

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50798/2021 (51) Int. Cl.: **G01F 1/34** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 06.10.2021 **H01M 8/04291** (2016.01)  
(43) Veröffentlicht am: 15.12.2022 **H01M 8/04492** (2016.01)  
**H01M 8/04828** (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
WO 2007128018 A2  
DE 69905166 T2  
WO 2020097654 A1  
DE 102016201265 A1  
WO 2021155415 A1  
WO 2007128018 A2

(71) Patentanmelder:  
AVL List GmbH  
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:  
Ritzberger Daniel Dipl.-Ing. Dr. techn.  
8010 Graz (AT)

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

(54) **Erkennungsverfahren für ein Erkennen von flüssigem Wasser in einem Strömungsabschnitt in einem Brennstoffzellensystem**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Erkennungsverfahren für ein Erkennen von flüssigem Wasser in einem Strömungsabschnitt (SA) in einem Brennstoffzellensystem (100), gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- Erfassen eines Mess-Druckverlusts (MEDV) über eine Messstrecke (MS) zwischen einer ersten Messposition (MP1) und einer zweiten Messposition (MP2) in dem Strömungsabschnitt (SA),
- Erfassen von wenigstens einem Strömungsparameter (SP) einer Fluidströmung innerhalb der Messstrecke (MS) des Strömungsabschnitts (SA),
- Bestimmen eines Modell-Druckverlusts (MODV) auf Basis des wenigstens einen erfassten Strömungsparameters (SP) unter Verwendung eines Druckverlust-Zusammenhangs (DVZ) mit einem Druckabfallbeiwert (DAB),
- Vergleich des erfassten Mess-Druckverlusts (MEDV) mit dem bestimmten Modell-Druckverlust (MODV),
- Anpassen des Druckabfallbeiwerts (DAB) für ein wiederholtes Bestimmen des Modell-Druckverlustes (MODV) zum Angleichen an den erfassten Mess-Druckverlust (MEDV),
- Vergleich des angepassten Druckabfallbeiwertes (DAB) mit wenigstens einem Druckabfall-Grenzwert (DAG),

- Ausgabe eines Erkennungssignal (ES) bei Überschreiten des wenigstens einen Druckabfall-Grenzwerts (DAG) durch den angepassten Druckabfallbeiwert (DAB).

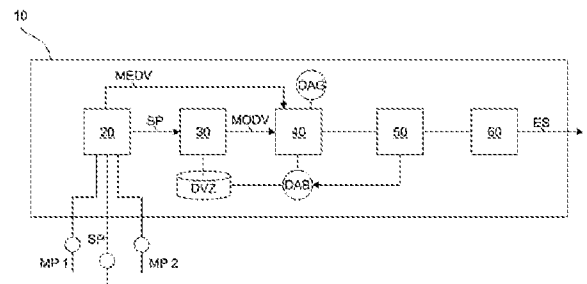


Fig. 1

## Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Erkennungsverfahren für ein Erkennen von flüssigem Wasser in einem Strömungsabschnitt (SA) in einem Brennstoffzellensystem (100), **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:

- Erfassen eines Mess-Druckverlusts (MEDV) über eine Messstrecke (MS) zwischen einer ersten Messposition (MP1) und einer zweiten Messposition (MP2) in dem Strömungsabschnitt (SA),
- Erfassen von wenigstens einem Strömungsparameter (SP) einer Fluidströmung innerhalb der Messstrecke (MS) des Strömungsabschnitts (SA),
- Bestimmen eines Modell-Druckverlusts (MODV) auf Basis des wenigstens einen erfassten Strömungsparameters (SP) unter Verwendung eines Druckverlust-Zusammenhangs (DVZ) mit einem Druckabfallbeiwert (DAB),
- Vergleich des erfassten Mess-Druckverlusts (MEDV) mit dem bestimmten Modell-Druckverlust (MODV),
- Anpassen des Druckabfallbeiwerts (DAB) für ein wiederholtes Bestimmen des Modell-Druckverlustes (MODD) zum Angleichen an den erfassten Mess-Druckverlust (MEDV),
- Vergleich des angepassten Druckabfallbeiwertes (DAB) mit wenigstens einem Druckabfall-Grenzwert (DAG),
- Ausgabe eines Erkennungssignal (ES) bei Überschreiten des wenigstens einen Druckabfall-Grenzwerts (DAG) durch den angepassten Druckabfallbeiwert (DAB).

Fig. 1

## **Erkennungsverfahren für ein Erkennen von flüssigem Wasser in einem Strömungsabschnitt in einem Brennstoffzellensystem**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Erkennungsverfahren für ein Erkennen von flüssigem Wasser in einem Strömungsabschnitt in einem Brennstoffzellensystem, eine Erkennungsvorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens, ein Brennstoffzellensystem mit einer solchen Erkennungsvorrichtung sowie ein Computerprogrammprodukt für die Durchführung des Erkennungsverfahrens.

Es ist bekannt, dass beim Betrieb von Brennstoffzellensystemen Wasser in flüssiger Form in den Strömungsabschnitten entsteht. Dies beruht darauf, dass bei dem Betrieb von Brennstoffzellensystemen zur Erzeugung elektrischer Energie Wasserdampf entsteht, welcher bei der Förderung durch die Leitungsabschnitte im Brennstoffzellensystem kondensieren kann. Kondensiertes Wasser wird in Tropfenform durch die strömenden Gase mitbewegt. Dies führt dazu, dass sich eine Mischung aus tropfenförmigem, flüssigem Wasser und gasförmigen Komponenten einstellt. Dies kann sowohl in Abgasabschnitten als auch, durch aktiv herbeigeführte Rezirkulationen von Abgas, in Zuführungsgasabschnitten der Fall sein.

Nachteilhaft ist das Vorhandensein von Wasser dahingehend, dass die Förderung eine Mischung aus tropfenförmigem, flüssigem Wasser und Gasen einen höheren Druckaufwand erzeugt, als dies bei rein gasförmigen Mischungen der Fall ist. Dies führt zu einem erhöhten Druckverlust, welcher für einen effizienten Betrieb des Brennstoffzellensystems mit entsprechend höherer Pumpleistung und/oder höherer Förderleistung kompensiert werden muss.

Bei bekannten Brennstoffzellen wird daher die Beladung der strömenden Gase mit flüssigem Wasser auf unterschiedliche Weise bestimmt. Zum einen ist es bekannt, die Zellspannung im Brennstoffzellenstapel zu bestimmen und auf diese Weise eine Korrelation zum aktuell vorhandenen flüssigen Wasser in den strömenden Gasen zu ermöglichen. Dies hat jedoch den Nachteil, dass die Zellspannungen exakt abgegriffen und bestimmt werden müssen, um diese Messmethode zu ermöglichen. Mit anderen Worten sind zusätzliche Sensoren zum Erfassen der Zellspannung notwendig, wodurch die Komplexität und die Kosten von Brennstoffzellensystemen gesteigert werden. Auch ist es bekannt, dass der Druckverlust selbst gemessen wird und auf Basis des Druckverlustes ein Rückschluss auf die aktuell vorhandene Menge an

flüssigem Wasser in den strömenden Gasen getroffen wird. Jedoch fehlt hier eine Korrelation zum Einfluss der aktuellen Betriebssituation oder aktuell eintretender Kontrolleinflüsse auf das Brennstoffzellensystem. Wird beispielsweise ein Strömungsventil innerhalb eines Brennstoffzellensystems weiter geöffnet, so führt dies zu einer veränderten Drucksituation, welche jedoch bei der bekannten direkten Bestimmung der Druckverluste nicht als solche erkannt werden kann. Vielmehr führt damit jede Form eines Kontrolleingriffs, welche die Drucksituation innerhalb der Strömungsleitungen des Brennstoffzellensystems ändert, automatisch auch zu einem, in diesem Fall falschen, Erkennen einer veränderten Menge an Wasser in den strömenden Gasen. Dies kann insbesondere zu einer unnötigen Häufung von Spülvorgängen führen.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise eine möglichst robuste Erkennungsmöglichkeit für flüssiges Wasser in einem Brennstoffzellensystem zu schaffen.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst, durch ein Erkennungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Erkennungsvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 12, ein Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 13 sowie ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 14. 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 Erkennungsverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Erkennungsvorrichtung, dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem sowie dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

