



(10) **DE 10 2015 213 913 A1** 2017.01.26

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 213 913.1**

(22) Anmeldetag: **23.07.2015**

(43) Offenlegungstag: **26.01.2017**

(51) Int Cl.: **H01M 8/04298** (2016.01)

H01M 8/0662 (2016.01)

(71) Anmelder:
**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,
80809 München, DE**

(72) Erfinder:
**Becker, Marc, 85591 Vaterstetten, DE; Formanski,
Volker, Dr., 85737 Ismaning, DE; Pektas, Seda,
81675 München, DE; Riedl, Benjamin, 80997
München, DE; Santl, Alois, 80807 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

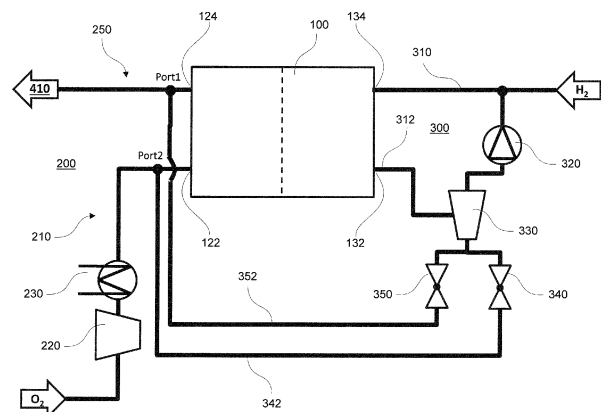
DE 101 15 336 A1
DE 10 2009 036 197 A1
WO 2008/ 052 578 A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zum Ablassen von Anodenabgas einer Brennstoffzelle**

(57) Zusammenfassung: Die hier offenbarte Technologie betrifft ein Verfahren zum Betreiben von mindestens einer Brennstoffzelle. Ein aus einem Anodensubsystem abzulesendes Anodenabgas und aus dem Anodensubsystem abzuschheidendes Wasser werden getrennt dem Anodensubsystem entnommen. Das Anodenabgas wird der Kathodenzuluft und/oder dem Kathodenabgas zugeführt. Das Wasser zur Befeuchtung wird in die Kathodenzuluft eingespritzt.



Beschreibung

[0001] Die hier offenbarte Technologie betrifft ein Verfahren und ein System zum Ablassen von Anodenabgas einer Brennstoffzelle.

[0002] Brennstoffzellensysteme als solche sind bekannt. Für die Brennstoffversorgung von Brennstoffzellensystemen wird beispielsweise Wasserstoff einer Anodeneingangsseite einer Brennstoffzelle zugeführt. Zur Verbesserung der Wasserstoffverteilung innerhalb der Brennstoffzelle wird ein Gasanteil über eine Rezirkulationspumpe vom Anodenaustritt zum Anodeneintritt gepumpt. Alternativ kann auch eine Venturi-Düse verwendet werden, die einen Unterdruck auf der Anodenaustrittsseite der Brennstoffzelle erzeugt, so dass so auch eine Gas-Rezirkulation erreicht wird. Beim Systemstart aber auch im Betrieb kommt es zu Stickstoff- und Flüssigwasseranreicherungen im Anodensubsystem. Beide Medien, Stickstoff und Flüssigwasser, müssen ab einer bestimmten Menge aus dem Anodenkreis genommen werden, was als Purge-Vorgang/Spülvorgang (für Gase) bzw. Drain-Vorgang/Entwässerungsvorgang (für Flüssigwasser) bezeichnet wird. Zur Steigerung der H₂-Konzentration wird der dabei entstehende Druckabfall durch die Zugabe von Wasserstoff ausgeglichen. Das Entlüften/Entwässern führt dazu, dass sich die Menge an Stickstoff und Flüssigwasser im Anodensubsystem verringert und die Konzentration an Wasserstoff erhöht. Stickstoff und Flüssigwasser werden dabei in eine Abgasleitung des Brennstoffzellensystems eingebracht. Hierbei muss sichergestellt sein, dass ausreichend Kathodenabgas zur Verdünnung vorliegt. Ansonsten könnte sich eine unerwünscht hohe Konzentration an Wasserstoff im Abgas einstellen.

