

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50898/2020
(22) Anmeldetag: 20.10.2020
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2022

(51) Int. Cl.: **H01M 8/04291** (2016.01)
H01M 8/0432 (2016.01)
H01M 8/0438 (2016.01)
H01M 8/04537 (2016.01)
H01M 8/04828 (2016.01)
H01M 8/04492 (2016.01)
H01M 8/1018 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2012148927 A1
CN 109390613 B
US 2008311438 A1

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

(72) Erfinder:
Schubert Thomas BSC
8323 St. Marein bei Graz (AT)

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

(54) **Verfahren zur Ermittlung der relativen Feuchte an einem Kathodeneingang eines Brennstoffzellenstapels eines Brennstoffzellensystems**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der relativen Feuchte (RH) an einem Kathodeneingang (113) eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100), aufweisend die folgenden Schritte:

- Erfassen von physikalischen Zuluft-Parametern (ZP) einer Zuluft (ZU) zu dem Kathodeneingang (113), wobei als Zuluft-Parameter (ZP) wenigstens eine Zuluft-Temperatur (ZPT), ein Zuluft-Druck (ZPP) und eine Relative Zuluft-Feuchte (ZPH) verwendet werden,,
- Erfassen eines Zuluft-Massenstroms (ZM) der Zuluft (ZU),
- Bestimmen eines Zuluftwasser-Massenstroms (ZWM) auf Basis der erfassten Zuluft-Parameter (ZP) und des erfassten Zuluft-Massenstroms (ZM),
- Erfassen wenigstens eines physikalischen Kathodeneingang-Parameters (KP) am Kathodeneingang (113),
- Bestimmen eines Befeuchterwasser-Massenstroms (BWM) auf Basis des erfassten wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters (KP) unter Verwendung eines Befeuchterkennfeldes (BK),

- Ermitteln der relativen Feuchte (RH) am Kathodeneingang (113) auf Basis des bestimmten Zuluftwasser-Massenstroms (ZWM), des bestimmten Befeuchterwasser-Massenstroms (BWM) und des erfassten wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters (KP), wobei ein für den Brennstoffzellenstapel (110) und/oder das Brennstoffzellensystem (100) spezifisches Befeuchterkennfeld (BK) verwendet wird.

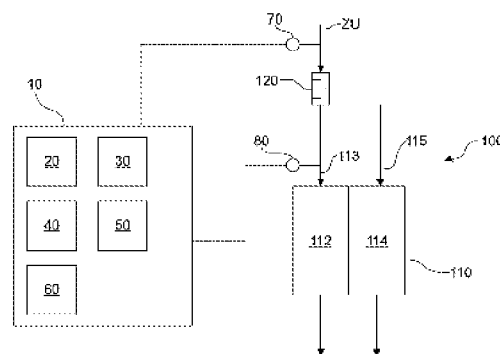


Fig. 1

Verfahren zur Ermittlung der relativen Feuchte an einem Kathodeneingang eines Brennstoffzellenstapels eines Brennstoffzellensystems

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der relativen Feuchte an einem Kathodeneingang eines Brennstoffzellenstapels eines Brennstoffzellensystems, eine Ermittlungsvorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens sowie ein Erzeugungsverfahren für ein Erzeugen eines Befeuchterkennfeldes für einen Einsatz in einem erfindungsgemäßen Verfahren.

Es ist bekannt, dass beim Betreiben von Brennstoffzellensystemen die Kenntnis der relativen Feuchte innerhalb des Brennstoffzellenstapels einen entscheidenden Kontrollparameter darstellt. Dies beruht insbesondere auf der Tatsache, dass in Brennstoffzellen Membrane verwendet werden, welche eine Mindestfeuchtigkeit nicht unterstreiten sollen. Eine zu trockene Membran oder eine Membran mit einer sich zu sehr ändernden Feuchte würde eine Schädigung davontragen. Zusätzlich ist es häufig notwendig, eine zu große Feuchtigkeit zu vermeiden, um ein Auskondensieren in Form von flüssigem Wasser innerhalb des Brennstoffzellenstapels zu vermeiden.

Bekannte Brennstoffzellensysteme weisen daher üblicherweise Feuchtigkeitssensoren auf, welche in der Lage sind, die relative Feuchte in einer Zuluft zu dem Brennstoffzellenstapel zu bestimmen. Auch ist es bekannt, die Zuluft zu einem Brennstoffzellenstapel aktiv durch eine Wasserzufuhr und Verdampfen des Wassers zu befeuchten, wenn die angesaugte Zuluft aus der Umgebung nicht die für den aktuellen Zeitpunkt notwendige Feuchtigkeit aufweist. Hierfür sind bei Brennstoffzellensystemen Befeuchter vorgesehen, welche in der Lage sind, die Zuluft mit zusätzlicher Feuchtigkeit zu beladen. Es ist auch bekannt, den Befeuchter passiv durch Rückführung einer befeuchteten Kathodenluft zu betreiben. Hierbei findet durch unterschiedliche Partialdrücke und deren Ausgleich ein Feuchtigkeitstransport statt.

Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass für eine effektive Kontrolle der relativen Feuchtigkeit Feuchtigkeitssensoren an den jeweiligen Positionen angebracht sein müssen. Dabei kann es zum Beispiel notwendig sein, einen Feuchtigkeitssensor direkt innerhalb der Brennstoffzelle im Bereich der Membran anzubringen. Zumindest ist es jedoch notwendig in die Brennstoffzelle so weit einzugreifen, dass in der Zufuhrleitung zu einem Kathodenabschnitt eines Brennstoffzellenstapels ein entsprechender Feuchtigkeitssensor angeordnet wird, um dort den gewünschten

Parameter erfassen zu können. Dies führt zu einem hohen konstruktiven Aufwand, da entsprechend Bauraum und Verkabelung für einen solchen Feuchtigkeitssensor vorgesehen werden muss. Auch ist darauf hinzuweisen, dass gemessene Parameter je nach der Qualität des verwendeten Sensors eine Messungenauigkeit aufweisen kann, welche dementsprechend in einer Kontrollungenauigkeit mündet. Nicht zuletzt ist darauf hinzuweisen, dass reale Sensoren für die Bestimmung der relativen Feuchte natürlich auch die Kosten für die Herstellung eines solchen Brennstoffzellensystems erhöhen.

