine Erfassung einer Ventilstellung eines Thermostatventils des Kühlkreislaufs und eine Bestimmung einer Stellungs-Änderungsrate der erfassten Ventilstellung. Die Stellungs-Änderungsrate wird mit einem Stellungs-Änderungsgrenzwert verglichen und das Gasblasen-Signal nur ausgegeben, wenn auch die Stellungs-Änderungsrate den Stellungs-Änderungsgrenzwert untersteigt. Das heißt, die Stellungs-Änderungsrate muss kleiner sein als ein Grenzwert, damit das Gasblasen-Signal ausgegeben wird. Auch hier handelt es sich wieder um eine zusätzliche Bedingung, welche auf Erfüllung überprüfbar ist und entsprechend eine zusätzliche Absicherung gegen unerwünschte Fehldetektion von Gasblasen mit sich bringt. Mit anderen Worten kann eine maximale Sicherheit und damit eine besonders bevorzugte Ausführungsform eines Verfahrens erhalten werden, wenn alle vier genannten Bedingungen dieses Absatzes und der voranstehenden Absätze erfüllt sind. Dies ist also dann der Fall, wenn ein Gasblasen-Signal nur dann erzeugt und ausgegeben wird, wenn der Druck-Änderungsgrenzwert, der Drehzahl-Änderungsgrenzwert, der Drehzahl-Absolutgrenzwert und als vierte Bedingung auch der Stellungs-Änderungsgrenzwert unterschritten worden ist.

[0018] Vorteile kann es weiter mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren der Erfassungszeitraum eine vorgegebene Länge aufweist. Diese vorgegebene Länge kann wenige Sekunden, aber auch mehrere Sekunden oder sogar Minuten betragen. Insbesondere kann der Erfassungszeitraum als rollierender Erfassungszeitraum ausgebildet sein, also beispielsweise im Sekundentakt ein Erfassungszeitraum von zum Beispiel 30 Sekunden sekundenweise weitergeschoben werden. Somit werden neu erfasste Daten in den Erfassungszeitraum eingebracht, während bei diesem Beispiel die letzte der 30 Sekunden gelöscht wird. Dies erlaubt es, über einen definierten Erfassungszeitraum in rollierender Weise eine möglichst genaue Betrachtung der aktuellen Situation und gleichzeitig eine kontinuierliche Überwachung der Kühlflüssigkeit in der Kühlvorrichtung zur Verfügung zu stellen. Grundsätzlich ist es aber vorteilhaft, wenn die Detektion in Echtzeit und insbesondere auch permanent durchgeführt wird. Dann wäre eine solche Definition eines Zeitfensters also mit Vorteil nicht notwendig.

[0019] Weitere Vorteile kann es mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren für die Erzeugung und Ausgabe des Gasblasen-Signals die Temperatur der Kühlflüssigkeit im Kühlkreislauf unberücksichtigt bleibt. Mit anderen Worten ist es für dieses Verfahren dann nicht mehr notwendig separate Temperatursensoren zu verwenden oder zu platzieren, sodass die Konstruktionsweise bei der Verwendung eines erfindungsgemäßen Verfahrens für die Kühlvorrichtung noch weiter vereinfacht und vergünstigt werden kann.

[0020] Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren für die Erzeugung und Ausgabe des Gasblasen-Signals eine Spannung eines mit der Kühlvorrichtung gekühlten Brennstoffzellensystems unberücksichtigt bleibt. Wie bereits eingangs erläutert worden ist, kann damit die Kontrolle der Kühlvorrichtung unabhängig von der Kontrolle eines Brennstoffzellensystems, für welches die Kühlvorrichtung gedacht ist, vollzogen werden. Dies ist bereits in der Auslegung und Programmierung der Kühlvorrichtung und des zugehörigen Kontrollverfahrens von Vorteil. Insbesondere erlaubt es darüber hinaus, die Kühlleistung zu stabilisieren und/oder zu optimieren, ohne einen Eingriff in die Kontrolle des Brennstoffzellensystems hinsichtlich der Regelung und/oder der Parametererfassung zu erfordern. Insbesondere ist es also möglich, einen entsprechenden Impedanzsensor zu vermeiden und auf einen solchen zu verzichten.