[0003] Um beim Kaltstart das Brennstoffzellensystem schnell auf Betriebstemperatur zu bringen, kann das Brennstoffzellensystem bei niedrigen Temperaturen weniger effizient betrieben werden. Besonders beim Kaltstart des Brennstoffzellensystems wird daher die Frischluftzufuhr und damit auch der Abgasmassenstrom begrenzt, um eine möglichst kurze Aufwärmzeit des Brennstoffzellensystems zu erreichen. Für die Anodenentlüftungsvorgänge kann beim Kaltstart nicht ausreichend Verdünnungsluft vorhanden sein, so dass die maximale Wasserstoff-Konzentration im Systemabgas überschritten werden könnten, wenn nicht zusätzliche Maßnahmen vorgesehen wären.

[0004] Die DE 10 2004 055 158 A1 zeigt ein Brennstoffzellensystem mit einem Brennstoffzellenstapel. Das Anodenabgas wird der Kathodenseite zugeführt. Die anodenseitige Abgasleitung mündet auf der Saugseite des Verdichters in eine Zuführleitung der Kathodenseite. Ferner offenbart die DE 10115336 A1 ein Brennstoffzellensystem mit einer Rückführung

von Anodenabgas zur Kathodenzuluft sowie eine weitere Leitung, die zu einer Abgasmischeinrichtung führt, die in der Kathodenabgasleitung stromab des Kathodenausgangs vorgesehen ist. Auch sind hier Wasserabscheider offenbart, die aus dem Anodenabgas und dem Kathodenabgas Wasser abscheiden, das zur Befeuchtung der der Brennstoffzellen zugeführten Gasen dienen kann. Aus der WO 2008/052578 A1 ist ein Brennstoffzellensystem bekannt, bei dem eine Spülleitung von einem Rezirkulationskreis abzweigt. Die Spülleitung dient sowohl zum Entfernen von Wasser als auch zum Entfernen von anodenseitigem Brennstoffzellenabgas. Ferner ist ein Umschalter vorgesehen, der die Spülleitung wahlweise an den kathodenseitigen Eingang oder den kathodenseitigen Ausgang anlegt.

[0005] Es ist eine Aufgabe der hier offenbarten Technologie, die Nachteile der vorbekannten Lösungen zu verringern oder zu beheben. Weitere Aufgaben ergeben sich aus den vorteilhaften Effekten der hier offenbarten Technologie. Die Aufgabe(n) wird/werden gelöst durch den Gegenstand des Patentanspruchs 1. Die abhängigen Ansprüche stellen bevorzugte Ausgestaltungen dar.

[0006] Die hier offenbarte Technologie betrifft ein Verfahren zum Betreiben von mindestens einer Brennstoffzelle eines Brennstoffzellensystems. Ein solches Brennstoffzellensystem umfasst mindestens eine Brennstoffzelle.

[0007] Das Brennstoffzellensystem ist beispielsweise für mobile Anwendungen wie Kraftfahrzeuge gedacht. In ihrer einfachsten Form ist eine Brennstoffzelle ein elektrochemischer Energiewandler, der Brennstoff und Oxidationsmittel in Reaktionsprodukte umwandelt und dabei Elektrizität und Wärme produziert. Die Brennstoffzelle umfasst eine Anode und eine Kathode, die durch einen ionenselektiven Separator getrennt sind. Die Anode weist eine Zufuhr für einen Brennstoff zur Anode auf. Bevorzugte Brennstoffe sind: Wasserstoff, niedrigmolekularer Alkohol, Biokraftstoffe, oder verflüssigtes Erdgas. Die Kathode weist beispielsweise eine Zufuhr für Oxidationsmittel auf. Bevorzugte Oxidationsmittel sind bspw. Luft, Sauerstoff und Peroxide. Der ionenselektive Separator kann bspw. als Protonenaustauschmembran (proton exchange membrane, PEM) ausgebildet sein. Bevorzugt kommt eine kationenselektive Polymerelektrolytmembran zum Einsatz. Materialien für eine solche Membran sind beispielsweise: Nafion[®], Flemion[®] und Aciplex[®]. Ein Brennstoffzellensystem umfasst mindestens eine Brennstoffzelle sowie periphere Systemkomponenten (BOP-Komponenten), die beim Betrieb der mindestens einen Brennstoffzelle zum Einsatz kommen können. In der Regel sind mehrere Brennstoffzellen zu einem Brennstoffzellenstapel bzw. Stack zusammengefasst.