Der erfindungsgemäße Kerngedanke wird erfüllt durch ein Erkennungsverfahren für ein Erkennen von flüssigem Wasser in einem Strömungsabschnitt in einem Brennstoffzellensystem. Ein solches Erkennungsverfahren zeichnet sich durch die folgenden Schritte aus:

- Erfassen eines Mess-Druckverlustes über eine Messstrecke zwischen einer ersten Messposition und einer zweiten Messposition in dem Strömungsabschnitt,
- Erfassen von wenigstens einem Strömungsparameter einer Fluidströmung innerhalb der Messstrecke des Strömungsabschnitts,
- Bestimmen des Modell-Druckverlusts auf Basis des wenigstens einen erfassten Strömungsparameters unter Verwendung eines Druckverlust-Zusammenhangs mit einem Druckabfallbeiwert,
- Vergleich des erfassten Mess-Druckverlusts mit dem bestimmten Modell-Druckverlust,
- Anpassen des Druckabfallbeiwerts für ein wiederholtes Bestimmen des Modell-Druckverlustes zum Angleichen an den erfassten Mess-Druckverlust,
- Vergleich des angepassten Druckabfallbeiwerts mit wenigstens einem Druckabfall-Grenzwert,
- Ausgabe eines Erkennungssignals bei Überschreiten des wenigstens einen Druckabfall-Grenzwerts durch den angepassten Druckabfallbeiwert.

Der erfindungsgemäße Kerngedanke beruht also darauf, dass ähnlich den bekannten Lösungen ein Mess-Druckverlust bestimmt wird. Hierfür werden zum Beispiel mithilfe von zwei voneinander beabstandeten Drucksensoren an den zwei genannten Messpositionen über die Messstrecke zwei Druckwerte erfasst, sodass die Differenz der beiden erfassten Druckwerte den Druckverlust der Strömung im Strömungsabschnitt über diese Messstrecke wiedergibt. Diese Erfassung kann in bekannter Weise durchgeführt werden und ist insbesondere bereits bei vorhandenen Brennstoffzellensystemen vorgesehen, da Druckmesspositionen für den kontrollierten Betrieb des Brennstoffzellensystems an unterschiedlichsten Positionen des Brennstoffzellensystems notwendig sind. Hier ist bereits gut zu erkennen, dass bei Brennstoffzellensystemen im Wesentlichen jeder Strömungsabschnitt zwischen zwei Messpositionen eine Messstrecke im Sinne der vorliegenden Erfindung ausbilden kann. Somit können auch für ein erfindungsgemäßes Verfahren beliebig viele unterschiedliche Kombina-

tionen eingesetzt werden, sodass für jede mögliche Paarung von Messpositionen das erfindungsgemäße Verfahren einen Druckverlust bestimmen kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren endet jedoch nicht bei der Bestimmung des zu erfassenden Mess-Druckverlustes, sondern erfasst darüber hinaus noch wenigstens einen Strömungsparameter in der Messstrecke. Ein solcher Strömungsparameter ist beispielsweise die Fluidichte in diesem Strömungsabschnitt der Messstrecke und/oder eine Strömungsgeschwindigkeit. Auch die später noch erläuterten zusätzlichen Strömungsparameter, wie beispielsweise ein absoluter Druckwert oder Temperaturen, können hier zusätzlich eingesetzt werden.

Auf Basis der erfassten Strömungsparameter wird nun zusätzlich zu den bekannten Lösungen ein Druckverlust-Zusammenhang verwendet, um neben dem Mess-Druckverlust einen Modell-Druckverlust zu bestimmen. Diese Bestimmung ist im Gegensatz zur Erfassung des Mess-Druckverlustes nicht auf Basis eines direkten Messwertes möglich, sondern erfolgt vielmehr durch den modellhaften Druckverlust-Zusammenhang, welcher insbesondere einen Druckabfallbeiwert berücksichtigt. Ein solcher Druckverlust-Zusammenhang kann beispielsweise ein algorithmischer oder mathematischer Zusammenhang sein. Jedoch ist es auch möglich, wie dies ebenfalls später noch erläutert wird, dass hier ein anderer Modellzusammenhang, insbesondere unter Verwendung einer künstlichen Intelligenz, eingesetzt wird. Entscheidend ist hier, dass der Druckabfallbeiwert einen entscheidenden Einfluss darauf nimmt, welches Ergebnis in quantitativer Weise für den Modell-Druckverlust bestimmt wird. Am Ende dieses Schrittes liegen also dem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren ein erfasster Mess-Druckverlust auf Basis der realen Messdaten und ein Modell-Druckverlust auf Basis der Modellierung vor. Die Modellierung basiert dabei ebenfalls wieder auf Messdaten, jedoch nicht auf Druckmessdaten, sondern auf Strömungsmessdaten in Form des wenigstens einen Strömungsparameters.

Damit wird es nun möglich, dass vor einem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren die zwei Druckverlustwerte miteinander verglichen werden können, sodass erkannt werden kann, ob der erfasste Mess-Druckverlust mit dem bestimmten Modell-Druckverlust übereinstimmt oder hier ein Unterschied vorliegt. Liegt ein Unterschied vor, so wird im Sinne des erfindungsgemäßen Verfahrens versucht diesen Unterschied auszugleichen beziehungsweise auf 0 oder im Wesentlichen auf 0 zu reduzieren. Dies geschieht mit der Anpassung einer einzigen Variablen in Form des Druck-

abfallbeiwerts, welcher auch als Druckverlustkoeffizient beschrieben werden kann. Je nach Ausgestaltung des Druckverlust-Zusammenhangs, kann selbstverständlich der Druckabfallbeiwert unterschiedlichste Ausbildungen einnehmen.