[0021] Weiter von Vorteil kann es ebenfalls sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren die Ausgabe des Gasblasen-Signals den quantitativen Grad der Abweichung vom Druck-Änderungsgrenzwert mit ausgibt. Während die erfindungsgemäßen Vorteile bereits auf rein qualitativer Erfassung einer Gasblase die beschriebenen Vorteile mit sich bringen, kann ein quantitativer

Grad des Überschreitens weitere Informationen mit sich bringen. Dies gilt insbesondere auch für eine quantitative Betrachtung im Vergleich mit einem Drehzahl-Änderungsgrenzwert, einem Drehzahl-Absolutgrenzwert und/oder einem Stellenänderungsgrenzwert. Bei einer quantitativen Betrachtung in den Vergleichsschritten kann beispielsweise eine quantitative Auswertung erfolgen, wie groß eine aktuelle Gasblase sein kann und entsprechend mit welcher Gegenmaßnahme diese Gasblase und die damit einhergehende Beeinträchtigung der Kühlfunktion der Kühlvorrichtung möglicherweise am besten kompensierbar ist.

[0022] Von Vorteil ist es darüber hinaus, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren in Abhängigkeit des quantitativen Grads der Abweichung eine Kontrollvorgabe an die Kühlvorrichtung ausgegeben wird. Dies erlaubt es, nicht nur einen Informationsgehalt auszugeben, also eine Basisinformation und damit eine Rückmeldung mit welcher Kühlleistung zu rechnen ist, sondern tatsächlich als Kontrollvorgabe Einfluss zu nehmen, um in der Kontrollvorrichtung der Kühlvorrichtung eine Kompensation oder Teilkompensation einer reduzierten Kühlleistung auf Basis der Gasblase zu gewährleisten. Damit ist die Reaktion auf eine erkannte Gasblase Teil eines erfindungsgemäßen Verfahrens dieser Ausführungsform.

[0023] Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Eine solche Kontrollvorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass ein Erfassungsmodul zum Erfassen des Kühlflüssigkeit-Drucks in einer Pumpvorrichtung im Kühlkreislauf über einen Erfassungszeitraum vorgesehen ist. Weiter ist die Kontrollvorrichtung mit einem Bestimmungsmodul zum Bestimmen einer Druck-Änderungsrate des erfassten Kühlflüssigkeitsdruck ausgestattet. Darüber hinaus weist die Kontrollvorrichtung ein Vergleichsmodul zum Vergleich der bestimmten Druck-Änderungsrate mit einem Druck-Änderungsgrenzwert auf und ist mit einem Erzeugungsmodul zum Erzeugen und Ausgeben eines Gasblasen-Signals ausgestattet, wenn die erfasste Druck-Änderungsrate den Druck-Änderungsgrenzwert übersteigt. Dabei ist das Erfassungsmodul, das Bestimmungsmodul, das Vergleichsmodul und/oder das Erzeugungsmodul für die Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet. Eine solche Kontrollvorrichtung bringt damit die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich, mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren erläutert worden sind.

[0024] Darüber hinaus ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung ein Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung auszuführen. Auch ein solches Computerprogrammprodukt bringt demnach die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren erläutert worden sind.

[0025] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Brennstoffzellensystem zur Erzeugung elektrischer Energie. Ein solches Brennstoffzellensystem weist wenigstens einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und einem Kathodenabschnitt auf. Der Anodenabschnitt ist mit einem Anodenzuführabschnitt zur Zufuhr von Anodenzuführgas sowie einem Anodenabführabschnitt zur Abfuhr von Anodenabgas ausgestattet. Der Kathodenabschnitt ist mit einem Kathodenzuführabschnitt zur Zufuhr von Kathodenzuführgas und einem Kathodenabführabschnitt zur Abfuhr von Kathodenabgas ausgestattet. Darüber hinaus weist das Brennstoffzellensystem eine Kühlvorrichtung mit einem Kühlkreislauf zur wenigstens teilweisen Kühlung des Brennstoffzellenstapels aus. Ein solches Brennstoffzellensystem ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlvorrichtung eine Kontrollvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung für die Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens für eine Erkennung von Gasblasen in der Kühlflüssigkeit im Kühlkreislauf aufweist. Damit bringt auch ein solches Brennstoffzellensystem die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren erläutert worden sind.

[0026] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Es zeigen schematisch:

[0027] Fig. 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung,

- [0028] Fig. 2 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems,
[0029] Fig. 3 ein möglicher Verlauf eines Kühlflüssigkeit-Drucks,
[0030] Fig. 4 ein möglicher Verlauf der Druck-Änderungsrate,
[0031] Fig. 5 ein möglicher Verlauf einer Pumpendrehzahl,
[0032] Fig. 6 ein möglicher Verlauf einer Drehzahl-Änderungsrate,
[0033] Fig. 7 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung,
[0034] Fig. 8 ein möglicher Verlauf einer Ventilstellung,
[0035] Fig. 9 ein möglicher Verlauf einer Stellungs-Änderungsrate und
[0036] Fig. 10 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung.