Ein weiteres Verfahren zur Bestimmung einer relativen Feuchte am Kathodeneingang eines Brennstoffzellensystems ist beispielsweise aus der US 2012148927A A1 bekannt.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehenden Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise die Kontrolle der Feuchtigkeit in einem Brennstoffzellensystem zu verbessern.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Ermittlungsvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 6 sowie ein Erzeugungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 9. 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 Ermittlungsvorrichtung sowie dem erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahren und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

Erfindungsgemäß dient ein Verfahren der Ermittlung der relativen Feuchte an einem Kathodeneingang eines Brennstoffzellenstapels eines Brennstoffzellensystems. Hierfür weist das Verfahren die folgenden Schritte auf:

- Erfassen von physikalischen Zuluft-Parametern einer Zuluft zu dem Kathodeneingang,
- Erfassen eines Zuluft-Massenstroms der Zuluft,

- Bestimmen eines Zuluftwasser-Massenstroms auf Basis der erfassten wenigstens einen Zuluft-Parameter und des erfassten Zuluft-Massenstroms,
- Erfassen wenigstens eines physikalischen Kathodeneingang-Parameters am Kathodeneingang,
- Bestimmen eines Befeuchterwasser-Massenstroms auf Basis des erfassten wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters unter Verwendung eines Befeuchterkennfeldes,
- Ermitteln der relativen Feuchte am Kathodeneingang auf Basis des bestimmten Zuluftwasser-Massenstroms des bestimmten Befeuchterwasser-Massenstroms und des erfassten wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zielt grundsätzlich darauf ab, einen physisch vorhandenen relativen Feuchtesensor vollständig zu vermeiden und trotzdem einen Wert für die relative Feuchte zu ermitteln. Um dies zu gewährleisten, greift ein erfindungsgemäßes Verfahren auf Sensorparameter zurück, welche für den Betrieb des Brennstoffzellensystems von grundlegender Bedeutung sind und daher durch essenziell vorhandene Sensoren zur Verfügung stehen. Um dies zu gewährleisten, basiert das erfindungsgemäße Verfahren auf zwei separaten, vorgelagerten Schritten, welche anschließend in einem nachgelagerten Ermittlungsschritt kombiniert werden. Die einzelnen Schritte werden nachfolgend im Detail näher erläutert.

In dem ersten vorgelagerten Schritt erfolgt die Bestimmung eines Zuluftwasser-Massenstroms. Darunter ist der Massenstrom zu verstehen, welcher der Menge an Wasser in der Zuluft pro Zeiteinheit entspricht. Mit anderen Worten wird also die Menge an Wasser über die Zeit ermittelt, welche durch die Zuluft von außerhalb des Brennstoffzellensystems in das System eingebracht wird. Die entsprechend notwendige Sensorik für die Zuluft-Parameter kann dabei in einem entsprechenden Ansaugkanal, aber auch in die Umgebung des Brennstoffzellensystems gerichtet sein. Um diesen Zuluftwasser-Massenstrom zu bestimmen, sind im Wesentlichen zwei unterschiedliche Informationen notwendig. Zum einen wird mindestens ein physikalischer Zuluft-Parameter ermittelt. Solche physikalischen Zuluft-Parameter sind zumindest die Zuluft-Temperatur, der Zuluft-Druck oder die relative Zuluft-Feuchte. Dadurch,

dass die Messung der Zuluft am Eingang des Brennstoffzellensystems oder sogar außerhalb des Brennstoffzellensystems in der Umgebung stattfinden kann, ist die Ermittlung dieser Umgebungsparameter sehr einfach und kostengünstig möglich. Insbesondere kann eine entsprechende Sensorik zur Ermittlung der physikalischen Zuluft-Parameter unabhängig oder im Wesentlichen unabhängig von dem Brennstoffzellensystem ausgebildet sein und muss insbesondere nicht in dieses integriert werden. Hinsichtlich des notwendigen Bauraums und Gewichtes des Brennstoffzellensystems können hier bereits entscheidende Vorteile erzielt werden. Basierend auf den physikalischen Zuluft-Parametern und dem Zuluft-Massenstrom der Zuluft, also dem Massenstrom der gesamten Zuluft, kann ein Zuluftwasser-Massenstrom ermittelt werden. Diese Ermittlung erfolgt entweder in einem algorithmischen, also physikalisch berechenbaren Zusammenhang, oder durch die Verwendung eines später noch erläuterten Kennfeldes oder anderer Zusammenhänge, wie beispielsweise unter der Verwendung eines neuronalen Netzwerks.

Parallel und separat zu dieser Bestimmung des Zuluftwasser-Massenstroms erfolgt eine Bestimmung des Befeuchterwasser-Massenstroms. Dabei handelt es sich um die Wassermenge pro Zeiteinheit, welche durch den Befeuchter der Zuluft zugemischt wird. Der Befeuchter ist dabei eine physisch vorhandene Befeuchtereinheit des Brennstoffzellensystems und ist in der Lage, zusätzliche Feuchtigkeit in die Zuluft einzubringen und damit die relative Feuchtigkeit der Zuluft in kontrollierbarer Weise zu erhöhen. Um diesen Befeuchterwasser-Massenstrom zu ermitteln, wird wenigstens ein physikalischer Kathodeneingang-Parameter ermittelt, welcher anschließend für die Bestimmung Verwendung findet. Physikalische Kathodeneingang-Parameter werden später noch näher erläutert und beziehen sich zum Beispiel auf die Kathodeneingang-Temperatur, den Kathodeneingang-Druck oder die Stromanforderung am Brennstoffzellenstapel. Aus einem oder mehreren dieser Kathodeneingang-Parameter ist es nun möglich, in erfindungsgemäßer Weise unter Einsatz eines Befeuchterkennfeldes, einen Befeuchterwasser-Massenstrom zu ermitteln.

An dieser Stelle wird durch den Einsatz des Befeuchterkennfeldes ein Verzicht auf einen in das Brennstoffzellensystem integrierten Feuchtigkeitssensor möglich. Während bei den bekannten Lösungen physisch vorhandene Feuchtigkeitssensoren in das Brennstoffzellensystem integriert werden mussten, kann in der erfindungsgemäßen Weise durch vorhandene Kontrollparameter des Brennstoffzellensystems in Form des wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters, eine auf dem Befeuch-

terkennfeld basierende Bestimmung des Befeuchterwasser-Massenstroms erfolgen. Hier wird ein Kernvorteil der vorliegenden Erfindung deutlich.

In einem abschließenden und kombinierenden Schritt werden der bestimmte Zuluftwasser-Massenstrom und der bestimmte Befeuchterwasser-Massenstrom kombiniert und zusammen mit wenigstens einem Kathodeneingang-Parameter zur Ermittlung der relativen Feuchte am Kathodeneingang verwendet. Dies erlaubt es also nun ohne einen in das Brennstoffzellensystem integrierten Feuchtigkeitssensor die relative Feuchte am Kathodeneingang zu ermitteln. Dieser abschließende Ermittlungsschritt kann dabei ebenfalls unter Verwendung eines Zusatz-Kennfeldes oder aber durch einen physikalisch basierten, algorithmischen Zusammenhang bestimmt werden. Diese Ermittlung basiert demnach vorzugsweise auf einem physikalisch belegbaren Zusammenhang zwischen den beschriebenen Eingangsparametern.