[0008] Gemäß dem hier offenbarten Verfahren wird während einer ersten Zeitspanne ein abzulassendes Anodenabgas der Brennstoffzelle zumindest zeitweise ausschließlich der Kathode der Brennstoffzelle zugeführt. Das Anodenabgas ist dabei das Gasgemisch, welches die Anode der Brennstoffzelle verlässt. Das abzulassende Anodenabgas ist der Teil des Abgases, der nicht rezirkuliert wird. Insbesondere ist das abzulassende Anodenabgas der Teil des Anodenabgases, der über das Entlüftungsventil bzw. Purgeventil dem Anodensubsystem entnommen wird. Durch Purgung-Vorgänge wird dieser Teil des Anodenabgases, im Wesentlichen Stickstoff, Wasserstoff und Wasserdampf, dem Anodenabgas entnommen. Als Rezirkulation wird in diesem Zusammenhang die Rückführung des Anodenabgases in die Anodenzuluft bzw. den Anodeneinlass bezeichnet. Zeitweise kann während der Entlüftungsvorgänge das abzulassende Abgas bevorzugt komplett in die Kathode abgelassen werden.

[0009] Bevorzugt ist die erste Zeitspanne die Aufwärmphase der Brennstoffzelle. Die Aufwärmphase ist dabei die Phase, in der das Brennstoffzellensystem des Kraftfahrzeuges auf die (optimale) Betriebstemperatur erwärmt wird. Die Aufwärmphase beginnt i. d. R. mit der Aktivierung des Brennstoffzellensystems und endet mit dem Erreichen der Betriebstemperatur, ab welcher der Fahrzeugbetrieb des Kraftfahrzeuges vom Fahrzeug bzw. einer Steuerung zugelassen wird. Besonders bevorzugt wird die Aufwärmphase der Brennstoffzelle bereits vor der Betätigung des Zündschlüssels bzw. des Starterknopfs aktiviert. Beispielsweise kann die Aufwärmphase durch ein Funksignal oder durch eine Zeitschaltuhr initiiert werden. In einer Ausgestaltung kann der Fahrzeugführer bspw. über eine entsprechende Software eines Mobiltelefons die Aufwärmung des Brennstoffzellensystems starten. Alternativ kann die Aufwärmphase mit dem Signal zum Entriegeln der Zentralverriegelung beginnen. Besonders bevorzugt kann eine erste Zeitspanne eine Kalt- oder Froststartphase der Brennstoffzelle sein. Beim Betrieb von Brennstoffzellen ist insbesondere der Kaltstart (Start bei einer Umgebungstemperatur von 0°C bis 25°C) sowie der Froststart (Start bei einer Umgebungstemperatur unter 0°C) problembehaftet. Aus diesem Grund besteht ein Bedürfnis, das Brennstoffzellensystem möglichst schnell auf eine Betriebstemperatur zu bringen, bei der das System einen besseren Wirkungsgrad aufweist. Gemäß der hier offenbarten Technologie wird während einer zweiten Zeitspanne das abzulassende Anodenabgas zumindest teilweise der Kathodenabgas beigemischt. Das Kathodenabgas ist dabei das Gas, das die Kathode verlässt. Bevorzugt ist die zweite Zeitspanne eine sich an die Aufwärmphase der Brennstoffzelle anschließende Betriebsphase der Brennstoffzelle. Die Betriebsphase tritt ein, nachdem die Brennstoffzelle ihre Betriebstemperatur erreicht hat. Die Betriebstemperatur kann bspw. ein zu-