[0037] In der Figur 1 ist schematisch eine Kontrollvorrichtung 10 dargestellt, welche das erfindungsgemäße Verfahren ausführen kann. Mit Hilfe eines Erfassungsmoduls 20 kann zum Beispiel mit einem nicht dargestellten Drucksensor, welcher in einer Pumpvorrichtung 144 angeordnet ist, eine kontinuierliche Erfassung eines Kühlflüssigkeit-Drucks KP erfolgen. Dieser erfasste Kühlflüssigkeit-Druck KP wird übergeben an ein Bestimmungsmodul 30, welches über einen Erfassungszeitraum ED die Druck-Änderungsrate DP ermittelt. Die Druck-Änderungsrate DP wird weitergegeben an das Vergleichsmodul 40 und dort mit einem Druck-Änderungsgrenzwert DPG verglichen. Im Falle, dass die Druck-Änderungsrate DP den Druck-Änderungsgrenzwert DPG überschreitet, erfolgt mittels des Erzeugungsmoduls 50 ein Erzeugen und Ausgeben eines Gasblasen-Signals GBS, welches anschließend zum Beispiel von einer separaten Kontrolleinheit der Kühlvorrichtung 140 für die Kompensation mit einer erkannten Gasblase reduzierter Kühlfunktion verwendet werden kann.

[0038] Die Figur 2 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem 100. In einem Brennstoffzellenstapel 110 sind eine Vielzahl von nicht mehr dargestellten Brennstoffzellen angeordnet, sodass sich im Brennstoffzellenstapel 110 ein Anodenabschnitt 120 und ein Kathodenabschnitt 130 ausbilden. Anodenzuführgas AZG wird über den Anodenzuführabschnitt 122 dem Anodenabschnitt 120 zugeführt. Anodenabgas AAG kann über den Anodenabführabschnitt 124 vom Anodenabschnitt 120 abgeführt werden. In ähnlicher Weise wird Kathodenzuführgas KZG über den Kathodenzuführabschnitt 132 dem Kathodenabschnitt 130 zugeführt. Auch das Kathodenabgas KAG kann über den Kathodenabführabschnitt 134 abgeführt werden. Weitere für den Betrieb des Brennstoffzellensystems 100 notwendige oder sinnvolle Komponenten wie Wärmetauscher, Fördervorrichtungen, Rezirkulationsleitungen oder Ähnliches sind aus Übersichtlichkeitsgründen hier nicht dargestellt, wobei jedoch das Brennstoffzellensystem 100 selbstverständlich nicht auf einzelne Ausführungsformen beschränkt ist.

[0039] Wie die Figur 2 zeigt, wird der Brennstoffzellenstapel mit einer Kühlflüssigkeit KF gekühlt, welche über einen Kühlkreislauf 142 im Kreislauf über eine Pumpvorrichtung 144 geführt wird. Die Kühlvorrichtung 140 erlaubt es also, über eine hier nicht dargestellte Wärmesenke, beispielsweise eine Ventilatorvorrichtung, die Kühlflüssigkeit KF zu kühlen und am Einlass und damit Vorlauf eines Brennstoffzellenstapels 110 zur Kühlung zur Verfügung zu stellen. Die auf diese Weise vorkonditionierte Kühlflüssigkeit KF wird in gekühltem Zustand durch den Brennstoffzellenstapel 110 geführt, kann dort Wärme aufnehmen und in erwärmter Form wieder am Austritt des Brennstoffzellenstapels, und damit am Rücklauf, austreten. Im Kreislauf geführt über die Wärmesenke wird die Kühlflüssigkeit KF wieder vorkonditioniert und steht damit in gekühlter Weise wieder am Vorlauf des Brennstoffzellenstapels 110 für die Kühlung zur Verfügung.

[0040] Wie die Figur 2 zeigt, ist die Pumpvorrichtung 144 für die Förderung der Kühlflüssigkeit KF mit einer Kontrollvorrichtung 10 zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens ausgestattet. Es ist nun also möglich, direkt in der Pumpvorrichtung 144 dort vorhandene oder entstandene Gasblasen GB zu erkennen und entsprechend eine Information in Form des Gasblasen-Signals GBS zu erzeugen sowie auszugeben. Insbesondere kann anschließend ein solches erzeugtes und ausgegebenes Gasblasen-Signal GBS reagiert werden, zum Beispiel mit einer

reduzierten Vorlauftemperatur der Kühlflüssigkeit KF, einer erhöhten Drehzahl der Pumpvorrichtung 140 oder ähnlichen Kompensationsmaßnahmen.

