

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 51032/2023
(22) Anmeldetag: 21.12.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.05.2025

(51) Int. Cl.: **C25B 9/60** (2021.01)
C25B 15/02 (2006.01)
C25B 15/023 (2021.01)
C25B 15/029 (2021.01)
H01M 8/12 (2006.01)
H01M 8/04082 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
CN 116742044 A
WO 2006096956 A1
CN 116826104 A
CN 110531273 A
JP H0325860 A

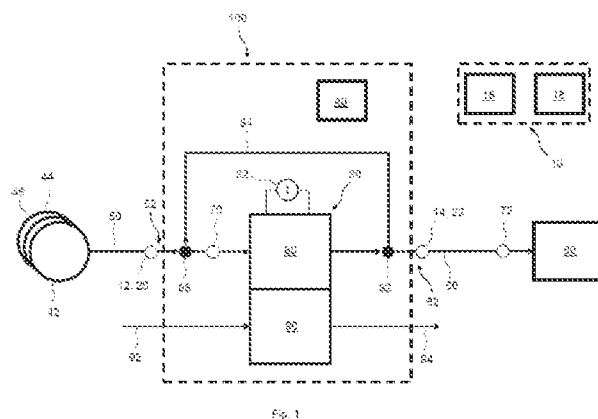
(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
(72) Erfinder:
Buchgraber Rene Dipl.-Ing.
8200 Gleisdorf (AT)
Korlat Edvin Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)
Goll Markus Dipl.-Ing. BSc
8010 Graz (AT)

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

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems (100) während eines Systemtests, wobei das Hochtemperaturelektrolysesystem (100) einen Brennstoffzellenstapel (30) aufweisend mehrere Festoxid-Elektrolysezellen und zumindest ein Systemtestmessgerät (40) umfasst, aufweisend die folgenden Schritte:

Messen eines Eingangsstroms (50) an einem Systemeinlass (52) des Hochtemperaturelektrolysesystems (100),
Bestimmen eines Ausgangsstroms (60) an einem Systemauslass (62) des Hochtemperaturelektrolysesystems (100),
Vergleichen des Eingangsstroms (50) mit dem Ausgangsstrom (60) zum Erstellen einer Bilanz.



Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen eines Hochtemperatur-elektrolysesystems (100) während eines Systemtests, wobei das Hochtemperatur-elektrolysesystem (100) einen Brennstoffzellenstapel (30) aufweisend mehrere Festoxid-Elektrolysezellen und zumindest ein Systemtestmessgerät (40) umfasst, aufweisend die folgenden Schritte:

Messen eines Eingangsstroms (50) an einem Systemeinlass (52) des Hochtemperatur-elektrolysesystems (100),

Bestimmen eines Ausgangsstroms (60) an einem Systemauslass (62) des Hochtemperatur-elektrolysesystems (100),

Vergleichen des Eingangsstroms (50) mit dem Ausgangsstrom (60) zum Erstellen einer Bilanz.

Fig. 1

Verfahren und Vorrichtung zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems, ein Computerprogrammprodukt zum Durchführen eines solchen Verfahrens sowie eine Vorrichtung zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems.

Im Stand der Technik sind Hochtemperaturelektrolysesysteme bekannt. Ein Hochtemperaturelektrolysesystem weist einen Brennstoffzellenstapel und Systemtestmessgeräte auf. Mittels der Systemtestmessgeräte kann ein Systemtest durchgeführt werden. Der Brennstoffzellenstapel weist mehrere Festoxid-Elektrolysezellen auf. Eine Festoxid-Elektrolysezelle (SOEC: solid oxide electrolyzer cell) ist eine Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC: solid oxide fuel cell), die im reversen Modus betrieben wird, um die Elektrolyse von z.B. Wasser und/oder von z.B. Kohlendioxid zu erreichen.

Aufgrund der Komplexität eines Hochtemperaturelektrolysesystems im speziellen für Co-SOEC ist es oft schwierig anhand von den zur Verfügung stehenden Messgrößen der Systemtestmessgeräte eine Aussage über die Dichtheit des Hochtemperaturelektrolysesystems zu treffen. Fehlende Messgrößen des Hochtemperaturelektrolysesystems machen es unmöglich eine konkrete Aussage zu treffen. Der Betrieb eines Hochtemperaturelektrolysesystems mit unzureichender Gasversorgung kann schnell zu einer sehr starken Schädigung des Brennstoffzellenstapels führen.

Vor diesem Hintergrund besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems bereitzustellen, bei welchen die Prüfstandszeiten des Hochtemperaturelektrolysesystems gering gehalten werden können, die Messgüte des Hochtemperaturelektrolysesystems erhöht werden kann sowie das Hochtemperaturelektrolysesystem vor Schädigung geschützt werden kann.

Die voranstehenden Aufgaben werden gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 10 sowie eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 11. 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 dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt sowie der erfindungsgemäßen Vorrichtung und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

Demgemäß wird ein Verfahren zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems, insbesondere während eines Systemtests beschrieben. Dabei umfasst das Hochtemperaturelektrolysesystem einen Brennstoffzellenstapel aufweisend mehrere Festoxid-Elektrolysezellen und zumindest ein Systemtestmessgerät. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

Messen eines Eingangsstroms an einem Systemeinlass des Hochtemperaturelektrolysesystems,

Bestimmen eines Ausgangsstroms an einem Systemauslass des Hochtemperaturelektrolysesystems,

Vergleichen des Eingangsstroms mit dem Ausgangsstrom zum Erstellen einer Bilanz.

Dadurch, dass der Eingangsstrom mit dem Ausgangsstrom verglichen wird und eine Bilanz erstellt wird, kann erkannt werden, ob es in dem Hochtemperaturelektrolysesystem zu einem Fehler kommt. Ein solcher Fehler könnte zum Beispiel eine Leckage oder ein Ausfall des zumindest einen Systemtestmessgeräts sein.