vor festgelegter Temperaturwert sein. Bevorzugt wird das Anodenabgas ausschließlich der Kathode zugeführt, wenn der Massenstrom an Luft, der der Kathode zu und/oder aus dieser abgeführt wird, unterhalb von einem Grenzwert liegt. Insbesondere kann der Grenzwert für den Massenstrom an Luft so gewählt sein, dass es zu keiner kritischen Wasserstoffkonzentration im Kathodenabgas kommt. Ferner bevorzugt wird das Anodenabgas ausschließlich der Kathode zugeführt, wenn die Wasserstoffkonzentration in zumindest einem Teilbereich des Kathodenabgases oberhalb von einem Wasserstoff-Grenzwert liegt. Anstatt den Massenstrom zu messen, könnte also auch direkt die Wasserstoffkonzentration im Kathodenabgas herangezogen werden. Mitunter kann also auch durch andere Parameter als die Brennstoffzellentemperatur festgelegt werden, ob das abzulassende Anodenabgas der Kathode (erste Zeitspanne) oder dem Kathodenabgas (zweite Zeitspanne) zugeführt wird.

[0010] Bevorzugt kann Wasser, das im Anodenabgas enthalten ist, aus dem Anodenabgas abgeschieden werden (Drain, Entwässerung). Bevorzugt wird das Wasser dem Kathodenabgas beigemischt. Besonders bevorzugt wird Flüssigwasser während des Aufwärmens der Brennstoffzelle dem Kathodenabgas zugemischt. Somit kann vorteilhaft die Gefahr verringert werden, dass sich Flüssigwasser im Brennstoffzellen-Stack ansammelt und eine gleichmäßige Luftversorgung über alle Zellen stört. Ferner kann vorgesehen sein, dass bei höheren Betriebstemperaturen (> 80°C) das Flüssigwasser der Anodenseite zur Befeuchtung der Kathodenzuluft eingesetzt wird.

[0011] Die hier offenbarte Technologie umfasst ferner ein Brennstoffzellensystem mit mindestens einer Brennstoffzelle. Auf der Anodenseite des Brennstoffzellensystems ist mindestens ein Schaltmittel vorgesehen. Das Schaltmittel ist ausgebildet, während einer ersten Zeitspanne ein abzulassendes Anodenabgas der Brennstoffzelle zumindest zeitweise ausschließlich einer Kathode der Brennstoffzelle zuzuführen, und während einer zweiten Zeitspanne das abzulassende Anodenabgas zumindest teilweise dem Kathodenabgas beizumischen. Die Anodenseite, auch Anodensubsystem genannt, ist dabei der Anodenfluidstromkreis, der unter anderem die zum Anodeneinlass führende Anodenzuleitung, die vom Anodenauslass wegführende Anodenableitung und die Rezirkulationsleitung umfasst.

[0012] Die hier offenbarte Technologie umfasst ferner ein Verfahren zum Betreiben von mindestens einer Brennstoffzelle, wonach ein aus einem Anodensubsystem abzulassendes Anodenabgas und aus dem Anodensubsystem abzuschheidendes Wasser getrennt, insbesondere zeitlich versetzt, dem Anodensubsystem entnommen werden. Zweckmäßig wird zunächst das Wasser abgelassen und dann das

Anodenabgas. Eine andere Reihenfolge wäre aber auch denkbar. Vorteilhaft wird das Anodenabgas der Kathodenzuluft und/oder dem Kathodenabgas zugeführt. Ferner kann das Wasser zur Befeuchtung in die Kathodenzuluft eingespritzt werden.

[0013] Das Verfahren kann den Schritt umfassen, wonach das Wasser und/oder das Anodenabgas stromauf von einem Wärmetauscher in die Kathodenzuluft eingespritzt werden. Dabei kann die erhöhte Lufttemperatur der verdichteten Luft (z. B. bis zu 200°C) dazu genutzt werden, das eingespritzte Wasser zu verdampfen. Das Einspritzen von Wasser erhöht die für die Verdunstung vorhandene Oberfläche und verbessert ebenfalls die Verdunstung. Bevorzugt wird das Wasser benachbart zum Oxidationsmittelförderer eingespritzt. Hier ist die Temperatur der Kathodenzuluft am höchsten.