Neben dem großen Vorteil der Möglichkeit auf einen physisch vorhandenen Feuchtigkeitssensor zu verzichten, wird der Zeitpunkt der Bestimmung der relativen Feuchte verbessert. Dies beruht insbesondere darauf, dass bereits beim Durchströmen des Befeuchters eine Vorhersage getroffen werden kann, welche relative Feuchte am Kathodeneingang sich durch die aktuelle Betriebssituation einstellen wird. Diese Vorhersage erlaubt es, früher als bei den bekannten Lösungen in kontrollierender Weise, zum Beispiel durch einen Stelleingriff, zu reagieren und damit unerwünschte Regel- oder Steuerschwankungen zu vermeiden. So kann bei einer Vorhersage einer zu niedrigen relativen Feuchte am Kathodeneingang im Vergleich zu den bekannten Lösungen mit physisch vorhandenen Feuchtigkeitssensoren, früher gegengesteuert werden, sodass im realen Betrieb an der Membran in der jeweiligen Brennstoffzelle die relative Feuchtigkeit weniger stark abnimmt als dies bei den bekannten Lösungen der Fall wäre. Ein erfindungsgemäßes Verfahren erlaubt also auch den anschließenden Kontrollerfolg zu verbessern.

Es ist vorgesehen, dass bei einem erfindungsgemäßen Verfahren als Zuluft-Parameter wenigstens die folgenden verwendet werden:

- Zuluft-Temperatur,
- Zuluft-Druck,
- relative Zuluft-Feuchte.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Es werden zumindest drei oder genau die oben genannten drei verschiedenen Zuluft-Parameter für ein erfindungsgemäßes Verfahren eingesetzt. Bei den genannten Zuluft-Parametern handelt es sich darüber hinaus um Parameter, für welche grundsätzlich Sensoren für den normalen Regelbetrieb eines Brennstoffzellensystems vorgesehen sind. Insbesondere ist darauf hinzuweisen, dass ein Sensormittel zur Erfassung der relativen Zuluft-Feuchte unabhängig vom Brennstoffzellensystem, also ohne Integration in das Innere des Brennstoffzellensystems, angeordnet werden kann.

Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren als Kathodeneingang-Parameter wenigstens einer der folgenden verwendet wird:

- Stromanforderung,
- Kathodeneingang-Temperatur,
- Kathodeneingang-Druck.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Auch hier werden vorzugsweise bereits vorhandene Sensormittel des Brennstoffzellensystems verwendet, welche für die grundsätzliche Kontrolle des Betriebs des Brennstoffzellensystems notwendig sind. Es ist besonders hervorzuheben, dass die Kathodeneingang-Parameter frei von einer Bestimmung einer relativen Kathodeneingang-Feuchte ausgebildet sind. Mehrere zusätzliche Parameter können jedoch zum Beispiel beim Einsatz eines erfindungsgemäßen Verfahrens auf einem Prüfstand für Brennstoffzellensysteme eingesetzt werden. Dies kann dazu dienen, wie dies später noch erläutert wird, das Befeuchterkennfeld zu erzeugen, zu verbessern und/oder zu validieren. Ein möglichst breit erfasstes und erzeugtes Befeuchterkennfeld erlaubt es, ein erfindungsgemäßes Verfahren später auch bei unterschiedlichen Brennstoffzellensystemen entweder in allgemeiner Weise oder aber in auf das jeweilige Brennstoffzellensystem spezifizierter Weise einzusetzen.

Weitere Vorteile sind erzielbar, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren für die Bestimmung des Zuluftwasser-Massenstroms und/oder für die Ermittlung der relativen Feuchte am Kathodeneingang ein Zusatz-Kennfeld verwendet wird. Neben dem Befeuchterkennfeld als einem Kerngedanken der vorliegenden Erfindung, kann also alternativ zu algorithmischen Zusammenhängen auch ein Zusatz-Kennfeld für

die genannte Bestimmung und die genannte Ermittlung eingesetzt werden. Solche Zusatz-Kennfelder können entsprechend der Datenzusammenhänge, beispielsweise in tabellarischer Art vorsehen. Auch die Verwendung eines neuronalen Netzwerks für solche Zusatz-Kennfelder ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung denkbar. Gleiches gilt für das Befeuchterkennfeld, welches tabellarische Zusammenhänge und/oder neuronale Netzwerke in trainierter Weise als Basis aufweisen kann.

Ebenfalls vorgesehen ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren ein für den Brennstoffzellenstapel und/oder das Brennstoffzellensystem spezifisches Befeuchterkennfeld verwendet wird. So ist es möglich, spezifisch für einen Typ eines Brennstoffzellensystems auf einem Prüfstand ein spezifisches Befeuchterkennfeld zu ermitteln. Diese spezifische Ausgestaltung des Befeuchterkennfeldes kann auch auf eine spezifische Ausgestaltungsform des jeweiligen Befeuchters ausgerichtet sein. Beispielsweise können für die spezifische Ausgestaltung eines Basis-Befeuchterkennfeldes zugehörige spezifische Gewichtungsfaktoren anpassbar sein. Auch ist es möglich, eine voll spezifische Ermittlung am jeweiligen Prüfstand durchzuführen, um ein zugehöriges spezifisches Befeuchterkennfeld zu erzeugen.

Vorteile bringt es darüber hinaus mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren das Befeuchterkennfeld wenigstens teilweise als gewichtetes neuronales Netzwerk ausgebildet ist. Mit anderen Worten wird das Befeuchterkennfeld bei dieser Ausführungsform zumindest teilweise als künstliche Intelligenz ausgebildet, wobei das Training dieses neuronalen Netzwerks in Form eines Deep Learning Algorithmus zum Beispiel durch entsprechende Daten von einem Prüfstand für das Brennstoffzellensystem erhalten werden können. Insbesondere gilt dies für den Einsatz eines spezifischen Befeuchterkennfeldes, wie es im voranstehenden Absatz erläutert worden ist.