Das Verfahren ermöglicht es eine Auskunft über den Zustand des Hochtemperaturelektrolysesystems zu treffen sowie eine Abschätzung über die Güte der Messungen des zumindest einen Systemtestmessgeräts zu generieren. Dies ermöglicht es den Prüfstandsbetrieb des Hochtemperaturelektrolysesystems während des Systemtests sicherer zu gestalten. Den größten Vorteil bietet diese Methode für den Co-Elektrolyse-Fall, da sich hier die Gaskonzentration am Systemauslass mit der Temperatur

verändert (Water-Gas-Shift Reaktion), was einen Vergleich mit einer Simulation schwierig macht.

Bei dem Vergleich des Eingangsstroms mit dem Ausgangsstrom kann die Gaskonzentration des Ausgangsstroms, das Faraday'sche Gesetz und die Massenerhaltung berücksichtigt werden, um die Bilanz zu ermitteln. Die Bilanz kann insbesondere eine Atombilanz sein. Mittels der Bilanz, wie sich die Verteilung der Gase in dem Eingangsstrom zu der Verteilung der Gase in dem Ausgangsstrom ändert, können Rückschlüsse auf Fehler und/oder Leckagen in dem Hochtemperaturelektrolysesystem getroffen werden.

Insbesondere kann mittels des Verfahrens eine ständige Überwachung des Hochtemperaturelektrolysesystems erfolgen.

Grundsätzlich kann das erfindungsgemäße Verfahren zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems mit Vorteil auch während eines Systembetriebes durchgeführt werden.

Bei dem Systemtest des Hochtemperaturelektrolysesystems können verschiedene Parameter des Brennstoffzellenstapels wie beispielsweise eine Leistung, eine Stromstärke, eine Spannung etc. gemessen werden. Das zumindest eine Systemtestmessgerät dient zum Durchführen des Systemtests oder zum Durchführen eines Teils des Systemtests. Es können auch mehrere Systemtestmessgeräte zum Durchführen des Systemtests verwendet werden.

Das Hochtemperaturelektrolysesystem ist insbesondere ein Co-SOEC-System. Das Hochtemperaturelektrolysesystem weist einen Brennstoffzellenstapel mit mehreren Festoxid-Elektrolyseurzellen auf. Die Festoxid-Elektrolyseurzellen (SOEC: Solid Oxide Electrolyzer Cell) sind Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell), welche in einem reversen Modus betrieben werden, um die Elektrolyse zu erreichen.

Der Eingangsstrom ist ein Gasstrom, welcher am Systemeinlass in das Hochtemperaturelektrolysesystem hineinströmt. Mit einem Eingangsstrommessgerät können das Volumen und/oder die Masse des Eingangsstroms gemessen werden. Der Eingangsstrom kann ein Gas oder mehrere Gase aufweisen. Die Volumina und/oder Massen der Gase können einzeln oder zusammen gemessen werden.

Der Ausgangsstrom ist ein Gasstrom, welcher aus dem Hochtemperaturelektrolysesystem hinausströmt. Aufgrund der Reaktion innerhalb des Brennstoffzellenstapels unterscheidet sich der Ausgangsstrom von dem Eingangsstrom. Am Systemauslass können das Volumen und/oder die Masse des Ausgangsstroms bestimmt werden.

Das Verfahren kann für alle Hochtemperaturelektrolysesysteme angewendet werden, unabhängig ob sie mit oder ohne Rezirkulation arbeiten. Der Einsatz ist möglich für reine Wasserelektrolyse (SOEC) sowie auch für Co-Elektrolyse (Co-SOEC).

Von Vorteil ist es, wenn ein Überwachungsergebnisses basierend auf der Bilanz ausgegeben wird. Das Überwachungsergebnis kann die Bilanz an sich sein oder ein Ergebnis, welches sich durch die Bilanz ergibt. Eine Verarbeitung wie ein Ausgeben des Überwachungsergebnisses erfolgt insbesondere automatisiert.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird basierend auf dem Überwachungsergebnis ein Betriebspunkt des Hochtemperaturelektrolysesystems angepasst oder abgebrochen. Dadurch kann eine Schädigung des Brennstoffzellenstapels verhindert werden. Das Verfahren erlaubt eine ständige Überwachung. Somit kann eine schlechte Messung mit dem zumindest einen Systemtestmessgerät und/oder ein Fehlverhalten des Hochtemperaturelektrolysesystems sofort festgestellt werden.

Der Betriebspunkt des Hochtemperaturelektrolysesystems ist ein Betriebszustand des Hochtemperaturelektrolysesystems welcher zum Beispiel geeignet angepasst werden kann. Alternativ kann der Betrieb des Hochtemperaturelektrolysesystems auch abgebrochen werden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird der Ausgangsstrom bestimmt, indem er mit einem Ausgangsstrommessgerät gemessen wird. Das Ausgangsstrommessgerät kann das Volumen und/oder die Masse des Ausgangsstroms messen. Es wird also ein Volumenstrom und/oder ein Massenstrom gemessen. Bei dieser Messung handelt es sich um eine feuchte Gasmessung, da in dem Gas Wasserdampf enthalten ist. Es ist vorteilhaft auch möglich, den Volumenstrom und/oder den Massenstrom, insbesondere über die Massenerhaltung, zu berechnen.

Insbesondere kann eine Gaskonzentrationsmessung nach dem Systemauslass vorgenommen werden. Mittels der Volumenstrommessung, der Gaskonzentrationsmessung, dem Faraday'schen Gesetz und der Massenerhaltung kann eine Bilanz für

Kohlenstoff und Wasserstoff (und eventuell auch für Stickstoff wenn notwendig und vorhanden) aufgestellt werden. Große Unterschiede in der Bilanz können auf ein Fehlverhalten des Hochtemperaturelektrolysesystems (Leckage) oder den Ausfall eines Systemtestmessgeräts hindeuten, wodurch der Betriebspunkt angepasst oder abgebrochen werden kann, bevor es zu einer merklichen Schädigung des Brennstoffzellenstapels kommt.

Grundsätzlich wird vorteilhaft zwischen zwei Fällen unterschieden: zum einen den oben beschriebenen Fall, bei dem eine feuchte Gasmessung verfügbar ist und zum anderen der Fall einer trockenen Gasmessung, bei welcher insbesondere eine zusätzliche Kondensatmessung notwendig ist.