[0014] Das Verfahren kann den Schritt umfassen, wonach das Wasser und/oder das Anodenabgas mittels einer Strahlpumpe in die Kathodenzuluft eingespritzt werden. Bevorzugt ist die mindestens eine Wassereinspritzvorrichtung also als Strahlpumpe ausgebildet. Strahlpumpen als solche sind bekannt. Sie stellen im Wesentlichen ein gedrehtes Prandl-Staurohr dar, welches bspw. nach dem Venturi-Effekt Wasser selbst ansaugen kann. Solche Strahlpumpen werden auch als Ejektoren oder als Jet-Pumpen bezeichnet. Als Treibmedium kann hier das an der Strahlpumpe vorbeiströmende Oxidationsmittel dienen, welches zweckmäßig bewirkt, dass die Strahlpumpe Wasser und/oder Anodenabgas ansaugt. Eine solche Ausgestaltung ist besonders vorteilhaft, da die Strahlpumpe so ausgestaltet sein kann, dass sie ohne externe (z. B. elektrische oder pneumatische) Energie auskommt.

[0015] Sie ist besonders kostengünstig und robust und nimmt überdies nur wenig Bauraum in Anspruch.

[0016] Das Verfahren kann den Schritt umfassen, wonach das abzulassende Anodenabgas und das abzuscheidende Wasser durch einen Wasserabscheider entnommen werden. Dies hat den Vorteil, dass im Rezirkulationskreis lediglich eine Komponente zum Spülen und Entwässern verbaut ist.

[0017] Das Verfahren kann den Schritt umfassen, wonach das abgeschiedene Wasser (nachstehend ist vereinfachend lediglich der Begriff „Wasser“ angeführt) in einer Entwässerungsleitung stromab vom Wasserabscheider geführt wird. Ferner kann ein Wasseraufnahmebehälter das Wasser speichern, der fluidisch mit der Entwässerungsleitung verbunden ist. Das gespeicherte Wasser kann dann zur Befeuchtung in die Kathodenzuluft eingespritzt werden.

[0018] Das Verfahren kann den Schritt umfassen, wonach der Wasserabscheider und der Wasserauf-

nahmebehälter und gegebenenfalls auch etwaige Verbindungsleitungen so angeordnet sind, dass das Wasser durch Schwerkraft in den Wasseraufnahmebehälter strömt bzw. strömen kann.

[0019] Das Verfahren kann den Schritt umfassen, wonach, insbesondere stromab des Wasserabscheiders, mindestens ein Schaltmittel vorgesehen ist, welches den Durchfluss von Wasser oder Anodenabgas verändert, beispielsweise den Durchfluss durch verschiedene Leitungen stromab vom Wasserabscheider.

[0020] Das Verfahren kann den Schritt umfassen, wonach das mindestens eine Schaltmittel mehrere Ventile umfasst, die in verschiedenen Leitungen angeordnet sein können. Das Anodenabgas kann vom Wasser getrennt werden durch das Aktuieren der Ventile und/oder mittels Schwerkraft aufgrund der Anordnung der Leitungen.

[0021] Das mindestens eine Schaltmittel kann mindestens ein Entwässerungsventil oder Drain-Ventil umfassen. Das Verfahren kann den Schritt umfassen, wonach das Drain-Ventil stromab vom Wasseraufnahmebehälter und benachbart zum Ort der Wassereinspritzung die Zufuhr an Wasser zum Einspritzen verändert. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass durch das Ventil das Einspritzen besonders gut geregelt/gesteuert werden kann. Die Funktionen Wassereinspritzen und Entwässern des Anodensubsystems sind hier getrennt und mit nur einem Drain-Ventil realisiert, das auch als Einspritzventil bezeichnet werden könnte. Alternativ oder zusätzlich könne das bzw. ein weiteres Drain-Ventil stromauf des Wasseraufnahmebehälters vorgesehen sein. Beispielsweise, falls keine gravimetrische Trennung von Wasser und Anodenabgas vorgesehen ist.