Durch den Versuch des Angleichens wird nun eine quantitative Anpassung des Druckabfallbeiwertes erfolgen, sodass sich anschließend, bei einem wiederholten Durchführen des Bestimmens des Modell-Druckverlustes, eine kleinere Differenz zum erfassten Mess-Druckverlust ergibt. Dies kann iterativ mehrfach durchgeführt werden, um den Unterschied zwischen dem Mess-Druckverlust und dem Modell-Druckverlust so klein wie möglich zu bilden. Grundsätzlich ist es günstig, wenn jedoch die Anpassung mit einer fixen Abtastrate, insbesondere mit einer Samplingrate eines Steuergerätes erfolgt.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird insbesondere das Vorhandensein von Flüssigwasser erkannt und die Menge an Flüssigwasser kann abgeschätzt werden. Zu viel Flüssigwasser in Kathode und Anode ist nachteilig, da dadurch die Diffusion der Reaktanten (Wasserstoff und Sauerstoff) durch die Gas-Diffusions-Schicht zum Ort der eigentlichen elektrochemischen Reaktion (sprich dem Katalysator) gehemmt wird. Diese Hemmung des Stoffaustausches zum Katalysator führt zu einer Absenkung der elektrischen Spannung und ist nachteilig für die Effizienz der Brennstoffzelle. In einem schlimmsten Fall kann dadurch die Gas-Diffusions-Schicht komplett geflutet werden und die Reaktanten-Zufuhr ist soweit gehemmt, dass die Spannung einzelner Zellen in einem Brennstoffzellestapel komplett einbrechen. Dies wird durch die Erfindung vermieden.

Sobald der Ausgleich zwischen Mess-Druckverlust und Modell-Druckverlust erreicht worden ist, wird der für diesen Ausgleich verwendete, angepasste Druckabfallbeiwert für die Auswertung verwendet. Im Gegensatz zu den bekannten Lösungen wird also bei der Auswertung für die Erkennung von flüssigem Wasser nicht zurückgegriffen auf die direkten Messwerte, insbesondere nicht zurückgegriffen auf die bestimmten Druckverhältnisse an den beiden Messpositionen. Vielmehr wird der angepasste Druckabfallbeiwert mit wenigstens einem Druckabfall-Grenzwert verglichen und festgestellt, ob dieser Druckabfall-Grenzwert überschritten ist oder nicht. Der Druckabfall-Grenzwert bildet also einen Alarmgrenzwert aus, ab welchem beispielsweise grundsätzlich flüssiges Wasser vorhanden ist, eine Mindestmenge von flüssigem Wasser und/oder eine Maximalmenge von flüssigem Wasser überschritten ist. Die

entsprechenden Druckabfall-Grenzwerte können dabei selbstverständlich für unterschiedliche Messstrecken unterschiedliche quantitative Werte aufweisen.

Dadurch, dass bei einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Erkennungsverfahrens nun nicht mehr zurückgegriffen wird auf die Zellspannung am Brennstoffzellenstapel sind keine zusätzlichen Messsensoren zum Abgreifen dieser Zellspannungen notwendig. Werden Einzelspannungsmessungen am Stack durchgeführt, kann nun die Redundanz zwischen Druckabfallbeiwertsschätzung und Reduktion der Zellspannung herangezogen werden, um die Diagnosegenauigkeit zu erhöhen. Nicht jede sinkende Zellspannung ist jedoch eindeutig auf Flüssigwasser zurückzuführen. Zeigen aber zwei Indikatoren in die selbe Richtung deutet dies eindeutiger auf Flüssigwasser hin

Bei der alternativen bekannten Ausführungsform wurden bisher ausschließlich die gemessenen Druckwerte und damit der rechnerisch ermittelte Druckabfall verwendet. Die erfindungsgemäße Ausgestaltung des Erkennungsverfahrens modelliert nun den Druckabfall und vergleicht ihn mit dem gemessenen Druckabfall und kann auf diese Weise den Unterschied zwischen Modellierung und realen Messergebnissen für die Erkennung von flüssigem Wasser berücksichtigen. Dies ist zum einen deutlich robuster und führt insbesondere dazu, dass die Strömungsparameter berücksichtigt werden. Führt also beispielsweise eine Veränderung einer Ventilstellung im Brennstoffzellensystem zu veränderten Strömungsverhältnissen, insbesondere zu einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit, so geht dies entsprechend über die Erfassung der Strömungsparameter in die Bestimmung des Modell-Druckverlustes mit ein. Dementsprechend ändert sich auch die notwendige Anpassung des Druckabfallbeiwertes, obwohl ein bestimmter Druckverlust möglicherweise identisch geblieben ist. An diesem Beispiel ist gut zu erkennen, dass bei bekannten Lösungen ein anderes Erkennungssignal und dementsprechend ein anderes Erkennen von flüssigem Wasser stattfinden musste, als dies beim erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren der Fall ist. Insbesondere führt dies dazu, dass ein erfindungsgemäßes Erkennungsverfahren robuster ausgebildet ist und dabei vorzugsweise Strömungsverhältnisse, welche durch Änderungen in der Betriebsweise des Brennstoffzellensystems entstehen, automatisch und systemintegriert berücksichtigen kann.

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass das Erkennungssignal zumindest erzeugt und ausgegeben wird. Die Ausgabe kann zum Beispiel in optischer, akustischer oder an-

derweitig sensorisch wahrnehmbarer Weise an das Bedienpersonal des Brennstoffzellensystems erfolgen. Bevorzugt ist es jedoch, wie ebenfalls später noch erläutert wird, wenn die Ausgabe eine Kontrollaufgabe enthält, sodass beispielsweise eine Kontrolleinheit des Brennstoffzellensystems auf Basis einer als zu hoch erkannten Wassermenge in dem Strömungsabschnitt entsprechend Spülvorgänge durchführt, stöchiometrische Verhältnisse beim Betrieb des Brennstoffzellensystems ändert oder ähnliche Kontrolleingriffe koordiniert oder vorgibt.

Es kann von Vorteil sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren der Druckverlust-Zusammenhang als Druckverlustmodell ausgebildet ist. Während grundsätzlich das erfindungsgemäße Erkennungsverfahren auch unter Verwendung rein algorithmischer Zusammenhänge als Druckverlust-Zusammenhang funktionsfähig ist, kann die Verwendung eines Druckverlustmodells größere Vorteile mit sich bringen und insbesondere die Genauigkeit erhöhen. Insbesondere hinsichtlich einer Prädiktion, also einer Vorhersage und/oder einer Schätzung, des zu erkennenden Wassers kann ein Druckverlustmodell eine Zukunftsaussage mit sich bringen. Auch eine Kombination unterschiedlich komplexer Druckverlust-Zusammenhänge als Teilzusammenhänge ist im Sinne der vorliegenden Erfindung denkbar.

Von Vorteil ist es darüber hinaus, wenn bei einem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren für die Bestimmung des Modell-Druckverlusts wenigstens einer der folgenden Strömungsparameter erfasst wird:

- Fluiddichte im Strömungsabschnitt,
- Strömungsgeschwindigkeit im Strömungsabschnitt,
- absoluter Druck im Strömungsabschnitt,
- Temperatur im Strömungsabschnitt.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Selbstverständlich können auch zwei oder mehr Strömungsparameter erfasst werden. Die Erfassung erfolgt insbesondere von direkten Strömungsparametern, also Parametern, die in direktem Zusammenhang mit der Strömung stehen oder die Strömungsverhältnisse in direkter Weise beeinflussen. Dies kann durch klassische sensorische Erfassung geschehen, aber auch durch Vorgabe, beispielsweise in

Form der Fluidichte auf Basis von bekannten Werten für die eingesetzten Fluide im Brennstoffzellensystem.