[0041] In den Figuren 3 und 4 wird schematisch ein Verlauf eines Kühlflüssigkeit-Drucks KP (Figur 3) und dessen Druck-Änderungsrate DP (Figur 4) dargestellt. Bei kontinuierlicher Überwachung ergibt sich, hier über einen Erfassungszeitraum EZ in der Figur 3 ein beispielhafter Verlauf des Kühlflüssigkeit-Drucks KP. Über die mathematische Ableitung kann die Druck-Änderungsrate DP, wie schematisch in der Figur 4 dargestellt, bestimmt werden. Bei dem Beispiel der Figuren 3 und 4 findet am rechten Ende des Erfassungszeitraum EZ eine Situation statt, bei welcher die Druck-Änderungsrate DP einen vordefinierten Druck-Änderungsgrenzwert DPG überschreitet. Dies kann als erkannte Gasblase GB im Sinne des erfindungsgemäßen Verfahrens bewertet werden. Somit führt diese Situation dazu, dass zum Zeitpunkt des Überschreitens des Druck-Änderungsgrenzwert DPG die Gasblase GB erkannt und entsprechend das Gasblasen-Signal GBS erzeugt und ausgegeben wird.

[0042] Die Figuren 5 und 6 zeigen eine Weiterbildung, welche die Robustheit eines erfindungsgemäßen Verfahrens weiter verbessert. Hier wird nun zusätzlich zum Kühlflüssigkeit-Druck KP auch die Pumpendrehzahl PZ der Pumpvorrichtung 144 überwacht und erfasst. In der Figur 5 wird die Pumpendrehzahl PZ mit einem Drehzahl-Absolutgrenzwert AZ verglichen, welcher ebenfalls in einer Position überschritten wird. Auch diese Position kann als zusätzliche Bedingung herangezogen werden, um eine Gasblase GB zu erkennen oder von einer Erkennung abzusehen. Wie die Figur 6 zeigt, ist zusätzlich nicht zum Drehzahl-Absolutgrenzwert AZ auch ein Vergleich mit einem Drehzahl-Änderungsgrenzwert DZG dargestellt, wobei hier aus der Pumpendrehzahl PZ die Drehzahl-Änderungsrate DZ ermittelt wird. Auch hier wird der Drehzahlgrenzwert DZG einmalig überschritten, sodass auch hier die zusätzliche Bedingung erfüllt und die Gasblase GB als solche erkannt wird.

[0043] Die Figur 7 zeigt nun wie diese zusätzlichen Bedingungen in Form des Drehzahl-Absolutgrenzwerts AZ und des Drehzahl-Änderungsgrenzwerts DZG in das Vergleichsmodul 40 und damit in das Verfahren der vorliegenden Erfindung integriert werden können.

[0044] Die Figuren 8 und 9 zeigen die Ergänzung durch eine weitere Bedingung, nämlich hier die Überwachung der Ventilstellung SV eines Thermostatventils. Auch diese Ventilstellung SV ändert sich über den Erfassungszeitraum EZ, sodass gemäß der Figur 9 hier eine Stellungs-Änderungsrate DV bestimmt werden kann. Auch diese Stellungs-Änderungsrate DV wird nun mit einem Stellungs-Änderungsgrenzwert DVG verglichen, sodass bei einem Überschreiten desselben hier auf der rechten Seite der Figur 9 im Erfassungszeitraum EZ wieder eine Gasblase GB erkannt werden kann, welche bei dieser zusätzlich erfüllten Bedingung nun in der Erzeugung und Ausgabe des Gasblasen-Signals GBS mündet.

[0045] Die entsprechend zur Figur 8 und 9 gehörige Kontrollvorrichtung 10 ist in der Figur 10 dargestellt, sodass hier nun insgesamt 4 Bedingungen, nämlich das Überschreiten des Druck-Änderungsgrenzwerts DPG, das Überschreiten des Druck-Absolutgrenzwerts AZ, das Überschreiten des Drehzahl-Änderungsgrenzwerts DZG und das Überschreiten des Stellungs-Änderungsgrenzwerts DVG als vier unterschiedliche Bedingungen vorgegeben sind, die nur bei Erfüllen aller vier Bedingungen dazu führen, dass mittels des Erzeugungsmodul 50 das Gasblasen-Signal GBS erzeugt und ausgegeben wird.