Generell bietet dieses Verfahren die Möglichkeit, die Messgenauigkeit unterschiedlicher Einrichtungen des Hochtemperaturelektrolysesystems zu überprüfen und so systematische Messfehler zu minimieren.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird der Ausgangsstrom bestimmt, indem an dem Systemauslass eine trockene Gasmessung erfolgt und eine Kondensatmassenstrommessung mittels eines Wasserkondensators durchgeführt wird, um einen Kondensatmassenstrom zu bestimmen, wobei der Ausgangsstrom über die trockene Gasmessung, die Massenerhaltung, das Faraday'sche Gesetz und dem Kondensatmassenstrom bestimmt wird. In diesem Fall erfolgt am Systemauslass keine Volumenstrommessung sondern nur eine trockene Gasmessung. Der Wasserkondensator misst die Kondensatmasse, um einen Kondensatmassenstrom zu bestimmen, und ist notwendig um die Bilanz aufstellen zu können.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird eine Gaskonzentrationsmessung zum Bestimmen einer Konzentration von Gasen des Eingangsstroms oder des Ausgangsstroms durchgeführt, um an einer Position innerhalb oder außerhalb des Hochtemperaturelektrolysesystems die Konzentration von Gasen zu bestimmen. Vorteilhafterweise erhält man mit der Gaskonzentrationsmessung die genaue Zusammensetzung der Gase. Prinzipiell sind mehrere Gaskonzentrationsmessungen an verschiedenen Positionen möglich. Es scheint, dass eine Gasmessung am Ausgang immer notwendig ist.

Die Gaskonzentrationsmessung kann weiter mit einer zu erwartenden Konzentration von Gasen verglichen werden. Auf diese Weise kann mittels der Gaskonzentrationsmessung eine genauere Aussage über die Position einer Fehlfunktion, wie z.B. einer Leckage, getroffen werden. Die Gaskonzentrationsmessung kann an verschiedenen Positionen entlang des Eingangsstroms oder entlang des Ausgangsstroms erfolgen. Weiter sind auch mehrere Gaskonzentrationsmessungen an verschiedenen Positionen möglich. Dadurch können die Informationen, welche man über eine mögliche Fehlfunktion erhalten kann, weiter verbessert werden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens erfolgt die eine Gaskonzentrationsmessung, bevor die Gase des Eingangsstroms in den Brennstoffzellenstapel eintreten. Insbesondere kann die Gaskonzentrationsmessung dann mit einer zu erwartenden Konzentration von Gasen verglichen werden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens erfolgt die eine Gaskonzentrationsmessung nach der Bestimmung des Ausgangsstroms mittels eines Ausgangsstrommessgeräts. Mit dem Ausgangsstrommessgerät kann das Volumen und/oder die Masse des Ausgangsstroms gemessen werden. Die eine Gaskonzentrationsmessung der Gase des Ausgangsstroms erfolgt nach der Bestimmung des Ausgangsstroms. Grundsätzlich ist es insbesondere vorteilhaft, wenn zumindest eine Gasmessung am Ausgang erfolgt.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens erfolgt die eine Gaskonzentrationsmessung des Ausgangsstroms vor oder nach einer Kondensatmassenstrommessung. Dabei stellt der Ausdruck „vor oder nach“ eine zeitliche und räumliche Reihenfolge dar, in welcher die eine Gaskonzentrationsmessung der Gase des Ausgangsstroms und die Kondensatmassenstrommessung erfolgen.

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

Weiter wird eine Vorrichtung zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems während eines Systemtests beschrieben. Dabei umfasst das Hochtemperaturelektrolysesystem einen Brennstoffzellenstapel aufweisend mehrere Festoxid-Elektrolysezellen und zumindest ein Systemtestmessgerät. Die Vorrichtung umfasst

ein Messmodul zum Messen eines Eingangsstroms an einem Systemeinlass des Hochtemperaturelektrolysesystems,

ein Bestimmungsmodul zum Bestimmen eines Ausgangsstroms an einem Systemauslass des Hochtemperaturelektrolysesystems,

ein Vergleichsmodul zum Vergleichen des Eingangsstroms mit dem Ausgangsstrom zum Erstellen einer Bilanz, und

ein Ausgabemodul zum Ausgeben eines Überwachungsergebnisses basierend auf der Bilanz.

Dabei sind das Messmodul, das Bestimmungsmodul, das Vergleichsmodul und das Ausgabemodul insbesondere zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems ausgebildet. Dementsprechend bringt auch eine erfindungsgemäße Vorrichtung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren erläutert worden sind.

Das Messmodul, das Bestimmungsmodul, das Vergleichsmodul und das Ausgabemodul können separat voneinander angeordnet sein. Insbesondere das Messmodul und das Bestimmungsmodul sind dabei getrennt an einem Systemeinlass und an einem Systemauslass des Hochtemperaturelektrolysesystems angeordnet. Dabei können das Messmodul und das Bestimmungsmodul beispielsweise mittels einer Kabelverbindung oder einer Funkverbindung mit dem Vergleichsmodul verbunden sein. Das Vergleichsmodul kann seinerseits mittels einer Kabelverbindung oder einer Funkverbindung mit dem Ausgabemodul verbunden sein.

Das Messmodul kann ein Eingangsstrommessgerät aufweisen, mit welchem das Volumen und/oder die Masse des Eingangsstroms gemessen werden können. Dabei kann das Messmodul auch aus mehreren Untermodulen bestehen, welche jeweils ein

Gas des Eingangsstroms in einer separaten Leitung vermessen, bevor die separaten Leitungen zusammengeführt werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Vorrichtung weist das Bestimmungsmodul ein Ausgangsstrommessgerät auf. Mittels des Ausgangsstrommessgeräts können das Volumen und/oder die Masse des Ausgangsstroms gemessen werden. Durch die Kenntnis des Eingangsstroms und des Ausgangsstroms kann die Bilanz aufgestellt werden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Vorrichtung weist das Bestimmungsmodul eine Messeinrichtung für eine trockene Gasmessung und einen Wasserkondensator auf. Mittels der Messeinrichtung für eine trockene Gasmessung wird der Ausgangsstrom ohne Wasserdampf bestimmt. Der Wasserdampf wird im Wasserkondensator kondensiert und vermessen. Mittels des Wasserkondensators wird ein Kondensatmassenstrom bestimmt. Bei der Erstellung der Bilanz zwischen dem Eingangsstrom und dem Ausgangsstrom wird dann der Kondensatmassenstrom berücksichtigt.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Vorrichtung weist die Vorrichtung einen Gasanalysator auf, wobei der Gasanalysator in einer Strömungsrichtung des Eingangsstroms vor dem Brennstoffzellenstapel angeordnet ist. Zudem kann der Gasanalysator in der Strömungsrichtung des Eingangsstroms hinter dem Messmodul zum Messen eines Eingangsstroms angeordnet sein. Weiter ist der Gasanalysator insbesondere in der Strömungsrichtung des Eingangsstroms hinter einer Verzweigung für eine Rückführung des Reaktanten angeordnet.