Weitere Vorteile sind erzielbar, wenn bei einem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren der Druckverlust-Zusammenhang bei der Bestimmung des Modell-Druckverlustes eine aktuelle Betriebssituation des Brennstoffzellensystems und/oder einen aktuellen Kontrolleingriff am Brennstoffzellensystem berücksichtigt. Während bereits grundsätzlich das Verwenden der Strömungsparameter für die Bestimmung des Modell-Druckverlustes eine Korrelation zur aktuellen Betriebssituation des Brennstoffzellensystems mit sich bringt, kann der Modell-Druckverlust, insbesondere im Druckverlust-Zusammenhang und/oder im Druckabfallbeiwert, auch aktiv eine Rückkopplung mit einem Kontrolleingriff und/oder einer aktuellen Betriebssituation erlauben. Auch komplexere Zusammenhänge, wie beispielsweise eine Abhängigkeit von der Lastsituation und/oder einer Lastanforderung des Brennstoffzellensystems, sind hier grundsätzlich denkbar.

Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren der Druckabfallbeiwert für die Anpassung geschätzt wird, für das Angleichen des Modell-Druckverlustes an den Mess-Druckverlust. Das bedeutet, dass insbesondere in qualitativer und/oder quantitativer Weise diese Schätzung durchgeführt wird. Wird beim ersten Durchlauf bei der Bestimmung des Modell-Druckverlustes eine Differenz zwischen dem Modell-Druckverlust und dem Mess-Druckverlust erkannt, so kann qualitativ erkannt werden, in welche Richtung der Druckabfallbeiwert angepasst werden muss, um diese qualitative Abweichung zu beheben. Zusätzlich oder alternativ ist es auch möglich, dass sogar eine quantitative Abschätzung stattfinden kann, sodass nicht nur die Richtung der Anpassung des Druckabfallbeiwerts, sondern auch die quantitative Ausprägung dieser Anpassung, abgeschätzt werden kann. Dies führt insbesondere dazu, dass mit weniger Iterationen das Angleichen des Modell-Druckverlustes an den Mess-Druckverlust und damit schneller, insbesondere in Echtzeit, stattfinden kann.

Von Vorteil ist es ebenfalls, wenn bei einem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren für die Anpassung des Druckabfallbeiwertes und/oder für den Druckverlust-Zusammenhang eine künstliche Intelligenz verwendet wird. Mit anderen Worten weist der Druckverlust-Zusammenhang ein solches künstliches Intelligenznetzwerk, beispielsweise in Form eines neuronalen Netzes auf, welches in unterschiedlichster

Weise vorgesehen sein kann. Es sind hier trainierte, manuell konfigurierte oder selbstlernende neuronale Netze als künstliche Intelligenz im Sinne der vorliegenden Erfindung denkbar. Auch kann es Vorteile mit sich bringen, wenn eine solche künstliche Intelligenz selbstlernend ausgestattet ist, also eine interne Rückkopplung innerhalb des Erkennungsverfahrens aufweist, welche die Qualität bei der Anwendung des Druckverlust-Zusammenhangs prüft und entsprechend des Ergebnisses in die künstliche Intelligenz rückkoppelt.

Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren der Druckabfall-Grenzwert als ein, insbesondere konstanter, Grenzwert ausgebildet ist. Dieser Grenzwert kann beispielsweise zusammenhängen mit der maximal erlaubten oder der maximal gewünschten Menge an flüssigem Wasser innerhalb der Strömungsabschnitte. Kann beispielsweise konstruktiv vorgegeben werden, welche maximale Leistung eine Gebläsevorrichtung oder eine andere Fördervorrichtung für die Fluide zur Verfügung stellen kann, so kann der entsprechende Druckverlust, welcher bei einer definierten Beladung mit flüssigem Wasser entsteht, eine Grenze vorgeben, ab welcher Beladungsmenge an flüssigem Wasser diese Druckleistung durch die Fördervorrichtung nicht mehr ausreicht, um den Betrieb im Brennstoffzellensystem zu gewährleisten. Auf dieser Basis kann nun der Druckabfall-Grenzwert so definiert werden, dass er, insbesondere mit Sicherheitsabstand, vermeidet, dass eine Erkennung nicht vor Erreichen dieser Menge an flüssigem Wasser stattfindet. Dies erlaubt es, entweder in Form einer Alarmierung oder vorzugsweise in Form eines Kontrolleingriffes beim Betrieb des Brennstoffzellensystems eine zu große Beladung mit flüssigem Wasser zu vermeiden.

Darüber hinaus von Vorteil kann es sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren der Druckabfall-Grenzwert als wenigstens ein Grenzkorridor ausgebildet ist. Dabei kann es sich um stufenweise Grenzwerte handeln, welche beispielsweise mit unterschiedlich starken Kontrolleingriffen im Erkennungssignal korrelieren. Auch ist es möglich, dass eine zu trockene Betriebsweise von einer zu feuchten Betriebsweise unterschieden wird, sodass der Korridor einen Positivkorridor ausbildet.

Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren das Erkennungssignal wenigstens eine Kontrollaufgabe aufweist. Während auch eine reine Alarmierung in Form des Kontrollsignals möglich ist, bringt die Kon-

trollaufgabe, insbesondere spezifisch bezogen auf die erkannte quantitative Menge an flüssigem Wasser, weitere Vorteile mit sich. So kann je nach Beladungszustand als Ergebnis des Erkennungsverfahrens unterschiedlich stark in die Betriebssituation des Brennstoffzellensystems eingegriffen werden. Beispielsweise kann durch ein einfaches Spülen eine geringe Beladungsmenge an Wasser wieder aus dem Strömungsabschnitt herausgebracht werden. Ist jedoch die Beladungsmenge über kurze Zeit sehr stark angestiegen, so ist möglicherweise ein Spülvorgang oder mehrere Spülvorgänge nicht ausreichend. In einem solchen Fall kann zusätzlich oder alternativ zum Spülen auch eine stöchiometrische Anpassung der Gasverhältnisse beim Betrieb des Brennstoffzellensystems als Kontrollaufgabe erfolgen. Darüber hinaus ist es möglich, zusätzlich oder alternativ noch einen Druck im Kathodenabschnitt und/oder Anodenabschnitt anzupassen sowie eine zu regelnde Einlassfeuchte im Kathodenpfad über eine Befeuchterregelung zu regeln.

Von Vorteil ist es weiter, wenn bei einem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren die Ausgabe des Erkennungssignals frei von einer Zellspannung des Brennstoffzellensystems erfolgt. Wie bereits erläutert worden ist, ist das Erfassen von Zellspannungen mit einem zusätzlichen konstruktiven Aufwand versehen. Die Ausbildung des erfindungsgemäßen Erkennungsverfahrens frei von der Verwendung der Zellspannung führt dazu, dass das Brennstoffzellensystem entsprechend kompakter und vor allem kostengünstiger ausgeführt werden kann.

Alternativ zum voranstehenden Absatz kann es Vorteile mit sich bringen, wenn bei dem erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren vor der Ausgabe des Erkennungssignals eine redundante Erkennung von flüssigem Wasser im Brennstoffzellensystem auf Basis einer Zellspannung des Brennstoffzellensystems stattfindet. Wurde ein zusätzlicher konstruktiver Aufwand vorgesehen, um die genannte Zellspannung am Brennstoffzellenstapel abzugreifen, so kann eine redundante Erkennung durchgeführt werden. Insbesondere ist es auf diese Weise möglich, die Erkennung von Wasser über die beiden unterschiedlichen redundanten Systeme miteinander zu vergleichen und auf diese Weise zu verifizieren. Auch wird es so möglich, eine Rückkopplung in den Druckverlust-Zusammenhang zu gewährleisten, um auf diese Weise die Qualität und/oder die Quantität in der Erkennungsfunktionalität zu bewerten.