[0046] Die voranstehende Erläuterung beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

BEZUGSZEICHENLISTE

10	Kontrollvorrichtung
20	Erfassungsmodul
30	Bestimmungsmodul
40	Vergleichsmodul
50	Erzeugungsmodul
100	Brennstoffzellensystem
110	Brennstoffzellenstapel
120	Anodenabschnitt
122	Anodenzuführabschnitt
124	Anodenabführabschnitt
130	Kathodenabschnitt
132	Kathodenzuführabschnitt
134	Kathodenabführabschnitt
140	Kühlvorrichtung
142	Kühlkreislauf
144	Pumpvorrichtung
EZ	Erfassungszeitraum
KP	Kühlflüssigkeit-Druck
DP	Druck-Änderungsrate
DPG	Druck-Änderungsgrenzwert
PZ	Pumpendrehzahl
DZ	Drehzahl-Änderungsrate
DZG	Drehzahl-Änderungsgrenzwert
AZ	Drehzahl-Absolutgrenzwert
SV	Ventilstellung
DV	Stellungs-Änderungsrate
DVG	Stellungs-Änderungsgrenzwert
GB	Gasblase
GBS	Gasblasen-Signal
KF	Kühlflüssigkeit
AZG	Anodenzuführgas
AAG	Anodenabgas
KZG	Kathodenzuführgas
KAG	Kathodenabgas

Patentansprüche

1. Verfahren für eine Erkennung von Gasblasen (GB) in einer Kühlflüssigkeit (KF) in einem Kühlkreislauf (142) einer Kühlvorrichtung (140) mit einer Pumpvorrichtung (144), wobei die folgenden Schritte vorgesehen sind:
 - Erfassen des Kühlflüssigkeit-Drucks (KP) in der Pumpvorrichtung (144) im Kühlkreislauf (142) über einen Erfassungszeitraum (EZ),
 - Bestimmen einer Druck-Änderungsrate (DP) des erfassten Kühlflüssigkeit-Drucks (KP),
 - Vergleich der bestimmten Druck-Änderungsrate (DP) mit einem Druck-Änderungsgrenzwert (DPG),
 - Erzeugen und Ausgeben eines Gasblasen-Signals (GBS), wenn die erfasste Druck-Änderungsrate (DP) den Druck-Änderungsgrenzwert (DPG) übersteigt,
 - **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich eine Erfassung einer Ventilstellung (SV) eines Thermostatventils des Kühlkreislaufs (142) und eine Bestimmung einer Stellungs-Änderungsrate (DV) der erfassten Ventilstellung (SV) erfolgt, wobei die Stellungs-Änderungsrate (DV) mit einem Stellungs-Änderungsgrenzwert (DVG) verglichen wird und das Gasblasen-Signal (GBS) nur ausgegeben wird, wenn auch die Stellungs-Änderungsrate (DV) den Stellungs-Änderungsgrenzwert (DVG) unterschreitet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich eine Erfassung einer Pumpendrehzahl (PZ) der Pumpvorrichtung (144) und eine Bestimmung einer Drehzahl-Änderungsrate (DZ) der erfassten Pumpendrehzahl (PZ) erfolgt, wobei die Drehzahl-Änderungsrate (DZ) mit einem Drehzahl-Änderungsgrenzwert (DZG) verglichen wird und das Gasblasen-Signal (GBS) nur ausgegeben wird, wenn auch die Drehzahl-Änderungsrate (DZ) den Drehzahl-Änderungsgrenzwert (DZG) unterschreitet.
3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich eine Erfassung einer Pumpendrehzahl (PZ) der Pumpvorrichtung (144) erfolgt, wobei die Pumpendrehzahl (PZ) mit einem Drehzahl-Absolutgrenzwert (AZ) verglichen wird und das Gasblasen-Signal (GBS) nur ausgegeben wird, wenn auch die Pumpendrehzahl (PZ) den Drehzahl-Absolutgrenzwert (AZ) übersteigt.
4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Erfassungszeitraum (EZ) eine vorgegebene Länge aufweist.
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Erzeugung und Ausgabe des Gasblasen-Signals (GBS) die Temperatur der Kühlflüssigkeit (KF) im Kühlkreislauf (142) unberücksichtigt bleibt.
6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Erzeugung und Ausgabe des Gasblasen-Signals (GBS) eine Spannung eines mit der Kühlvorrichtung (140) gekühlten Brennstoffzellensystems (100) unberücksichtigt bleibt.
7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Erzeugung und Ausgabe des Gasblasen-Signals (GBS) eine Impedanz eines mit der Kühlvorrichtung (140) gekühlten Brennstoffzellensystems (100) unberücksichtigt bleibt.
8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgabe des Gasblasen-Signals (GBS) den quantitativen Grad der Abweichung vom Druck-Änderungsgrenzwert (DPG) mit ausgibt.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Abhängigkeit des quantitativen Grads der Abweichung eine Kontrollvorgabe an die Kühlvorrichtung (140) ausgegeben wird.
10. Kontrollvorrichtung (10) zur Durchführung eines Verfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 9, **gekennzeichnet durch** ein Erfassungsmodul (20) zum Erfassen des Kühlflüssigkeit-Drucks (KP) in einer Pumpvorrichtung (144) im Kühlkreislauf (142) über einen Erfassungszeitraum (EZ), ein Bestimmungsmodul (30) zum Bestimmen einer Druck-Ände-