Der Gasanalysator dient zum Durchführen einer Gaskonzentrationsmessung. Mittels einer Gaskonzentrationsmessung kann eine genauere Aussage über die Position einer Fehlfunktion, wie z.B. einer Leckage, getroffen werden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Vorrichtung weist die Vorrichtung einen Gasanalysator auf, wobei der Gasanalysator in einer Strömungsrichtung des Ausgangsstroms nach dem Ausgangsstrommessgerät angeordnet ist. Vorteilhafterweise kann mittels der Gaskonzentrationsmessung des Gasanalysators eine genaue Aussage über die Zusammensetzung der Gase getroffen werden. Grundsätzlich kann

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Vorrichtung weist die Vorrichtung einen Gasanalysator auf, wobei der Gasanalysator in einer Strömungsrichtung des

Ausgangsstroms zwischen der Messeinrichtung für eine trockene Gasmessung und dem Wasserkondensator angeordnet ist, oder wobei der Gasanalysator in einer Strömungsrichtung des Ausgangsstroms nach dem Wasserkondensator angeordnet ist. Vorteilhafterweise kann mittels der Gaskonzentrationsmessung des Gasanalysators eine genaue Aussage über die Zusammensetzung der Gase getroffen werden.

Weitere mögliche Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmalen. Dabei wird der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der Erfindung hinzufügen.

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

- Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Vorrichtung zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems und ein Hochtemperaturelektrolysesystem;
- Fig. 2 eine schematische Ansicht einer weiteren Vorrichtung zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems und ein Hochtemperaturelektrolysesystem; und
- Fig. 3 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems.

Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer Vorrichtung 10 zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems 100 und ein Hochtemperaturelektrolysesystem 100. Das Hochtemperaturelektrolysesystem 100 umfasst einen Brennstoffzellenstapel 30 aufweisend mehrere Festoxid-Elektrolysezellen und zumindest ein Systemtestmessgerät 40. Mittels des zumindest einen Systemtestmessgeräts 40 kann ein Systemtest des Hochtemperaturelektrolysesystems 100 vorgenommen werden.

Der Brennstoffzellenstapel 30 weist einen Reaktantenabschnitt 80 und einen Luftabschnitt 90 auf. Über eine Stromquelle 32 wird den Festoxid-Elektrolysezellen ein Strom I zugeführt, um die Elektrolyse durchzuführen. An einem Systemeinlass 52 des Hochtemperaturelektrolysesystems 100 tritt der Eingangsstrom 50, welcher die Gase

des Reaktanten aufweist, in das Hochtemperaturelektrolysesystem 100 ein. Der Eingangsstrom 50 kann Gase aus mehreren Kanälen 42, 44, 46 aufweisen. Der Eingangsstrom 50 wird dann zu dem Reaktantenabschnitt 80 geleitet. Nach der Elektrolyse in dem Brennstoffzellenstapel 30 verlässt das Abgas des Reaktanten den Reaktantenabschnitt 80 als Ausgangsstrom 60 und wird über den Systemauslass 62 des Hochtemperaturelektrolysesystems 100 aus dem Hochtemperaturelektrolysesystem 100 abgeleitet. Letztendlich wird der Ausgangsstrom 60 zu einem Abführabschnitt 88 geleitet, wo der Abgasstrom 60 ausgestoßen oder verbrannt wird.

Das Hochtemperaturelektrolysesystem 100 kann optional einen Rückführkanal 84 aufweisen. An einer Ausgangsstrom-Verzweigung 82 des Ausgangsstroms innerhalb des Hochtemperaturelektrolysesystems 100 kann in diesem Fall ein Teil des Ausgangsstroms 60 über einen Rückführkanal 84 zu einer Eingangsstrom-Verzweigung 86 des Eingangsstroms 50 innerhalb des Hochtemperaturelektrolysesystems 100 geführt werden. Der Anteil des Ausgangsstroms 60, welcher zurückgeführt werden kann, ist bekannt.

Weiter wird ein Zufuhr-Luftstrom 92 von außerhalb des Hochtemperaturelektrolysesystems 100 zu dem Luftabschnitt 90 geführt. Die Abgase der Luft nach der Elektrolyse innerhalb des Brennstoffzellenstapels 30 werden als Abgas-Luftstrom 94 aus dem Hochtemperaturelektrolysesystems 100 abgeführt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung 10 zum Überwachen des Hochtemperaturelektrolysesystems 100 während eines Systemtests umfasst ein Messmodul 12 zum Messen des Eingangsstroms 50 an dem Systemeinlass 52 des Hochtemperaturelektrolysesystems 100, ein Bestimmungsmodul 14 zum Bestimmen eines Ausgangsstroms 60 an dem Systemauslass 62 des Hochtemperaturelektrolysesystems 100, ein Vergleichsmodul 16 zum Vergleichen des Eingangsstroms 50 mit dem Ausgangsstrom 60 zum Erstellen einer Bilanz, und ein Ausgabemodul 18 zum Ausgeben eines Überwachungsergebnisses basierend auf der Bilanz. Das Messmodul 12, das Bestimmungsmodul 14, das Vergleichsmodul 16 und das Ausgabemodul 18 können über eine Kabelverbindung oder über eine Funkverbindung miteinander verbunden sein.

Die Bilanz ist insbesondere eine Atombilanz. Mittels der Bilanz können Rückschlüsse über Fehlfunktionen, wie z.B. Leckagen, in dem Hochtemperaturelektrolysesystem 100 gezogen werden.