[0022] Das Verfahren kann den Schritt umfassen, wonach das Wasser in das Kathodenabgas geleitet wird, wenn der Wasseraufnahmebehälter voll ist. Dies kann insbesondere während der Aufwärmphase vorgesehen sein, wenn die Kathodenzuluft noch vergleichsweise wenig Wasser aufnehmen kann. So könnte ein zu hoher Wassereintrag in die Kathode vermieden werden.

[0023] Die hier offenbarte Technologie wird nun anhand der Figuren erläutert. Es zeigen dabei die **Fig. 1** bis **Fig. 4** schematisch den Aufbau eines Brennstoffzellensystems zur Durchführung der hier beschriebenen Verfahren.

[0024] **Fig. 1** zeigt ein Brennstoffzellensystem gemäß der hier offenbarten Technologie. Das Brennstoffzellensystem umfasst hier mehrere Brennstoffzellen **100**, die zu einem Brennstoffzellenstapel zusammengeführt sind. Auf der Anodenseite ist ein Rezirkulationskreis **300** gezeigt. Als Brennstoff wird hier

Wasserstoff eingesetzt. Der Wasserstoff strömt durch eine Anodenzuleitung **310** in einen Anodeneinlass **134** der Anode der Brennstoffzelle **100** ein. In der Brennstoffzelle **100** finden die vorbekannten elektrochemischen Reaktionen statt, bevor das Gas die Anode bzw. den Anodenraum durch den Anodenausslass **132** wieder verlässt. Stromab des Anodenausslasses **132** ist in der Anodenableitung **312** ein Wasserabscheider **330** angeordnet, in dem der Wasseranteil vom Anodenabgas abgeschieden wird. Die Rezirkulationspumpe **320** fördert das Anodenabgas wieder in die Anodenzuleitung **310** (Rezirkulation). Anstatt einer Pumpe **320** könnte ebenfalls eine Venturidüse **320** vorgesehen sein.

[0025] Stromab des Wasserabscheiders **330** ist hier ein Schaltmittel **340**, **350** vorgesehen. Dieses Schaltmittel **340**, **350** umfasst hier zwei regel- bzw. steuerbare Ventile **340**, **350**. Das erste Schaltventil **340** öffnet und schließt eine erste Verbindungsleitung **342**, die stromauf der Kathode in die Kathodenzuluft **210** mündet. Das zweite Schaltventil **350** öffnet und schließt eine zweite Verbindungsleitung **352**, die stromab der Kathode im Kathodenabgas **250** mündet. Die erste Verbindungsleitung **242** mündet hier in die Kathodenzuleitung. Sie könnte aber ebenfalls direkt am Kathodeneinlass **122** münden. Ferner könnte die Mündung **344** auch stromauf des Wärmetauschers **230** oder des Oxidationsmittelförderers **220** der Kathodenzuluft in die Kathodenzuluft **210** münden. Die Mündung **354** der zweiten Verbindungsleitung **352** endet in der Kathodenableitung **212**. Während eines Purge-Vorgangs strömt das Anodenabgas zunächst durch die zweite Verbindungsleitung **352**, bevor es schließlich stromab der Kathode der Kathodenabluft beigemischt wird. Eine Vorrichtung zur Beimischung ist beispielsweise in der DE 10 2013 218 958 A1 offenbart, die hiermit durch Bezug hier mit aufgenommen wird. Nicht dargestellt ist die Steuerung, die das Brennstoffzellensystem, insbesondere das erste und zweite Schaltmittel **340**, **350**, steuert. In der Kathodenabgasleitung kann ferner eine Vorrichtung zum Vermischen von Kathodenabgas und Anodenabgas vorgesehen sein. Das Gemisch **410** aus Kathodenabgas und Anodenabgas wird danach durch eine geeignete Abgasanlage in die Umgebung freigesetzt. Ferner nicht gezeigt sind eventuell vorgesehene Sensoren zur Bestimmung etwaiger Regelgrößen wie Temperatur, Luftmasse, und/oder Wasserstoffkonzentration.