rungsrate (DP) des erfassten Kühlflüssigkeit-Drucks (KP), ein Vergleichsmodul (40) zum Vergleich der bestimmten Druck-Änderungsrate (DP) mit einem Druck-Änderungsgrenzwert (DPG) und ein Erzeugungsmodul (50) zum Erzeugen und Ausgeben eines Gasblasen-Signals (GBS), wenn die erfasste Druck-Änderungsrate (DP) den Druck-Änderungsgrenzwert (DPG) übersteigt, wobei das Erfassungsmodul (20), das Bestimmungsmodul (30), das Vergleichsmodul (40) und/oder das Erzeugungsmodul (50) ausgebildet sind für eine Ausführung eines Verfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 8.

11. Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen das Verfahren mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 9 auszuführen.
12. Brennstoffzellensystem (100) zur Erzeugung elektrischer Energie, aufweisend wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Anodenabschnitt (120) und einem Kathodenabschnitt (130), wobei der Anodenabschnitt (120) einen Anodenzuführabschnitt (122) zur Zufuhr von Anodenzuführgas (AZG) und einen Anodenabführabschnitt (124) zur Abfuhr von Anodenabgas (AAG) aufweist, wobei weiter der Kathodenabschnitt (130) einen Kathodenzuführabschnitt (132) zur Zufuhr von Kathodenzuführgas (KZG) und einen Kathodenabführabschnitt (134) zur Abfuhr von Kathodenabgas (KAG) aufweist, weiter aufweisend einen Kühlvorrichtung (140) mit einem Kühlkreislauf (142) zur wenigstens teilweisen Kühlung des Brennstoffzellenstapels (110), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühlvorrichtung (140) eine Kontrollvorrichtung (10) mit den Merkmalen des Anspruchs 10 aufweist für eine Erkennung von Gasblasen (GB) in der Kühlflüssigkeit (KF) im Kühlkreislauf (142).

Hierzu 7 Blatt Zeichnungen

1/7

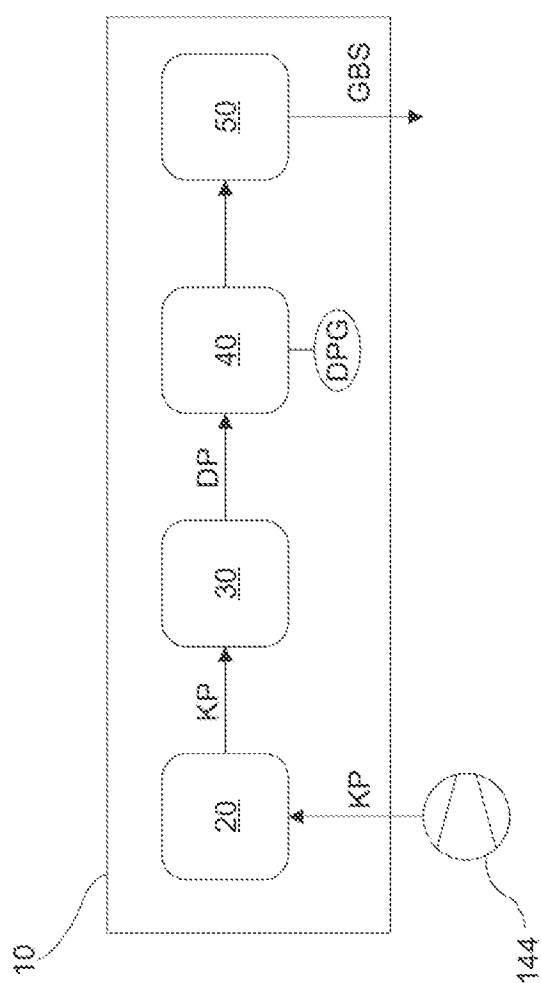
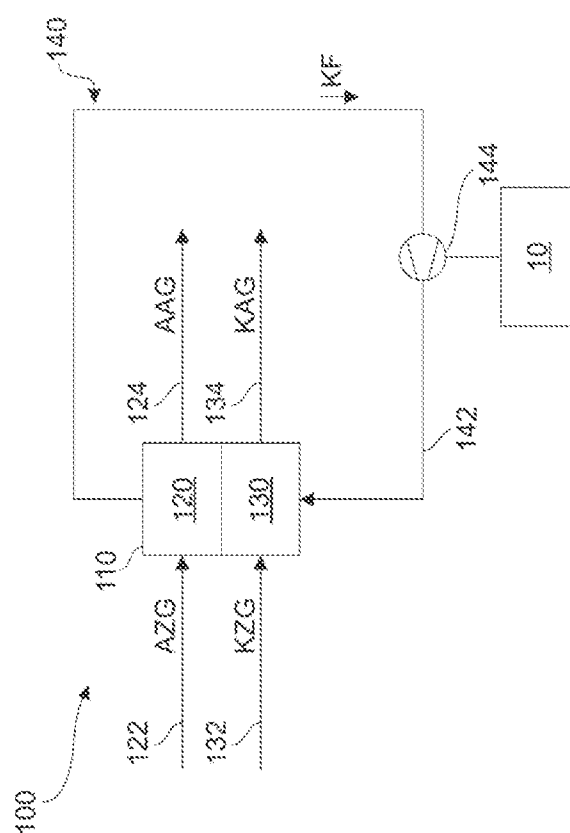