Das Bestimmungsmodul 14 kann ein Ausgangsstrommessgerät 22 aufweisen. Das Ausgangsstrommessgerät 22 kann das Volumen und/oder die Masse des Ausgangstroms 60 bestimmen. Ebenso kann das Messmodul 12 ein Eingangsstrommessgerät 20 aufweisen. Mittels dem Eingangsstrommessgerät 20 kann das Volumen und/oder die Masse des Eingangstroms bestimmt werden.

Da die Reaktion des Reaktanten bei der Elektrolyse bekannt ist, ein möglicher Anteil der Rückführung über den Rückführkanal 84 bekannt ist, und der Eingangstrom 50 und der Ausgangstrom 60 bekannt sind, kann die Bilanz aufgestellt werden.

Die Vorrichtung 10 kann einen Gasanalysator 72 aufweisen, Dabei ist der Gasanalysator 72 in einer Strömungsrichtung des Ausgangstroms 60 nach dem Ausgangsstrommessgerät 22 angeordnet. Mittels des Gasanalysators 72 kann eine Gaskonzentrationsmessung vorgenommen werden, so dass eine genaue Aussage über die Zusammensetzung der Gase des Ausgangstroms 60 getroffen werden kann. Insbesondere kann mit einer Volumenstrommessung des Ausgangsstrommessgeräts 22, einer Gaskonzentrationsmessung des Gasanalysators 72, dem Faraday'schen Gesetz und der Massenerhaltung eine Bilanz für Kohlenstoff und Wasserstoff (und eventuell auch für Stickstoff wenn notwendig und vorhanden) aufgestellt werden.

Die Vorrichtung 10 kann einen zusätzlichen Gasanalysator 70 aufweisen. Dabei ist der Gasanalysator 70 in einer Strömungsrichtung des Eingangstroms 50 vor dem Brennstoffzellenstapel 30 angeordnet. Mit dem Gasanalysator 70 kann eine genauere Aussage über die Position einer Fehlfunktion, wie z.B. einer Leckage, getroffen werden.

Fig. 2 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Vorrichtung 10 zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems 100 und ein Hochtemperaturelektrolysesystem 100. Im Folgenden werden nur die Unterschiede zu Fig. 1 erläutert. In Fig. 2 wird eine alternative Vorrichtung 10 zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems 100 gezeigt. Bei dieser Vorrichtung 10 weist das Bestimmungsmodul 14 eine Messeinrichtung 24 für eine trockene Gasmessung und einen Wasserkondensator 26 auf. Mit der Messeinrichtung 24 für eine trockene Gasmessung kann der Ausgangstrom 60 ohne Wasserdampf bestimmt werden. Mittels des Wasserkondensators 26 kann ein Kondensatmassenstrom bestimmt werden. Bei der Erstellung der Bilanz wird der Kondensatmassenstrom berücksichtigt.

Weiter kann eine Gaskonzentrationsmessung des Ausgangsstroms 60 vorgenommen werden. Dazu weist die Vorrichtung 10 einen Gasanalysator 74 auf. Dabei ist der Gasanalysator 74 in einer Strömungsrichtung des Ausgangsstroms 60 zwischen der Messeinrichtung 24 für eine trockene Gasmessung und dem Wasserkondensator 26 angeordnet. Alternativ ist der Gasanalysator 74 in einer Strömungsrichtung des Ausgangsstroms 60 nach dem Wasserkondensator 26 angeordnet. Dies ist durch eine gestrichelte Darstellung des Gasanalysators 74 dargestellt. Mittels des Gasanalysators 74 kann eine Gaskonzentrationsmessung vorgenommen werden, so dass eine genaue Aussage über die Zusammensetzung der Gase des Ausgangsstroms 60 getroffen werden kann.

Fig. 3 zeigt ein Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems 100. Das Verfahren kann insbesondere mit einer in der Fig.1 oder der Fig. 2 gezeigten Vorrichtungen 10 zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems 100 durchgeführt werden. Dabei weist das Verfahren die im Folgenden beschriebenen Schritte auf.

In einem ersten Schritt S1 wird ein Eingangsstrom 50 an einem Systemeinlass 52 des Hochtemperaturelektrolysesystems 100 gemessen.

In einem zweiten Schritt S2 wird ein Ausgangsstrom 60 an einem Systemauslass 62 des Hochtemperaturelektrolysesystems 100 bestimmt.

In einem dritten Schritt S3 wird der Eingangsstrom 50 mit dem Ausgangsstrom 60 verglichen, um eine Bilanz zu erstellen.

In einem vierten Schritt S4 wird ein Überwachungsergebnis basierend auf der Bilanz ausgegeben. Aufgrund des Überwachungsergebnisses kann dann ein Betriebspunkt, also ein Betriebszustand, angepasst oder abgebrochen werden, um Schädigungen am Brennstoffzellenstapel 30 zu vermeiden.

Der Ausgangsstrom 60 kann dadurch bestimmt werden, indem er mit einem Ausgangsstrommessgerät 22 gemessen wird.

Alternativ kann der Ausgangsstrom 60 bestimmt werden, indem an dem Systemauslass 62 eine trockene Gasmessung erfolgt und eine Kondensatmassenstrommessung mittels eines Wasserkondensators 26 durchgeführt wird, um einen

Kondensatmassenstrom zu bestimmen. Insbesondere kann der Ausgangsstrom 60 über die trockene Gasmessung, die Massenerhaltung, das Faraday'sche Gesetz und dem Kondensatmassenstrom bestimmt werden.

Weiter kann eine oder mehrere Gaskonzentrationsmessungen durchgeführt werden. Die Gaskonzentrationsmessungen können in dem Eingangsstrom 50 und/oder in dem Ausgangsstrom 60 vorgenommen werden. Mittels der Gaskonzentrationsmessungen kann die Konzentration der Gase des Eingangsstroms 50 und/oder des Ausgangsstroms 60 gemessen werden.