[0026] Zweckmäßig kann während der Aufwärmphase (aber auch während der Betriebsphase) der Brennstoffzelle **100** die Wasserstoffkonzentration im Kathodenabgas oder der Luftmassenstrom gemessen werden. Steigt die Wasserstoffkonzentration über einen Grenzwert oder sinkt der Luftmassenstrom unter einen Grenzwert, so könnte das erste Schaltventil **340** geöffnet und das zweite Schaltventil **350** geschlossen werden. Das Anodenabgas strömt

dann durch die erste Verbindungsleitung **342** und fließt an der Mündung **344** in die Kathodenzuleitung. Der Wasserstoff reagiert an den katalytischen Oberflächen der Kathode. Die Wasserstoffkonzentration in der Kathodenabluft kann somit reduziert werden.

[0027] Bei der Reaktion an den Oberflächen der Kathode wird Wärme freigesetzt, die dazu beiträgt, dass die Brennstoffzelle schnell ihre Betriebstemperatur erreicht. Bevorzugt wird während einer Aufwärmphase der Brennstoffzelle **100** ca. 5% bis ca. 30%, und besonders bevorzugt ca. 10% bis ca. 20% des maximalen Wasserstoffmassenstroms, der unter Volllast der Brennstoffzelle anfällt, durch die erste Verbindungsleitung **342** abgelassen. Bei normalen Purge-Vorgängen wird i. d. R. lediglich max. 1% des max. Wasserstoffmassenstroms abgelassen. Hier könnte indes zur gezielten Erwärmung der Brennstoffzelle die Menge an Wasserstoff aktiv erhöht werden. Bevorzugt kann die Menge an abgelassenen Wasserstoff derart erhöht werden, bis im Kathodenabgas ein Wasserstoff-Grenzwert erreicht ist. Dieser Grenzwert kann voreingestellt sein. Dieser Grenzwert könnte beispielsweise je nach Abstellort (im Freien, in der Garage) variieren. Somit kann ein besonders effizientes Aufwärmen der Brennstoffzelle gewährleistet werden, ohne dass Abgase mit einer zu hohen Wasserstoff-Konzentration in die Umgebung abgelassen werden.

[0028] Nach Abschluss der Aufwärmphase wird die Brennstoffzelle im „normalen“ Betriebsmodus betrieben. Das erste Schaltventil **340** kann dazu geschlossen und das zweite Schaltventil **350** kann dazu geöffnet sein. Der Brennstoff gelangt dann also nicht in die Kathode, sondern direkt in das Kathodenabgas **250**. Dies hat den Vorteil, dass im Anodenabgas enthaltener Wasserstoff nicht auf der Kathodenseite der Brennstoffzelle reagiert und die Brennstoffzelle **100** zusätzlich erhitzt. Es kann aber auch beim normalen Betrieb der Brennstoffzelle in manchen Lastpunkten sinnvoll sein, ein Teil des Anodenabgases über das erste Schaltventil **340** stromauf der Kathode einzubringen. Vorteilhaft werden das erste und zweite Ventil **340**, **350** derart angesteuert, dass im Wasserabscheider **330** angesammeltes Flüssigwasser durch die zweite Verbindungsleitung **352** direkt in die Kathodenableitung **212** abgelassen wird. Somit wird vorteilhaft vermieden, dass zu viel Flüssigwasser in die Kathode eindringt.

[0029] Die hier dargestellte Lösung ist insbesondere geeignet, selektiv über die erste Verbindungsleitung **342** das Anodenabgas stromauf der Kathode abzulassen und zudem über die zweite Verbindungsleitung **352** Anodenabgas in einen Bereich stromab der Kathode abzulassen.