Fig. 1



291

3/7

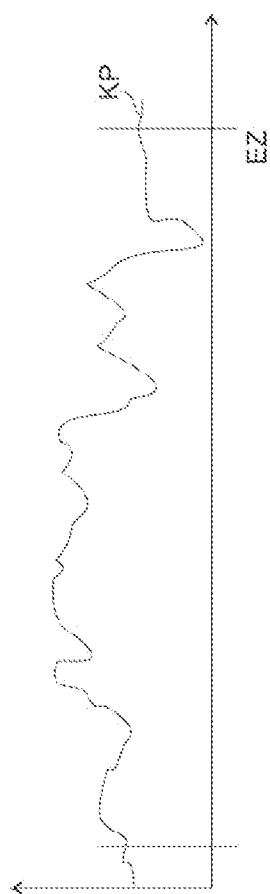


Fig. 3

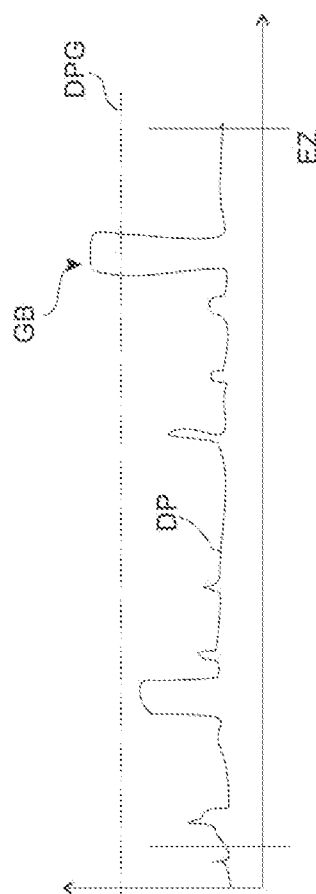


Fig. 4

4/7

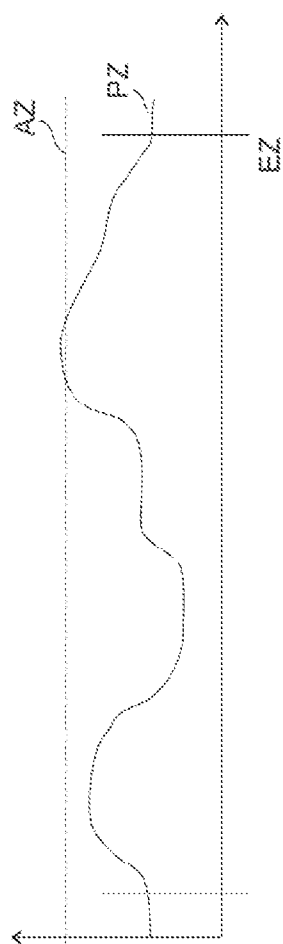


Fig. 5

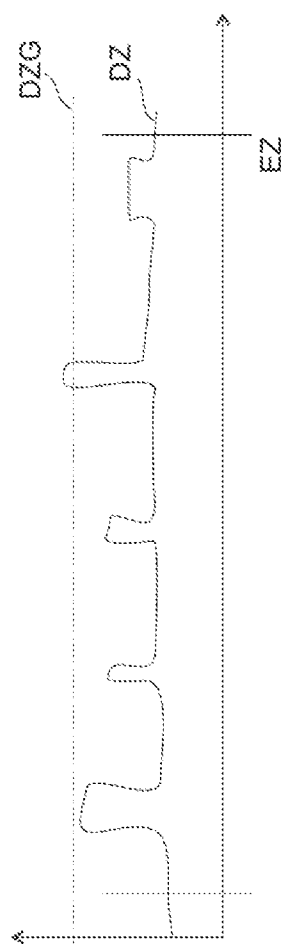