Bezugszeichenliste

10	Vorrichtung zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems
12	Messmodul
14	Bestimmungsmodul
16	Vergleichsmodul
18	Ausgabemodul
20	Eingangsstrommessgerät
22	Ausgangsstrommessgerät
24	Messeinrichtung für eine trockene Gasmessung
26	Wasserkondensator
30	Brennstoffzellenstapel
32	Stromquelle
40	Systemtestmessgerät
42	Kanal
44	Kanal
46	Kanal
50	Eingangsstrom
52	Systemeinlass
60	Ausgangsstrom
62	Systemauslass
70	Gasanalysator
72	Gasanalysator
74	Gasanalysator
80	Reaktantenabschnitt
82	Ausgangsstrom-Verzweigung
84	Rückführkanal
86	Eingangsstrom-Verzweigung

88	Abführabschnitt
90	Luftabschnitt
92	Zufuhr-Luftstrom
94	Abgas-Luftstrom
100	Hochtemperaturelektrolysesystem

S1	Schritt 1
S2	Schritt 2
S3	Schritt 3
S4	Schritt 4

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems (100), insbesondere während eines Systemtests, wobei das Hochtemperaturelektrolysesystem (100) einen Brennstoffzellenstapel (30) aufweisend mehrere Festoxid-Elektrolysezellen und zumindest ein Systemtestmessgerät (40) umfasst, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

Messen eines Eingangsstroms (50) an einem Systemeinlass (52) des Hochtemperaturelektrolysesystems (100),

Bestimmen eines Ausgangsstroms (60) an einem Systemauslass (62) des Hochtemperaturelektrolysesystems (100),

Vergleichen des Eingangsstroms (50) mit dem Ausgangsstrom (60) zum Erstellen einer Bilanz.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Überwachungsergebnisses basierend auf der Bilanz ausgegeben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** basierend auf dem Überwachungsergebnis ein Betriebspunkt des Hochtemperaturelektrolysesystems (100) angepasst oder abgebrochen wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ausgangsstrom (60) bestimmt wird, indem er mit einem Ausgangsstrommessgerät (22) gemessen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ausgangsstrom (60) bestimmt wird, indem an dem Systemauslass (62) eine trockene Gasmessung erfolgt und eine Kondensatmassenstrommessung mittels eines Wasserkondensators (26) durchgeführt wird, um einen Kondensatmassenstrom zu bestimmen, wobei der Ausgangsstrom (60) über die trockene Gasmessung, die Massenerhaltung, das Faraday'sche Gesetz und dem Kondensatmassenstrom bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Gaskonzentrationsmessung zum Bestimmen einer Konzentration

- von Gasen des Eingangsstroms (50) oder des Ausgangsstroms (60) durchgeführt wird, um an einer Position innerhalb oder außerhalb des Hochtemperatur-elektrolysesystems (100) die Konzentration von Gasen zu bestimmen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die eine Gaskonzentrationsmessung erfolgt, bevor die Gase des Eingangsstroms (50) in den Brennstoffzellenstapel (30) eintreten.
 8. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die eine Gaskonzentrationsmessung nach der Bestimmung des Ausgangsstroms (60) mittels eines Ausgangsstrommessgeräts (22) erfolgt.
 9. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die eine Gaskonzentrationsmessung des Ausgangsstroms (60) vor oder nach einer Kondensatmassenstrommessung erfolgt.
 10. Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, welche bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen die Schritte eines Verfahrens mit Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 9 auszuführen.
 11. Vorrichtung (10) zum Überwachen eines Hochtemperaturolektrolysesystems (100) während eines Systemtests, wobei das Hochtemperaturolektrolysesystem (100) einen Brennstoffzellenstapel (30) aufweisend mehrere Festoxid-Elektrolyseurzellen und zumindest ein Systemtestmessgerät (40) umfasst, **gekennzeichnet durch:**
 - ein Messmodul (12) zum Messen eines Eingangsstroms (50) an einem Systemeinlass (52) des Hochtemperaturolektrolysesystems (100),
 - ein Bestimmungsmodul (14) zum Bestimmen eines Ausgangsstroms (60) an einem Systemauslass (62) des Hochtemperaturolektrolysesystems (100),
 - ein Vergleichsmodul (16) zum Vergleichen des Eingangsstroms (50) mit dem Ausgangsstrom (60) zum Erstellen einer Bilanz, und
 - ein Ausgabemodul (18) zum Ausgeben eines Überwachungsergebnisses basierend auf der Bilanz.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bestimmungsmodul (14) ein Ausgangsstrommessgerät (22) aufweist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bestimmungsmodul (14) eine Messeinrichtung (24) für eine trockene Gasmessung und einen Wasserkondensator (26) aufweist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (10) einen Gasanalysator (70) aufweist, wobei der Gasanalysator (70) in einer Strömungsrichtung des Eingangsstroms (50) vor dem Brennstoffzellenstapel (30) angeordnet ist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (10) einen Gasanalysator (72) aufweist, wobei der Gasanalysator (72) in einer Strömungsrichtung des Ausgangsstroms (60) nach dem Ausgangsstrommessgerät (22) angeordnet ist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (10) einen Gasanalysator (74) aufweist, wobei der Gasanalysator (74) in einer Strömungsrichtung des Ausgangsstroms (60) zwischen der Messeinrichtung (24) für eine trockene Gasmessung und dem Wasserkondensator (26) angeordnet ist, oder wobei der Gasanalysator (74) in einer Strömungsrichtung des Ausgangsstroms (60) nach dem Wasserkondensator (26) angeordnet ist.