Darüber hinaus kann es Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren die ermittelte relative Feuchte mit wenigstens einem Grenzwert verglichen wird, wobei im Fall eines Überschreitens des wenigstens einen Grenzwerts ein Kontrollsignal erzeugt wird. Während ein erfindungsgemäßes Verfahren grundsätzlich darauf ausgerichtet ist für nachfolgende Kontrollverfahren einen Parameter in Form der relativen Feuchte zur Verfügung zu stellen, kann der Schritt der Bewertung dieser bestimmten beziehungsweise ermittelten relativen Feuchte auch in das erfindungsgemäße Verfahren integriert werden. Wird beispielsweise eine relative Min-

destfeuchte bei der Ermittlung der aktuellen relativen Feuchte unterschritten, so kann ein Kontrollsignal an ein Kontrollverfahren ausgegeben werden, um entsprechende Stellmittel so anzusteuern, dass eine stärkere Befeuchtung zu einer höheren relativen Feuchte führen wird. Wird eine zu hohe relative Feuchte erkannt, so kann durch diesen Vergleich beispielsweise durch das Aktivieren eines Bypasses an einer Befeuchtervorrichtung vorbei eine Reduktion der relativen Feuchte erreicht werden.

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Ermittlungsvorrichtung für eine Ermittlung der relativen Feuchte an einem Kathodeneingang eines Brennstoffzellenstapels eines Brennstoffzellensystems. Eine solche Ermittlungsvorrichtung weist ein Zuluftmodul für ein Erfassen von physikalischen Zuluft-Parametern einer Zuluft zu dem Kathodeneingang auf. Weiter dient dieses Zuluftmodul einem Erfassen eines Zuluft-Massenstroms der Zuluft. Die Ermittlungsvorrichtung weist darüber hinaus ein Zuluft-Bestimmungsmodul für ein Bestimmen eines Zuluftwasser-Massenstroms auf Basis der erfassten Zuluft-Parameter und des erfassten Zuluft-Massenstroms auf. Mithilfe eines Kathodeneingangmoduls ist ein Erfassen wenigstens eines physikalischen Kathodeneingang-Parameters am Kathodeneingang möglich. Darüber hinaus ist ein Kathodeneingang-Bestimmungsmodul für ein Bestimmen eines Befeuchterwasser-Massenstroms auf Basis des erfassten wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters unter Verwendung eines Befeuchterkennfeldes vorgesehen. Abschließend weist die Ermittlungsvorrichtung ein Ermittlungsmodul für ein Ermitteln der relativen Feuchte am Kathodeneingang auf, auf Basis des bestimmten Zuluftwasser-Massenstroms, des bestimmten Befeuchterwasser-Massenstroms und des erfassten wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters. Das Zuluftmodul, das Zuluft-Bestimmungsmodul, das Kathodeneingangmodul, das Kathodeneingang-Bestimmungsmodul und/oder das Ermittlungsmodul sind dabei vorteilhafterweise für die Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet. Damit bringt eine erfindungsgemäße Ermittlungsvorrichtung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren erläutert worden sind.

Vorteilhaft kann es sein, wenn bei einer erfindungsgemäßen Ermittlungsvorrichtung eine Zuluft-Sensorvorrichtung zum Erfassen von physikalischen Zuluft-Parametern und/oder des Zuluft-Massenstroms vorgesehen. Eine solche Zuluft-Sensorvorrichtung kann Sensormittel aufweisen, welche insbesondere unabhängig von dem Brennstoffzellensystem ausgebildet sind. Sie dienen zum Beispiel dazu, die

entsprechenden Zuluft-Parameter an dem Eingang für die Zuluft oder sogar direkt in der Umgebung wahrzunehmen.

Weitere Vorteile sind erzielbar, wenn bei einer erfindungsgemäßen Ermittlungsvorrichtung eine Kathodeneingang-Sensorvorrichtung zum Erfassen des wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters vorgesehen ist. Hier handelt es sich um in das Brennstoffzellensystem integrierte Sensormittel der Kathodeneingang-Sensorvorrichtung, welche jedoch insbesondere frei von einem Feuchtigkeitssensor ausgebildet ist.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Erzeugungsverfahren für ein Erzeugen eines Befeuchterkennfeldes für einen Einsatz in einem erfindungsgemäßen Verfahren, aufweisend die folgenden Schritte:

- Betreiben eines Brennstoffzellenstapels auf einem Prüfstand,
- Erfassen der wenigstens drei physikalischen Zuluft-Parameter,
- Erfassen des Zuluft-Massenstroms,
- Erfassen des wenigstens einen physikalischen Kathodeneingang-Parameters,
- Erfassen der relativen Feuchte am Kathodeneingang,
- Abspeichern der Zusammenhänge zwischen der erfassten relativen Feuchte und den erfassten physikalischen Zuluft-Parametern, dem erfassten Zuluft-Massenstroms und dem erfassten wenigstens einen physikalischen Kathodeneingang-Parameters in einem Befeuchterkennfeld.

Dieses Erzeugungsverfahren dient dazu, ein Befeuchterkennfeld zu bestimmen beziehungsweise mit Daten zu füllen, um es anschließend in einem erfindungsgemäßen Verfahren einsetzen zu können. Dies kann für die Ermittlung spezifischer Befeuchterkennfelder, aber auch für die Ermittlung generell anwendbarer Befeuchterkennfelder verwendet werden. Ein solches Verfahren wird möglicherweise sogar zusätzlich validiert an einem gleichen oder an einem ähnlichen Prüfstand. Dafür wird ein ermitteltes Befeuchterkennfeld betrieben und parallel die Ergebnisse eines erfindungsgemäßen Verfahrens mit den Messwerten eines am Prüfstand vorhandenen physischen Feuchtigkeitssensors verglichen.

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:

- Fig. 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Ermittlungsvorrichtung,
- Fig. 2 ein Detail bei einem erfindungsgemäßen Verfahren,
- Fig. 3 ein Detailabschnitt eines erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 4 ein weiterer Detailabschnitt eines erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 5 ein weiterer Detailabschnitt eines erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 6 ein weiterer Detailabschnitt eines erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 7 ein weiterer Detailabschnitt eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

Figur 1 zeigt schematisch wie ein Teil eines Brennstoffzellensystems 100 ausgestaltet sein kann. Hier ist ein Brennstoffzellenstapel 110 mit einer Vielzahl von nicht näher dargestellten einzelnen Brennstoffzellen ausgestattet, wobei der Brennstoffzellenstapel 110 in einen Kathodenabschnitt 112 und einen Anodenabschnitt 114 unterteilt ist. Für die Durchführung der gewünschten stromerzeugenden chemischen Reaktion in einem Brennstoffzellenstapel 110 ist eine Zufuhr und eine Abfuhr der jeweiligen Gase vorgesehen. Für die vorliegende Erfindung entscheidend ist der Kathodeneingang 113 und der Anodeneingang 115. Wesentlich ist hier die Betrachtung der Kathodenseite, also des Kathodeneingangs 113. Hier wird Zuluft ZU aus der Umgebung angesaugt und über einen Befeuchter 120 mit zusätzlicher Feuchtigkeit beladen.