Fig. 6

5/7

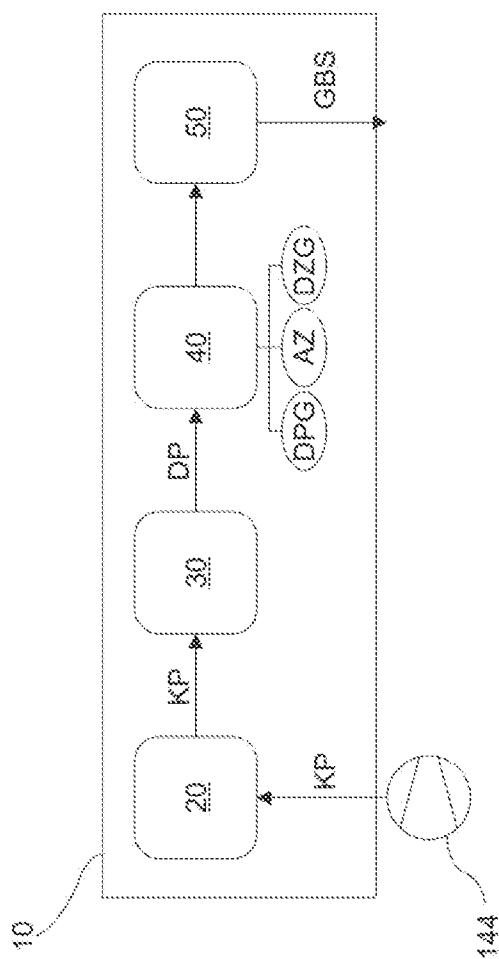


Fig. 7

6/7

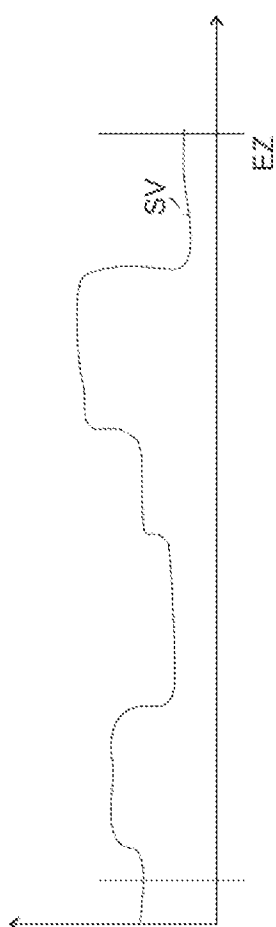


Fig. 8

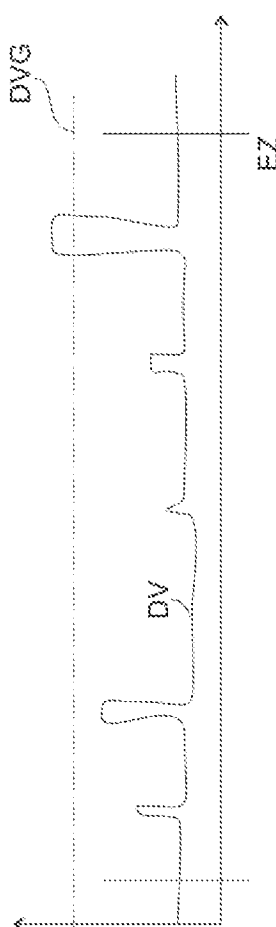


Fig. 9

7/7

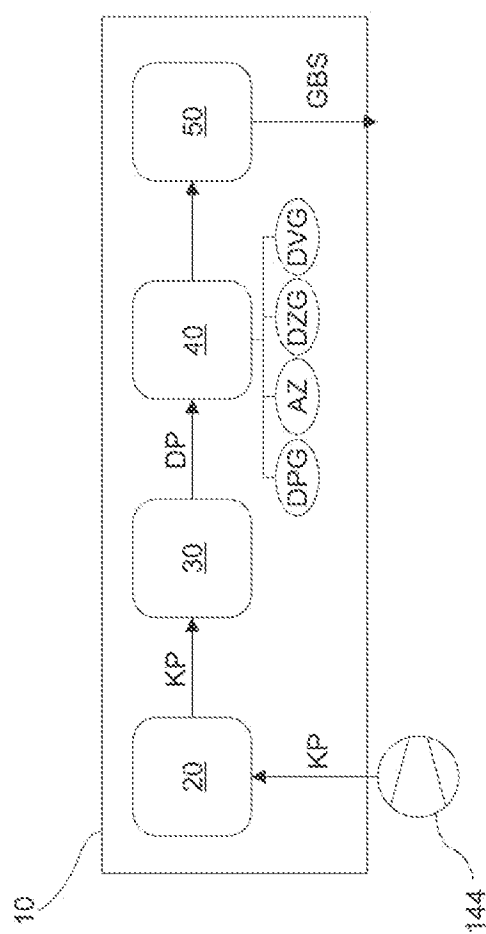


Fig. 10