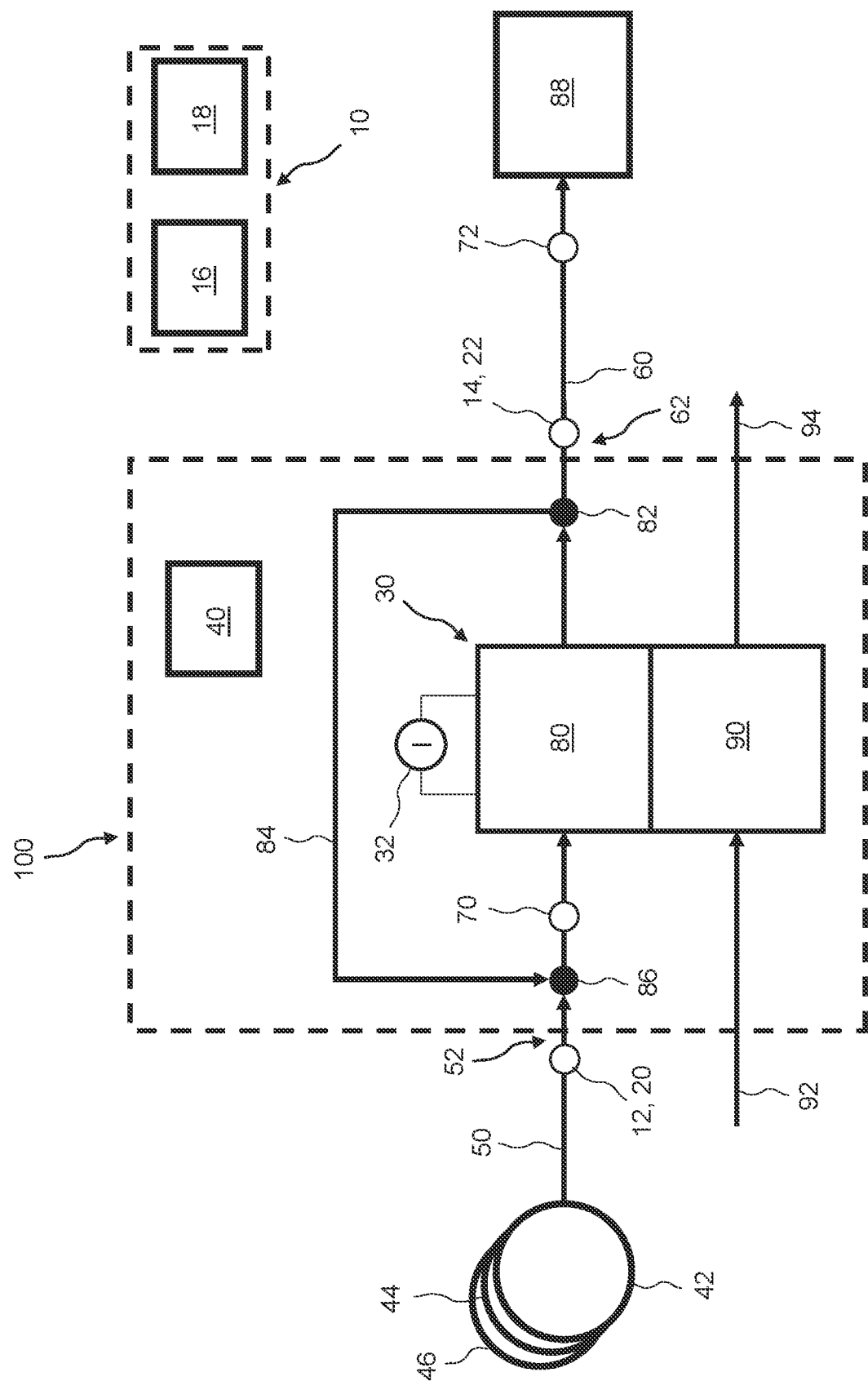


Fig. 1

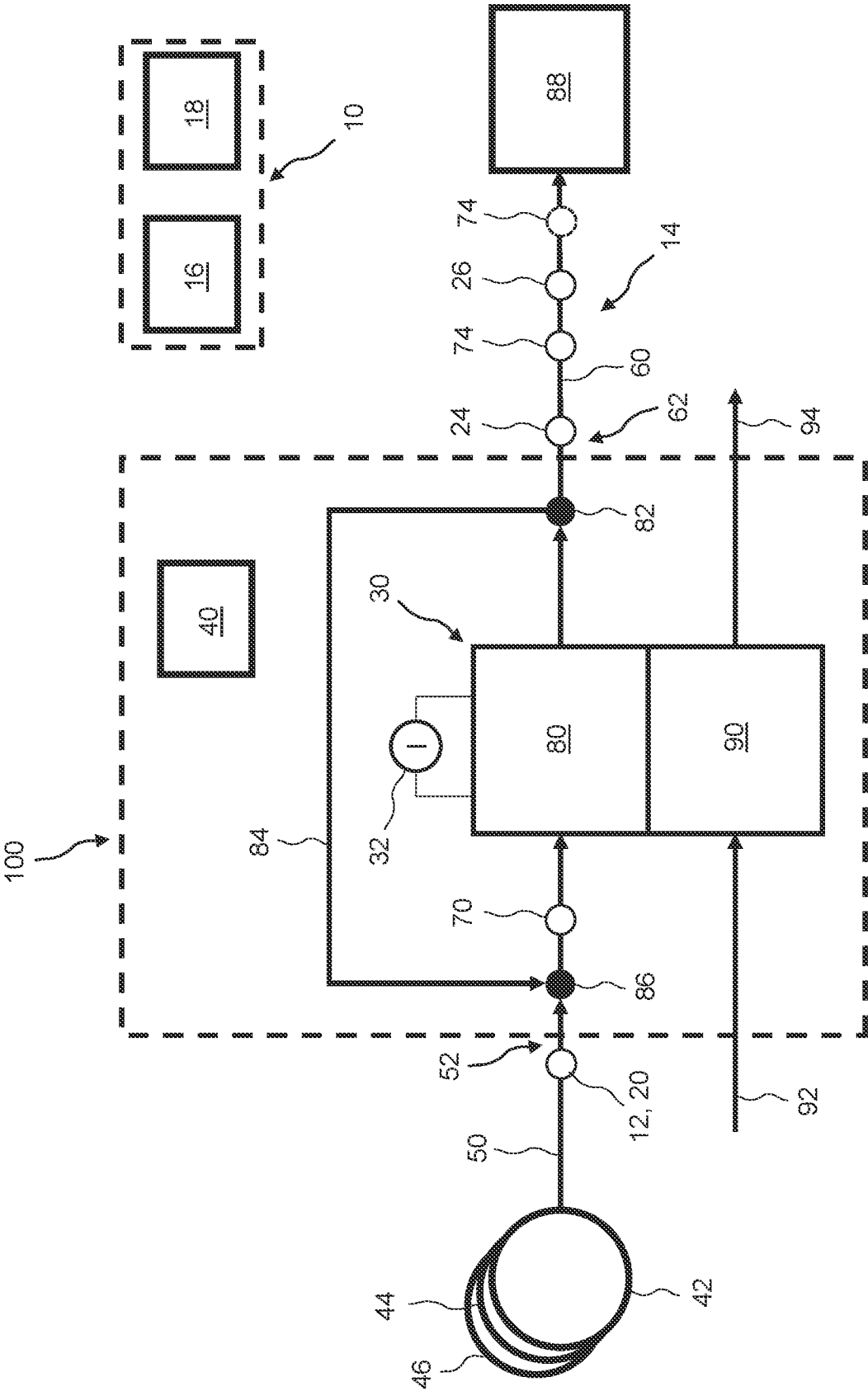


Fig. 2

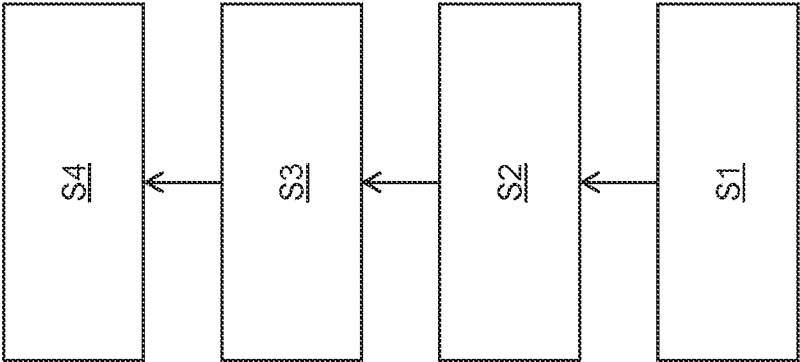


Fig. 3

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen eines Hochtemperaturelektrolysesystems (100), insbesondere während eines Systemtests, wobei das Hochtemperaturelektrolysesystem (100) einen Brennstoffzellenstapel (30) aufweisend mehrere Festoxid-Elektrolysezellen und zumindest ein Systemtestmessgerät (40) umfasst, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

Messen eines Eingangsstroms (50) an einem Systemeinlass (52) des Hochtemperaturelektrolysesystems (100),

Bestimmen eines Ausgangsstroms (60) an einem Systemauslass (62) des Hochtemperaturelektrolysesystems (100),

Vergleichen des Eingangsstroms (50) mit dem Ausgangsstrom (60) zum Erstellen einer Bilanz.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Überwachungsergebnisses basierend auf der Bilanz ausgegeben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** basierend auf dem Überwachungsergebnis ein Betriebspunkt des Hochtemperaturelektrolysesystems (100) angepasst oder abgebrochen wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ausgangsstrom (60) bestimmt wird, indem er mit einem Ausgangsstrommessgerät (22) gemessen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ausgangsstrom (60) bestimmt wird, indem an dem Systemauslass (62) eine trockene Gasmessung erfolgt und eine Kondensatmassenstrommessung mittels eines Wasserkondensators (26) durchgeführt wird, um einen Kondensatmassenstrom zu bestimmen, wobei der Ausgangsstrom (60) über die trockene Gasmessung, die Massenerhaltung, das Faraday'sche Gesetz und dem Kondensatmassenstrom bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Gaskonzentrationsmessung zum Bestimmen einer Konzentration

- von Gasen des Eingangsstroms (50) oder des Ausgangsstroms (60) durchgeführt wird, um an einer Position innerhalb oder außerhalb des Hochtemperatur-elektrolysesystems (100) die Konzentration von Gasen zu bestimmen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die eine Gaskonzentrationsmessung erfolgt, bevor die Gase des Eingangsstroms (50) in den Brennstoffzellenstapel (30) eintreten.
 8. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die eine Gaskonzentrationsmessung nach der Bestimmung des Ausgangsstroms (60) mittels eines Ausgangsstrommessgeräts (22) erfolgt.