Die Figur 1 zeigt nun schematisch eine erfindungsgemäße Ermittlungsvorrichtung 10. Diese ist mit einem Zuluftmodul 20, einem Zuluft-Bestimmungsmodul 30, einem Kathodeneingangmodul 40, einem Kathodeneingang-Bestimmungsmodul 50 und einem

Ermittlungsmodul 60 ausgestattet. Die einzelnen Module 20, 30, 40, 50, 60 werden später noch näher erläutert. Auch sind hier eine Zuluft-Sensorvorrichtung 70 und eine Kathodeneingang-Sensorvorrichtung 80 vorgesehen, welche in signalkommunizierender Weise mit der Ermittlungsvorrichtung 10 kommunizieren und an den entsprechenden Stellen die gewünschten Parameter aufnehmen.

Figur 2 zeigt schematisch die Orte, an denen grundsätzlich die benötigten Parameter aufgenommen werden können. So wird im Bereich des Eingangs für die Zuluft ZU, also in Strömungsrichtung gesehen vor dem Befeuchter 120, eine Erfassung der Zuluft-Parameter ZP und des Zuluft-Massenstroms ZM erfolgen. Dem Befeuchter 120 der Strömungsrichtung nachgelagert, im Bereich des Kathodeneingangs 113 erfolgt die Erfassung zumindest eines Kathodeneingang-Parameters KP. Hier ist bereits gut zu erkennen, dass kein physischer Sensor zwischen dem Befeuchter 120 und dem Kathodeneingang 113 eine Erfassung von relativer Feuchte angeordnet werden muss.

Erfindungsgemäß erfolgt nun in einem ersten Schritt im Zuluft-Bestimmungsmodul 30 eine Bestimmung des Zuluftwasser-Massenstroms ZWM wie dies in der Figur 3 dargestellt ist. Hier werden Zuluft-Parameter ZP und ein Zuluft-Massenstrom ZM berücksichtigt, um zum Beispiel in algorithmischem Zusammenhang den Zuluftwasser-Massenstrom ZWM zu bestimmen. Hier sind bei dieser Ausführungsform als Zuluft-Parameter ZP die Zuluft-Temperatur ZPT, der Zuluft-Druck ZPP und die relative Zuluft-Feuchte ZPH verwendet.

Alternativ zu der Ausführungsform der Figur 3 ist in Figur 4 eine Variante dargestellt, bei welcher zusätzlich oder alternativ zu einem algorithmischen Zusammenhang ein Zusatz-Kennfeld ZK auf Basis der Eingangsparameter zu der Bestimmung des Zuluftwasser-Massenstroms ZWM führt.

In der Figur 5 ist der zweite vorbereitende Verfahrensschritt dargestellt, wobei hier im Kathodeneingang-Bestimmungsmodul 50 die Kathodeneingang-Parameter KP zur Bestimmung des Befeuchterwasser-Massenstroms BWM führen. Hier ist erfindungsgemäß kein algorithmischer Zusammenhang vorgesehen, sondern vielmehr die Verwendung des Befeuchterkennfeldes BK. Als Kathodeneingang-Parameter KP werden hier die Kathodeneingang-Temperatur KPT, der Kathodeneingang-Druck KPP sowie die Stromanforderung KPI verwendet.

Die Figur 6 zeigt die Kombination der bestimmten Werte im Ermittlungsmodul 60. Die in den ersten beiden Schritten des Verfahrens bestimmten Parameter Zuluftwasser-Massenstrom ZWM und Befeuchterwasser-Massenstrom BWM werden hier zusätzlich zu den bereits vorhandenen und bereits einmal verwendeten Kathodeneingang-Parametern KP verwendet, um wieder durch einen algorithmischen Zusammenhang oder die Verwendung eines nicht näher dargestellten Zusatz-Kennfeldes ZK die relative Feuchte RH zu bestimmen. Bei dieser Ausführungsform der Figur 6 werden beispielhaft als Kathodeneingang-Parameter KP die Kathodeneingang-Temperatur KPT und der Kathodeneingang-Druck KPP verwendet.

Die Figur 7 zeigt noch die Kombination der vorangegangenen Schritte in einer Ermittlungsvorrichtung 10. Hier ist nochmals gut zu erkennen, dass von außerhalb der Ermittlungsvorrichtung 10 die Kathodeneingang-Parameter KP, die Zuluft-Parameter ZP sowie der Zuluft-Massenstrom ZM eingehen. Auf der anderen Seite wird die relative Feuchte RH ausgegeben. Durch die Zweistufigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens werden durch das Zuluft-Bestimmungsmodul 30 und das Kathodeneingang-Bestimmungsmodul 50 innerhalb der Ermittlungsvorrichtung das Zuluftwasser-Massenstrom ZWM und der Befeuchterwasser-Massenstrom BWM sozusagen als Zwischenergebnisse bestimmt, welche in der zweiten Stufe des erfindungsgemäßen Verfahrens über das Ermittlungsmodul 60 in die relative Feuchte RH umgesetzt werden.

Die voranstehende Erläuterung beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen

Bezugszeichenliste

10	Ermittlungsvorrichtung
20	Zuluftmodul
30	Zuluft-Bestimmungsmodul
40	Kathodeneingangmodul
50	Kathodeneingang-Bestimmungsmodul
60	Ermittlungsmodul
70	Zuluft-Sensorvorrichtung
80	Kathodeneingang-Sensorvorrichtung
100	Brennstoffzellensystem
110	Brennstoffzellenstapel
112	Kathodenabschnitt
113	Kathodeneingang
114	Anodenabschnitt
115	Anodeneingang
120	Befeuchter
ZU	Zuluft
RH	relativen Feuchte
ZP	Zuluft-Parameter
ZPT	Zuluft-Temperatur
ZPP	Zuluft-Druck
ZPH	Relative Zuluft-Feuchte
ZM	Zuluft-Massenstrom
ZWM	Zuluftwasser-Massenstrom
KP	Kathodeneingang-Parameter
KPI	Stromanforderung
KPT	Kathodeneingang-Temperatur
KPP	Kathodeneingang-Druck
BK	Befeuchterkennfeld
BWM	Befeuchterwasser-Massenstrom
ZK	Zusatz-Kennfeld