Darüber hinaus ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung, eine Erkennungsvorrichtung für ein Erkennen von flüssigem Wasser in einem Strömungsabschnitt in einem

Brennstoffzellensystem. Eine solche Erkennungsvorrichtung weist ein Erfassungsmodul zum Erfassen eines Mess-Druckverlustes über eine Messstrecke zwischen einer ersten Messposition und einer zweiten Messposition in einem Strömungsabschnitt auf. Das Erfassungsmodul dient weiter dem Erfassen von wenigstens einem Strömungsparameter in einer Fluidströmung innerhalb der Messstrecke des Strömungsabschnitts. Mithilfe eines Bestimmungsmoduls wird ein Bestimmen eines Modell-Druckverlusts auf Basis des wenigstens einen erfassten Strömungsparameters unter Verwendung des Druckverlust-Zusammenhangs mit einem Druckabfallbeiwert möglich. Darüber hinaus ist ein Vergleichsmodul vorgesehen zum Vergleich des erfassten Mess-Druckverlusts mit dem bestimmten Modell-Druckverlust und zum späteren Vergleich des angepassten Druckabfallbeiwerts mit wenigstens einem Druckabfall-Grenzwert. Mithilfe eines Anpassungsmoduls ist ein Anpassen des Druckabfallbeiwertes für ein wiederholtes Bestimmen des Modell-Druckverlusts zum Angleichen des erfassten Mess-Druckverlustes an den erfassten Mess-Druckverlust und ein Ausgabemodul zur Ausgabe eines Erkennungssignals bei Überschreiten des wenigstens einen Druckabfall-Grenzwertes durch den angepassten Druckabfallbeiwert vorhanden. Das Erfassungsmodul, das Bestimmungsmodul, das Vergleichsmodul, das Anpassungsmodul und/oder das Ausgabemodul sind insbesondere für die Durchführung eines erfindungsgemäßen Erkennungsverfahrens ausgebildet. Damit bringt eine erfindungsgemäße Erkennungsvorrichtung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Erkennungsverfahren erläutert worden sind.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Brennstoffzellensystem für eine Erzeugung elektrischer Energie, aufweisend einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und einem Kathodenabschnitt. Der Anodenabschnitt weist einen Anodenzuführabschnitt zur Zufuhr von Anodenzuführgas und einen Anodenabführabschnitt zur Abfuhr von Anodenabgas auf. Der Kathodenabschnitt weist einen Kathodenzuführabschnitt zur Zufuhr von Kathodenzuführgas und einen Kathodenabführabschnitt zur Abfuhr von Kathodenabgas auf. Weiter ist das Brennstoffzellensystem mit wenigstens einer erfindungsgemäßen Erkennungsvorrichtung ausgestattet, sodass das Brennstoffzellensystem die gleichen Vorteile mit sich bringt, wie sie ausführlich mit Bezug auf eine erfindungsgemäße Erkennungsvorrichtung sowie ein erfindungsgemäßes Erkennungsverfahren erläutert worden sind.

Darüber hinaus ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer, diesen veranlassen, die Schritte eines erfindungsgemäßen Erkennungsverfahrens durchzuführen. Damit bringt auch ein erfindungsgemäßes Computerprogramm die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Erkennungsverfahren erläutert worden sind.

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 Erkennungsvorrichtung,
- Fig. 2 eine Darstellung einer Messstrecke,
- Fig. 3 eine mögliche Korrelation mit einem Druckabfall-Grenzwert,
- Fig. 4 eine weitere Korrelation mit einem Druckabfall-Grenzwert,
- Fig. 5 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems.

Anhand der Figur 1 wird eine Erkennungsvorrichtung 10 und die Durchführung eines Erkennungsverfahrens näher erläutert. Die Erkennungsvorrichtung 10 ist hier mit einem Erfassungsmodul 20 ausgestattet, welches wenigstens drei Sensoren aufweist. Zwei dieser Sensoren sind Drucksensoren, welche entsprechende Druckwerte an der ersten Messposition MP1 und der zweiten Messposition MP2 erfassen können. Wie später noch erläutert, wird durch die Positionierung der einzelnen Messpositionen MP1 und MP2 die Messstrecke MS definiert, sodass über diese Messstrecke MS ein Druckabfall durch die Differenz zwischen den beiden Druckwerten der beiden Sensoren erfassbar wird. Zusätzlich wird innerhalb der Messstrecke MS ein Strömungsparameter SP erfasst, sodass die entsprechende Bestimmung vom Bestimmungsmodul 30 durchgeführt werden kann.

In einem ersten Schritt erfolgt nun die Weitergabe des Strömungsparameters SP an das Bestimmungsmodul 30. Im Bestimmungsmodul 30 wird nun auf Basis der Strö-

mungsparameter SP und unter Verwendung eines Druckverlust-Zusammenhangs DVZ, beispielsweise im Sinne eines Druckverlustmodells, ein Modell-Druckverlust MODV ermittelt. Der Druckverlust-Zusammenhang DVZ beinhaltet dabei die Nutzung wenigstens eines Druckabfallbeiwerts DAB, welcher definiert vorgegeben oder aus vorherigen Durchläufen des erfindungsgemäßen Erkennungsverfahren vorhanden ist. Beispielsweise kann es sich bei dem Druckabfallbeiwert DAB um einen Druckverlustkoeffizienten handeln.

Parallel wurde auf Basis des Erfassungsmoduls 20 und der darin ermittelten Druckwerte an den beiden Messpositionen MP1 und MP2 eine Erfassung des Mess-Druckverlusts MEDV durchgeführt. Der Mess-Druckverlust MEDV und der Modell-Druckverlust MODV werden an das Vergleichsmodul 40 weitergegeben, in welchem ein Vergleich dieser beiden Werte stattfindet. Sofern eine Differenz zwischen Mess-Druckverlust MEDV und Modell-Druckverlust MODV erkannt wird, wird in wenigstens einer Iteration versucht, diese Differenz auszugleichen. Um dies durchzuführen, wird als vorzugsweise einzige Variable der Druckabfallbeiwert DAB durch das Anpassungsmodul 50 angepasst. Dies kann insbesondere durch Schätzung zielgerichtet in qualitativer und/oder quantitativer Weise erfolgen. Der angepasste Druckabfallbeiwert DAB wird nun nochmals innerhalb des Druckverlust-Zusammenhangs DVZ im Bestimmungsmodul 30 dazu verwendet, in wenigstens einem iterativen Durchlauf nochmals den Modell-Druckverlust MODV zu bestimmen. Sobald nach einer diversen Anzahl iterativer Durchläufe nun ein ausreichendes Angleichen, insbesondere ein Ausgleichen zwischen Modell-Druckverlust MODV und Mess-Druckverlust MDV, erfolgt ist, wird der Endwert dieser Anpassung in Form des angepassten Druckabfallbeiwerts DAB verwendet und wieder im Vergleichsmodul 40 mit einem Druckabfall-Grenzwert DAG verglichen. Dadurch, dass dieser Druckabfallbeiwert DAB als insbesondere dimensionslose Kennzahl, beispielsweise als Druckverlustkoeffizient, nun auch aktuelle Strömungsverhältnisse in der Messstrecke MS berücksichtigt, kann eine deutlich genauere Rückkopplung zwischen der aktuellen Betriebssituation und dem tatsächlich vorhandenen Druckverlust auf Basis von vorhandenem flüssigem Wasser getroffen werden. Dies ermöglicht einen einfachen Vergleich zwischen dem final angepassten Druckabfallbeiwert DAB und wenigstens einem Druckabfall-Grenzwert DAG. Sobald der Druckabfall-Grenzwert DAG durch den final angepassten Druckabfallbeiwert DAB überschritten worden ist, erfolgt auf Basis des Ausgabemoduls 60 die Ausgabe wenigstens eines Erkennungssignals ES.