 9. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die eine Gaskonzentrationsmessung des Ausgangsstroms (60) vor oder nach einer Kondensatmassenstrommessung erfolgt.
 10. Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, welche bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen die Schritte eines Verfahrens mit Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 9 auszuführen.
 11. Vorrichtung (10) zum Überwachen eines Hochtemperaturolektrolysesystems (100) während eines Systemtests, wobei das Hochtemperaturolektrolysesystem (100) einen Brennstoffzellenstapel (30) aufweisend mehrere Festoxid-Elektrolyseurzellen und zumindest ein Systemtestmessgerät (40) umfasst, **gekennzeichnet durch:**
 - ein Messmodul (12) zum Messen eines Eingangsstroms (50) an einem Systemeinlass (52) des Hochtemperaturolektrolysesystems (100),
 - ein Bestimmungsmodul (14) zum Bestimmen eines Ausgangsstroms (60) an einem Systemauslass (62) des Hochtemperaturolektrolysesystems (100),
 - ein Vergleichsmodul (16) zum Vergleichen des Eingangsstroms (50) mit dem Ausgangsstrom (60) zum Erstellen einer Bilanz, und
 - ein Ausgabemodul (18) zum Ausgeben eines Überwachungsergebnisses basierend auf der Bilanz.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bestimmungsmodul (14) ein Ausgangsstrommessgerät (22) aufweist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bestimmungsmodul (14) eine Messeinrichtung (24) für eine trockene Gasmessung und einen Wasserkondensator (26) aufweist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (10) einen Gasanalysator (70) aufweist, wobei der Gasanalysator (70) in einer Strömungsrichtung des Eingangsstroms (50) vor dem Brennstoffzellenstapel (30) angeordnet ist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (10) einen Gasanalysator (72) aufweist, wobei der Gasanalysator (72) in einer Strömungsrichtung des Ausgangsstroms (60) nach dem Ausgangsstrommessgerät (22) angeordnet ist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (10) einen Gasanalysator (74) aufweist, wobei der Gasanalysator (74) in einer Strömungsrichtung des Ausgangsstroms (60) zwischen der Messeinrichtung (24) für eine trockene Gasmessung und dem Wasserkondensator (26) angeordnet ist, oder wobei der Gasanalysator (74) in einer Strömungsrichtung des Ausgangsstroms (60) nach dem Wasserkondensator (26) angeordnet ist.