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der relativen Feuchte (RH) an einem Kathodeneingang (113) eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100), aufweisend die folgenden Schritte:
 - Erfassen von physikalischen Zuluft-Parametern (ZP) einer Zuluft (ZU) zu dem Kathodeneingang (113), wobei als Zuluft-Parameter (ZP) wenigstens eine Zuluft-Temperatur (ZPT), ein Zuluft-Druck (ZPP) und eine Relative Zuluft-Feuchte (ZPH) verwendet werden,
 - Erfassen eines Zuluft-Massenstroms (ZM) der Zuluft (ZU),
 - Bestimmen eines Zuluftwasser-Massenstroms (ZWM) auf Basis der erfassten Zuluft-Parameter (ZP) und des erfassten Zuluft-Massenstroms (ZM),
 - Erfassen wenigstens eines physikalischen Kathodeneingang-Parameters (KP) am Kathodeneingang (113),
 - Bestimmen eines Befeuchterwasser-Massenstroms (BWM) auf Basis des erfassten wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters (KP) unter Verwendung eines Befeuchterkennfeldes (BK),
 - Ermitteln der relativen Feuchte (RH) am Kathodeneingang (113) auf Basis des bestimmten Zuluftwasser-Massenstroms (ZWM), des bestimmten Befeuchterwasser-Massenstroms (BWM) und des erfassten wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters (KP).

dadurch gekennzeichnet, dass ein für den Brennstoffzellenstapel (110) und/oder das Brennstoffzellensystem (100) spezifisches Befeuchterkennfeld (BK) verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Kathodeneingang-Parameter (KP) wenigstens einer der folgenden verwendet wird:
 - Stromanforderung (KPI)
 - Kathodeneingang-Temperatur (KPT)

– Kathodeneingang-Druck (KPP)

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Bestimmung des Zuluftwasser-Massenstroms (ZWM) und/oder für die Ermittlung der relativen Feuchte (RH) am Kathodeneingang (113) ein Zusatz-Kennfeld (ZK) verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Befeuchterkennfeld (BK) wenigstens teilweise als gewichtetes neuronales Netzwerk ausgebildet ist.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ermittelte relative Feuchte (RH) mit wenigstens einem Grenzwert verglichen wird, wobei im Fall eines Überschreitens des wenigstens einen Grenzwertes ein Kontrollsignal erzeugt wird.
6. Ermittlungsvorrichtung (10) für eine Ermittlung der relativen Feuchte (RH) an einem Kathodeneingang (113) eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100), aufweisend ein Zuluftmodul (20) für ein Erfassen von physikalischen Zuluft-Parametern (ZP) einer Zuluft (ZU) zu dem Kathodeneingang (113) und ein Erfassen eines Zuluft-Massenstroms (ZM) der Zuluft (ZU), weiter aufweisend ein Zuluft-Bestimmungsmodul (30) für ein Bestimmen eines Zuluftwasser-Massenstroms (ZWM) auf Basis der erfassten Zuluft-Parameter (ZP) und des erfassten Zuluft-Massenstroms (ZM), weiter aufweisend ein Kathodengangmodul (40) für ein Erfassen wenigstens eines physikalischen Kathodeneingang-Parameters (KP) am Kathodeneingang (113), weiter aufweisend ein Kathodeneingang-Bestimmungsmodul (50) für ein Bestimmen eines Befeuchterwasser-Massenstroms (BWM) auf Basis des erfassten wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters (KP) unter Verwendung eines Befeuchterkennfeldes (BK), weiter aufweisend ein Ermittlungsmodul (60) für ein Ermitteln der relativen Feuchte (RH) am Kathodeneingang (113) auf Basis des bestimmten Zuluftwasser-Massenstroms (ZWM), des bestimmten Befeuchterwasser-Massenstroms (BWM) und des erfassten wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters (KP), **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuluftmodul (20), das Zuluft-Bestimmungsmodul (30), das Kathodeneingangmodul (40), das Kathodeneingang-Bestimmungsmodul (50) und/oder das

Ermittlungsmodul (60) für die Ausführung eines Verfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 5 ausgebildet sind.

7. Ermittlungsvorrichtung (10) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Zuluft-Sensorvorrichtung (70) zum Erfassen der physikalischen Zuluft-Parameter (ZP) und/oder des Zuluft-Massenstroms (ZM) vorgesehen ist.
8. Ermittlungsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kathodeneingang-Sensorvorrichtung (80) zum Erfassen des wenigstens einen Kathodeneingang-Parameters (KP) vorgesehen ist.
9. Erzeugungsverfahren für ein Erzeugen eines Befeuchterkennfeldes (BK) für einen Einsatz in einem Verfahren mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 5, aufweisend die folgenden Schritte:
 - Betreiben eines Brennstoffzellenstapels (110) auf einem Prüfstand,
 - Erfassen der wenigstens drei Zuluft-Parameters (ZP),
 - Erfassen des Zuluft-Massenstroms (ZM),
 - Erfassen des wenigstens einen physikalischen Kathodeneingang-Parameters (KP),
 - Erfassen der relativen Feuchte (RH) am Kathodeneingang (113),
 - Abspeichern der Zusammenhänge zwischen der erfassten relativen Feuchte (RH) und der erfassten physikalischen Zuluft-Parameter (ZP), dem erfassten Zuluft-Massenstroms (ZM) und dem erfassten wenigstens einen physikalischen Kathodeneingang-Parameters (KP) in einem Befeuchterkennfeld (BK).