Die Figur 2 zeigt schematisch einen Strömungsabschnitt SA eines Brennstoffzellensystems 100. Je nach Anordnung können unterschiedliche Messstrecken MS definiert werden, wobei selbstverständlich auch mehrere Messstrecken MS durch mehrere unterschiedliche Messpositionen MP1 und MP2 definiert werden können. Hier ist eine besonders einfache Variante mit zwei Messpositionen MP1 und MP2 dargestellt, welche durch ihre Positionierung im Brennstoffzellensystem 100 relativ zueinander die Messstrecke MS definieren. Mithilfe eines zusätzlichen schematisch dargestellten Sensors wird es möglich, einen Strömungsparameter SP, beispielsweise die Fluidichte und die Strömungsgeschwindigkeit, über die Messstrecke MS zu erfassen. Damit sind alle zu messenden und zu erfassenden Eingangswerte für den Durchlauf eines erfindungsgemäßen Erkennungsverfahrens für diese Messstrecke MS in diesem Strömungsabschnitt SA erfasst.

Figur 3 zeigt eine Möglichkeit, wie sich über die Zeit der Druckabfallbeiwert DAB entwickeln kann. Dadurch, dass sich die Betriebssituation in einem Brennstoffzellensystem ändert und auch der Beladungszustand mit flüssigem Wasser eine Funktion von Zeit und Betriebssituation ist, ändert sich entsprechend auch der Druckabfall, welcher sowohl gemessen als auch modelliert wird. Durch das entsprechende Angleichen der Modell-Druckverluste MODV und der Mess-Druckverluste MEDV vorzugsweise in Echtzeit über die Betriebssituation variiert auch der für das Angleichen notwendige angepasste Druckabfallbeiwert DAB. Sobald dieser, wie hier in Figur 3 dargestellt, einen Druckabfall-Grenzwert DAG übersteigt, wird nun das Erkennungssignal ES ausgegeben und insbesondere ein Kontrolleingriff am Brennstoffzellensystem 100 durchgeführt.

Die Figur 4 zeigt eine ähnliche Situation wie die Figur 3, jedoch ist hier der Druckabfall-Grenzwert DAG als Korridor zweistufig ausgeführt. Dabei kann es sich sowohl um einen Positivkorridor handeln oder aber, wie dies die Figur 4 zeigt, um eine mehrstufige Auslösung der Erkennung, sodass vorzugsweise für den Korridor unterschiedliche Erkennungssignale ES in qualitativer oder quantitativer Weise vorgesehen sein können.

Abschließend zeigt die Figur 5 noch eine Ausführungsform eines Brennstoffzellensystems 100. Dieses ist hier schematisch mit einem Brennstoffzellenstapel 110 ausgestattet, welcher sich in Anodenabschnitt 120 und Kathodenabschnitt 130 aufteilt. Der Anodenabschnitt 120 weist einen Anodenzuführabschnitt 122 zum Zuführen von

Anodenzuführgas AZG auf. Der Anodenabschnitt ist darüber hinaus mit einem Anodenabführabschnitt 124 zum Abführen von Anodenabgas AAG ausgestattet. In ähnlicher Weise weist der Kathodenabschnitt 130 einen Kathodenzuführabschnitt 132 für die Zufuhr von Kathodenzuführgas KZG sowie einen Kathodenabführabschnitt 134 für die Abfuhr von Kathodenabgas KAG auf. Schematisch ist hier wenigstens eine Erkennungsvorrichtung 10 dargestellt, welche auch hier wieder schematisch an einer einzigen Messstrecke MS in einem Strömungsabschnitt SA des Anodenabführabschnitts 124 das erfindungsgemäße Erkennungsverfahren durchführen kann.

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

**Bezugszeichenliste**

10	Erkennungsvorrichtung
20	Erfassungsmodul
30	Bestimmungsmodul
40	Vergleichsmodul
50	Anpassungsmodul
60	Ausgabemodul
100	Brennstoffzellensystem
110	Brennstoffzellenstapel
120	Anodenabschnitt
122	Anodenzuführabschnitt
124	Anodenabführabschnitt
130	Kathodenabschnitt
132	Kathodenzuführabschnitt
134	Kathodenabführabschnitt
AZG	Anodenzuführgas
AAG	Anodenabgas
KZG	Kathodenzuführgas
KAG	Kathodenabgas
DVZ	Druckverlust-Zusammenhang
DAB	Druckabfallbeiwert
DAG	Druckabfall-Grenzwert
SA	Strömungsabschnitt
SP	Strömungsparameter
ES	Erkennungssignal
MEDV	Mess-Druckverlust
MODV	Modell-Druckverlusts
MS	Messstrecke
MP1	erste Messposition
MP2	zweite Messposition

## Patentansprüche

1. Erkennungsverfahren für ein Erkennen von flüssigem Wasser in einem Strömungsabschnitt (SA) in einem Brennstoffzellensystem (100), aufweisend die folgenden Schritte:
  - Erfassen eines Mess-Druckverlusts (MEDV) über eine Messstrecke (MS) zwischen einer ersten Messposition (MP1) und einer zweiten Messposition (MP2) in dem Strömungsabschnitt (SA),
  - Erfassen von wenigstens einem Strömungsparameter (SP) einer Fluidströmung innerhalb der Messstrecke (MS) des Strömungsabschnitts (SA),
  - Bestimmen eines Modell-Druckverlusts (MODV) auf Basis des wenigstens einen erfassten Strömungsparameters (SP) unter Verwendung eines Druckverlust-Zusammenhangs (DVZ) mit einem Druckabfallbeiwert (DAB),
  - Vergleich des erfassten Mess-Druckverlusts (MEDV) mit dem bestimmten Modell-Druckverlust (MODV),
  - Anpassen des Druckabfallbeiwerts (DAB) für ein wiederholtes Bestimmen des Modell-Druckverlustes (MODD) zum Angleichen an den erfassten Mess-Druckverlust (MEDV),
  - Vergleich des angepassten Druckabfallbeiwertes (DAB) mit wenigstens einem Druckabfall-Grenzwert (DAG),
  - Ausgabe eines Erkennungssignal (ES) bei Überschreiten des wenigstens einen Druckabfall-Grenzwerts (DAG) durch den angepassten Druckabfallbeiwert (DAB).
2. Erkennungsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druckverlust-Zusammenhang (DVZ) als Druckverlust-Modell ausgebildet ist.

3. Erkennungsverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Bestimmung des Modell-Druckverlusts (MODV) wenigstens einer der folgenden Strömungsparameter (SP) erfasst wird:
  - Fluidichte im Strömungsabschnitt (SA)
  - Strömungsgeschwindigkeit im Strömungsabschnitt (SA)
  - Absoluter Druck im Strömungsabschnitt (SA)
  - Temperatur im Strömungsabschnitt (SA)
4. Erkennungsverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druckverlust-Zusammenhang (DVZ) bei der Bestimmung des Modell-Druckverlusts (MODV) eine aktuelle Betriebssituation des Brennstoffzellensystems (100) und/oder einen aktuellen Kontrolleingriff am Brennstoffzellensystem (100) berücksichtigt.
5. Erkennungsverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druckabfallbeiwert (DAB) für die Anpassung geschätzt wird für das Angleichen des Modell-Druckverlusts (MODV) an den Mess-Druckverlust (MEDV).
6. Erkennungsverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Anpassung des Druckabfallbeiwertes (DAB) und/oder für den Druckverlust-Zusammenhang (DVZ) eine Künstliche Intelligenz verwendet wird.
7. Erkennungsverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druckabfall-Grenzwert (DAG) als ein, insbesondere konstanter, Grenzwert ausgebildet ist.
8. Erkennungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druckabfall-Grenzwert (DAG) als wenigstens ein Grenzkorridor ausgebildet ist.

9. Erkennungsverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erkennungssignal (ES) wenigstens eine Kontrollaufgabe aufweist.
10. Erkennungsverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausgabe des Erkennungssignals (ES) frei von einer Zellspannung des Brennstoffzellensystems (100) erfolgt.
11. Erkennungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor der Ausgabe des Erkennungssignals (ES) eine redundante Erkennung von flüssigem Wasser im Brennstoffzellensystem (100) auf Basis einer Zellspannung des Brennstoffzellensystems (100) stattfindet.
12. Erkennungsvorrichtung (10) für ein Erkennen von flüssigem Wasser in einem Strömungsabschnitt (SA) in einem Brennstoffzellensystem (100), aufweisend ein Erfassungsmodul (20) zum Erfassen eines Mess-Druckverlusts (MEDV) über eine Messstrecke (MS) zwischen einer ersten Messposition (MP1) und einer zweiten Messposition (MP2) in dem Strömungsabschnitt (SA) und zum Erfassen von wenigstens einem Strömungsparameter (SP) einer Fluidströmung innerhalb der Messstrecke (MS) des Strömungsabschnitts (SA), ein Bestimmungsmodul (30) zum Bestimmen eines Modell-Druckverlusts (MODV) auf Basis des wenigstens einen erfassten Strömungsparameters (SP) unter Verwendung eines Druckverlust-Zusammenhangs (DVZ) mit einem Druckabfallbeiwert (DAB), ein Vergleichsmodul (40) zum Vergleich des erfassten Mess-Druckverlusts (MEDV) mit dem bestimmten Modell-Druckverlust (MODV) und zum Vergleich des angepassten Druckabfallbeiwertes (DAB) mit wenigstens einem Druckabfall-Grenzwert (DAG), ein Anpassungsmodul (50) zum Anpassen des Druckabfallbeiwertes (DAB) für ein wiederholtes Bestimmen des Modell-Druckverlustes (MODV) zum Angleichen an den erfassten Mess-Druckverlust (MEDV) und ein Ausgabemodul (60) zur Ausgabe eines Erkennungssignals (ES) bei Überschreiten des wenigstens einen Druckabfall-Grenzwerts (DAG) durch den angepassten Druckabfallbeiwert (DAB), **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erfassungsmodul (20), das Bestimmungsmodul (30), das Vergleichsmodul (40), das Anpassungsmodul (50) und/oder das Ausgabemodul (60) insbesondere für die Durchführung eines

Erkennungsverfahren mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 11 ausgebildet sind.

13. Brennstoffzellensystem (100) für eine Erzeugung elektrischer Energie, aufweisend einen Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Anodenabschnitt (120) und einem Kathodenabschnitt (130), der Anodenabschnitt (120) aufweisend einen Anodenzuführabschnitt (122) zur Zufuhr von Anodenzuführgas (AZG) und einen Anodenabführabschnitt (124) zur Abfuhr von Anodenabgas (AAG), der Kathodenabschnitt (130) aufweisend einen Kathodenzuführabschnitt (132) zur Zufuhr von Kathodenzuführgas (KZG) und einen Kathodenabführabschnitt (134) zur Abfuhr von Kathodenabgas (KAG), weiter aufweisend eine Erkennungsvorrichtung (10) mit den Merkmalen des Anspruchs 12.
14. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen die Schritte eines Erkennungsverfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 11 durchzuführen.