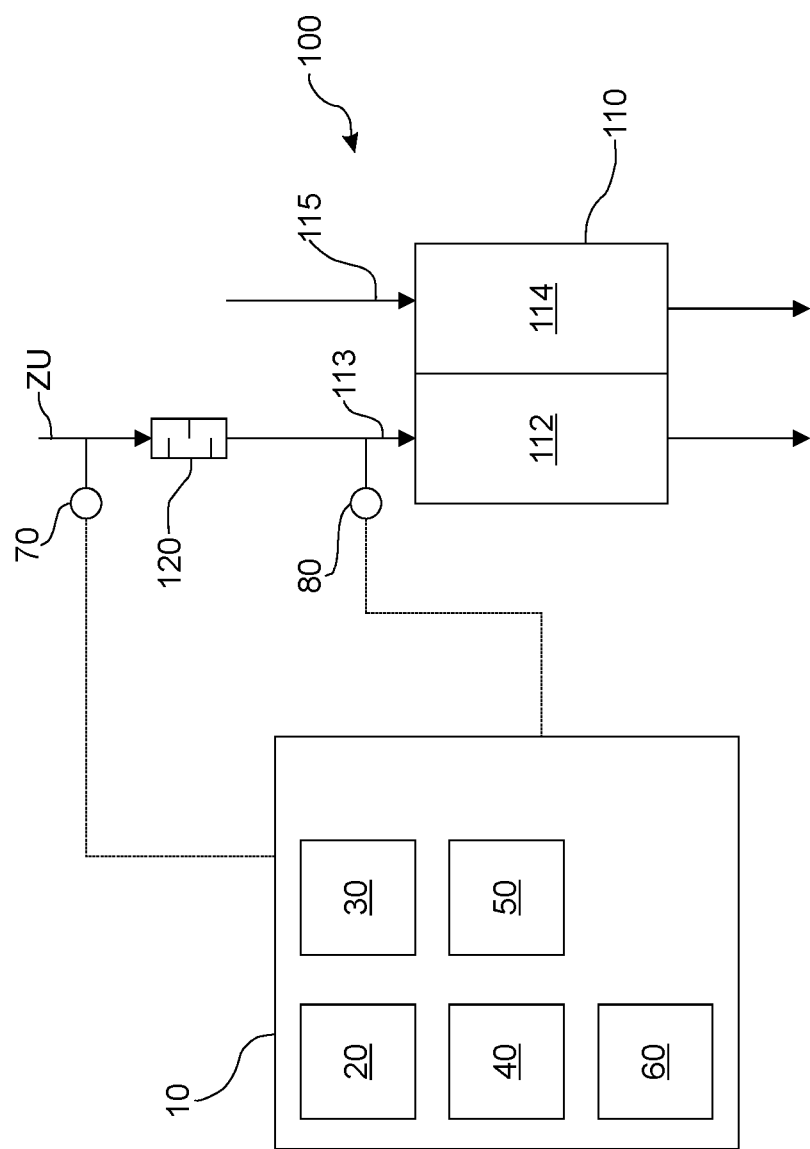


Fig. 1

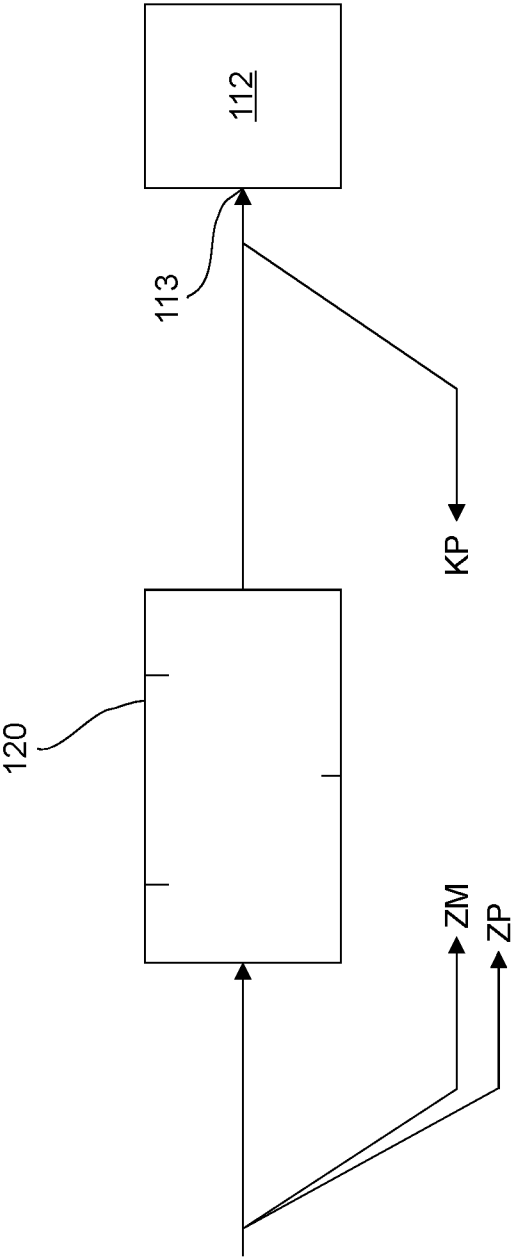


Fig. 2

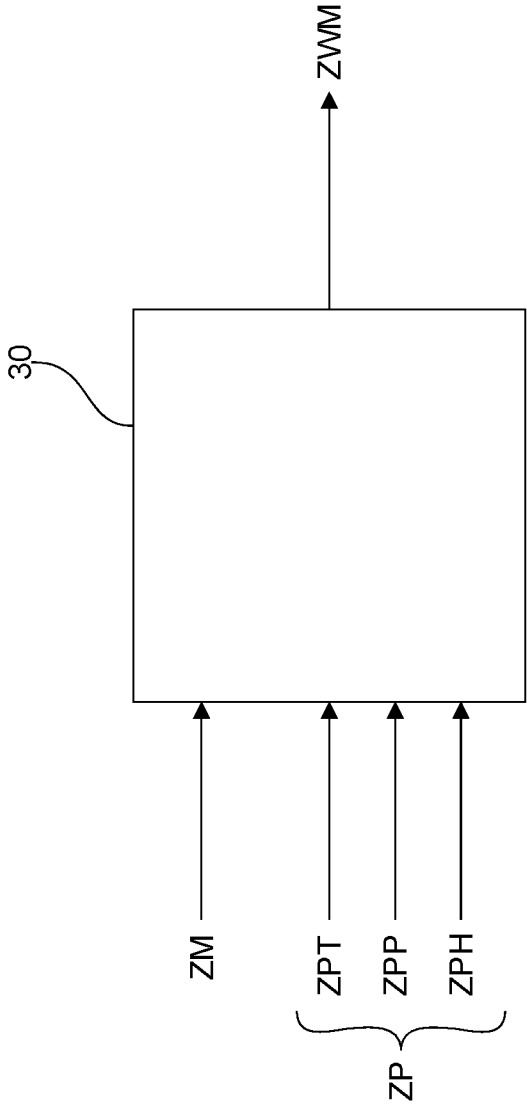


Fig. 3

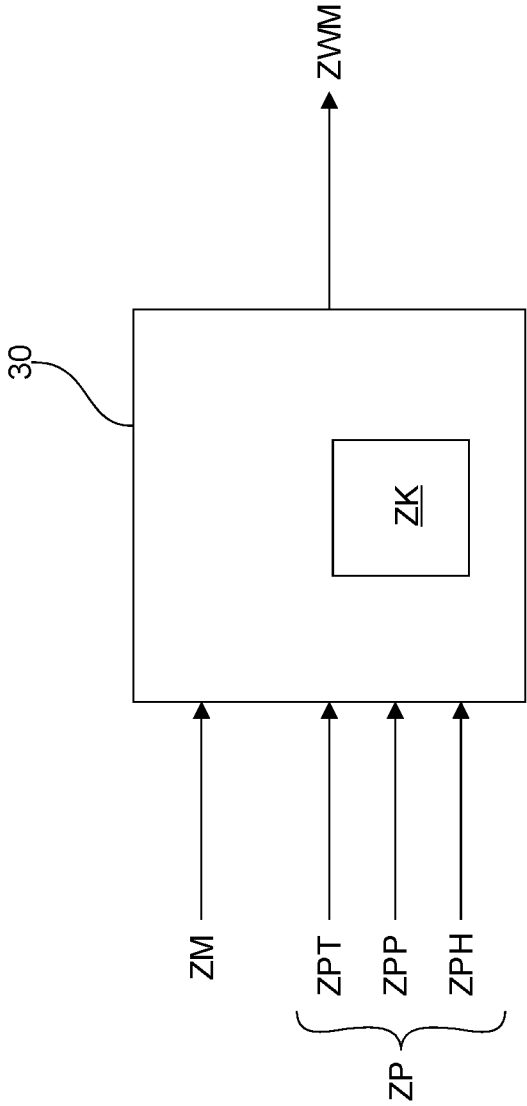