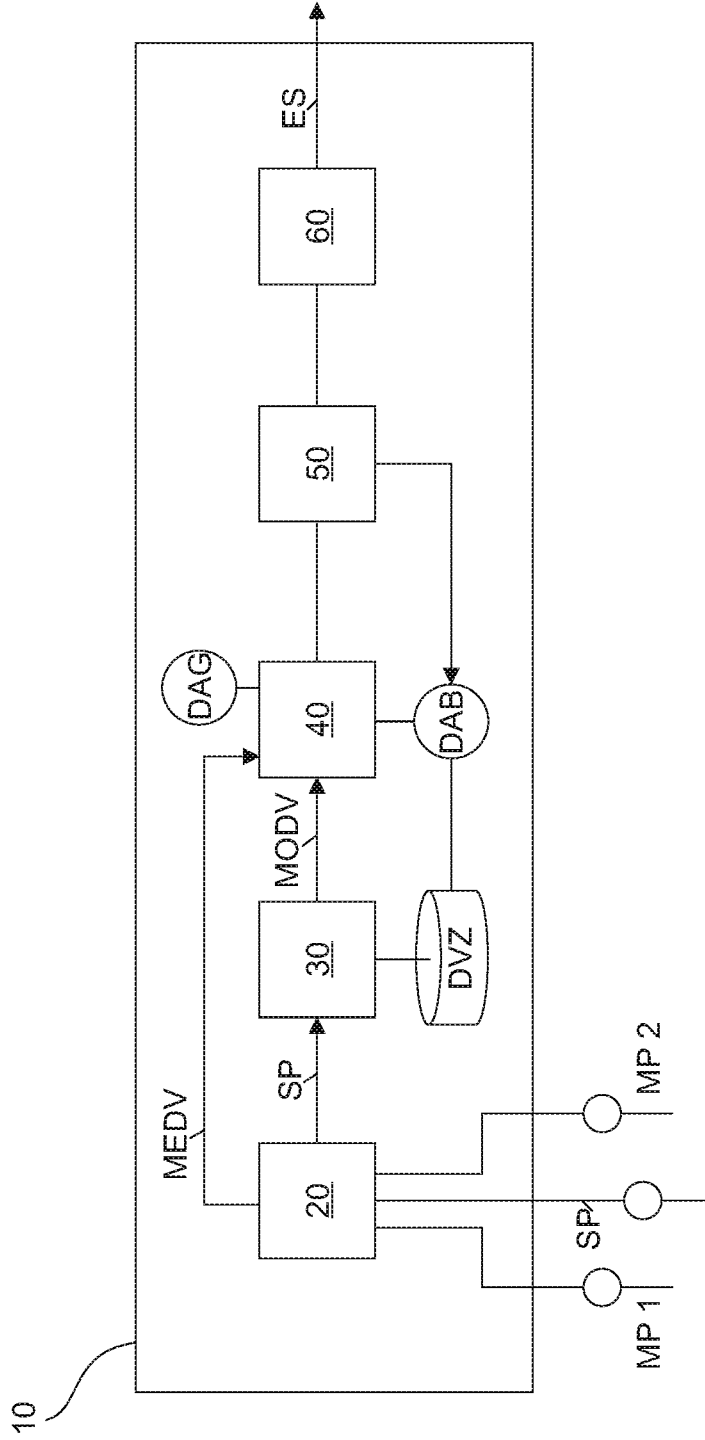


Fig. 1

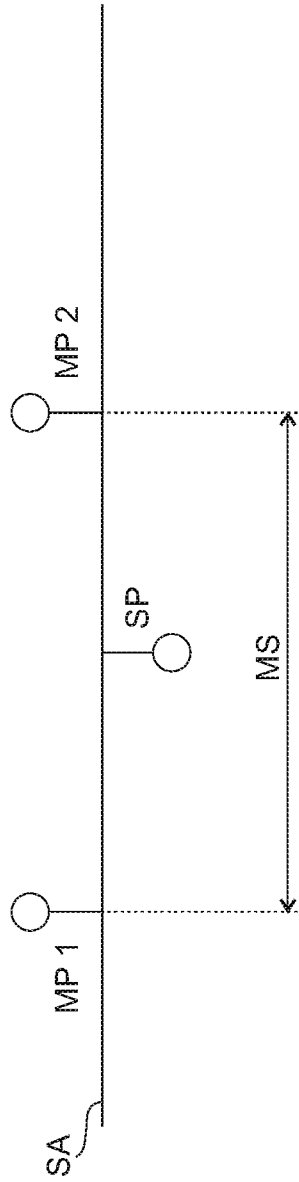


Fig. 2

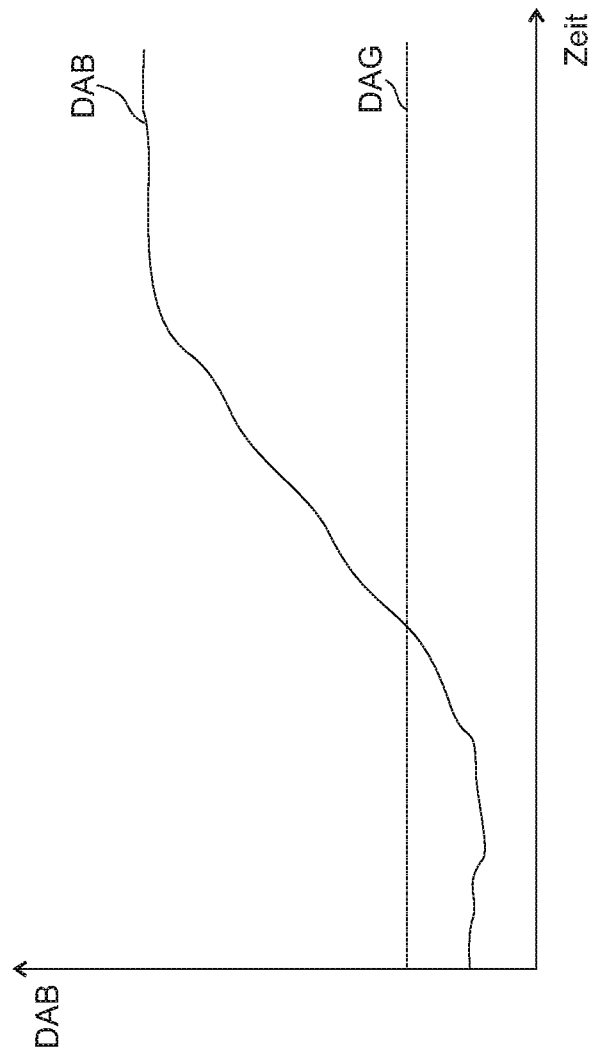


Fig. 3

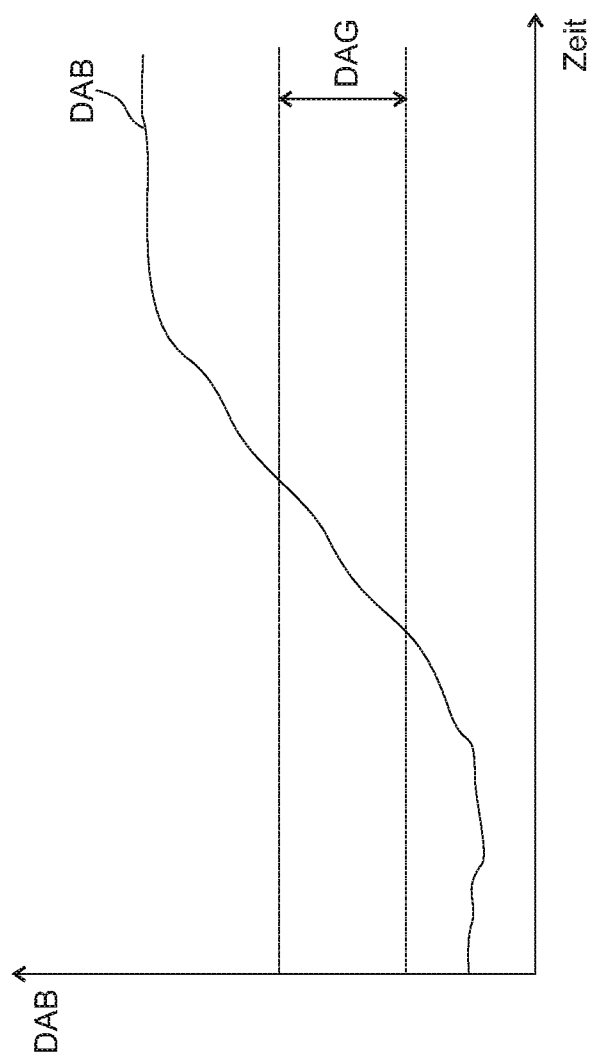


Fig. 4

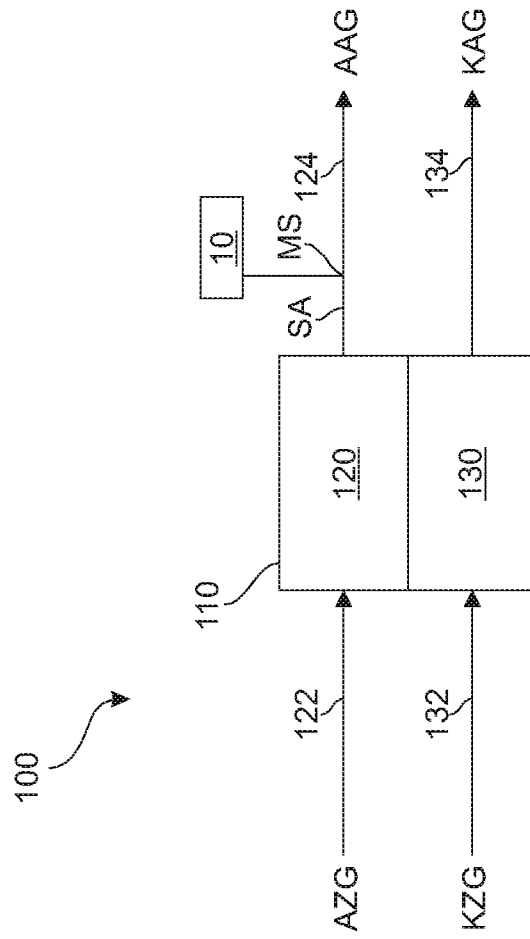


Fig. 5