Fig. 4

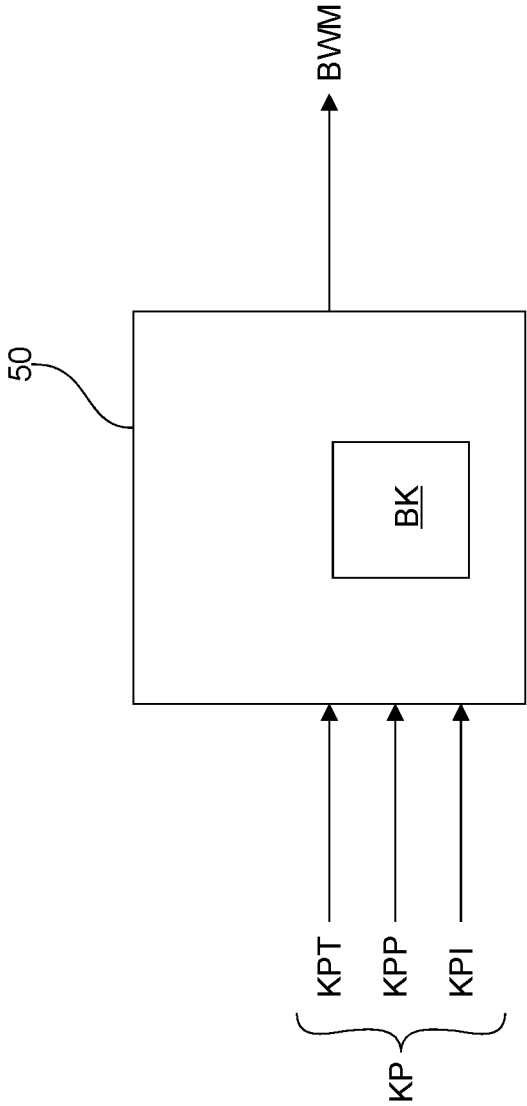


Fig. 5

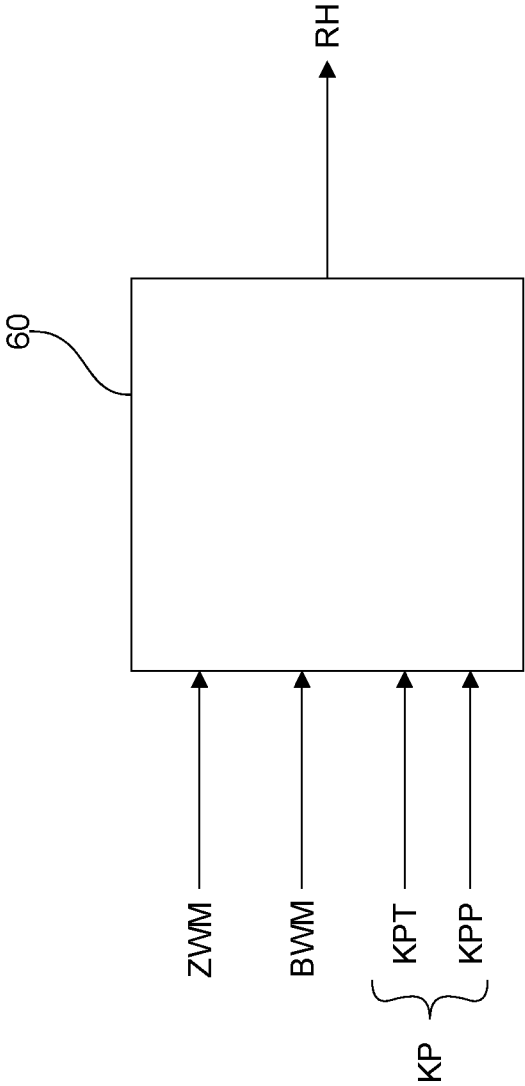


Fig. 6

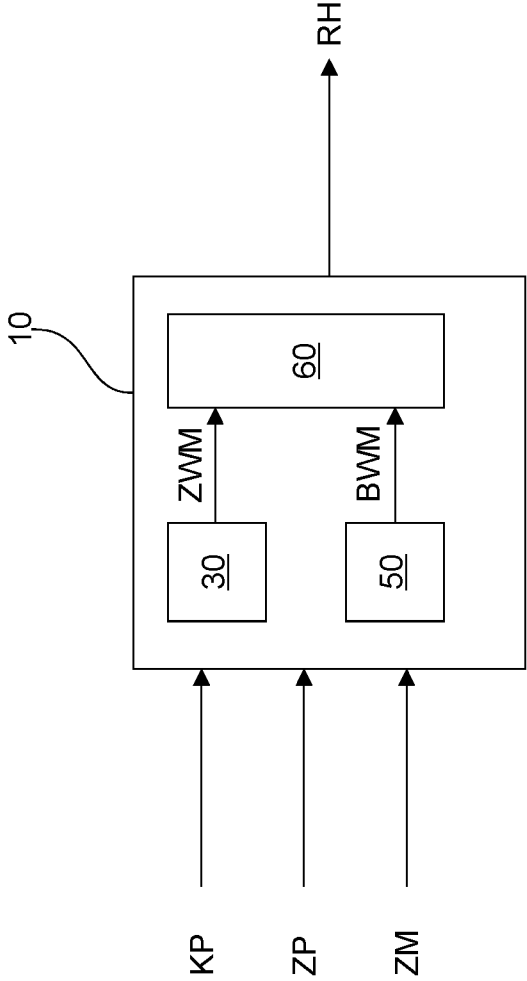


Fig. 7