[0030] Die hier vorgeschlagene Systemkonfiguration sieht also zwei Anodenentlüftungsventile **340**, **350**

vor. Entlüftungsventil **340** führt das Anodengasgemisch zum Kathodeneinlass **122** der Brennstoffzelle **100**. Dieses Ventil **340** wird während der Startvorgänge des Systems verwendet, da hierbei oftmals die Frischluftmenge begrenzt ist. Der Wasserstoff aus dem Entlüftungsvorgang wird dabei in der Brennstoffzelle **100** umgesetzt und wird nicht im Abgas verdünnt, um in die Umwelt entlassen zu werden. Liegt ein ausreichend hoher Luftversorgungs-massenstrom und damit ein ausreichend hoher Abgasmassenstrom an, kann auch die Anodenentlüftung über Ventil **350** zur Verdünnung des Wasserstoffgases in das Abgas **250** vorgenommen werden.

[0031] Fig. 2 zeigt ein weiteres Brennstoffzellensystem gemäß der hier offenbarten Technologie. Im Folgenden werden die mit der vorherigen Figur gleichen Komponenten und Merkmale bei der Diskussion der nachstehenden Figur nicht weiter erläutert. Stattdessen wird mehr auf die unterschiedlichen oder zusätzlichen Komponenten und Merkmale eingegangen.

[0032] Im Anodensubsystem ist hier eine Strahlpumpe vorgesehen, die das rezirkulierte Anodenabgas in die Anodenzuleitung **310** einbringt. Die Anodenabgasleitung **312** ist mit einem Wasserabscheider **330** verbunden. Der Wasserabscheider **330** scheidet das Flüssigwasser aus dem Anodenabgas ab. Unterhalb des Wasserabscheiders **330** ist hier eine Verbindungsleitung **332** vorgesehen, die sich in zwei Leitungen L_{purge} und L_{drain} aufgabelt. Die Leitung L_{purge} bzw. deren Abzweigstelle von der Verbindungsleitung **332** ist bevorzugt mit Bezug auf die Vertikalen in der Einbaulage höher angeordnet als die Leitung L_{drain} bzw. deren Abzweigstelle von der Verbindungsleitung **332**.

[0033] In der Purge-Leitung L_{purge} ist hier ein Schaltmittel **340, 350** angeordnet. Das Schaltmittel **340, 350** kann das Anodenabgas auf mindestens einen der drei Mündungsports Port 1, Port 2 und/oder Port 3 verteilen. Dies Verteilen kann durch ein Mehrwege-Ventile oder mehrere einzelne Ventile erfolgen. Port 1 und Port 2 sind stromauf der Kathode in der Kathodenzuluft **210** angeordnet.

[0034] Der Port 2 stellt eine Alternative zu Port 1 dar, wobei die Zumischung vor dem Wärmetauscher den Vorteil haben kann, eine vollständigere Vermischung des Anodenabgases mit der Kathodenzuluft zu erreichen. Port 3 indes ist stromab der Kathode in der Kathodenabluft **250** vorgesehen. Wie bei der Ausführung gemäß der Fig. 1 kann hier während der Aufwärmphase der Brennstoffzelle das Anodenabgas stromauf der Kathode eingebracht werden und während der Betriebsphase zumindest teilweise stromab der Kathode.

[0035] In der Kathodenzuluft **210** ist zwischen dem Oxidationsmittelförderer **220** und dem Ladeluft-Wärmetauscher **230** eine Einspritzvorrichtung **270** vor-

gesehen, die das Wasser aus dem Anodensubsystem einspritzt. Das Wasser kann dazu in einem Wasseraufnahmebehälter **370** gespeichert werden. Eine Pumpe **380** fördert hier das Wasser zur Einspritzvorrichtung **270**. Bevorzugt ist der Wasseraufnahmebehälter **370** in der Einbaulage des Brennstoffzellensystems unterhalb des Wasserabscheiders **330** angeordnet und bevorzugt siphonfrei mit dem Wasserabscheider **330** verbunden. Andere Einbaulagen sind jedoch auch denkbar. In der Drain-Leitung L_{drain} ist stromauf vom Wasseraufnahmebehälter **370** ein Drain-Ventil **360** angeordnet. Ferner ist in Purge-Ventil **340, 350** in der Purge-Leitung L_{purge} vorgesehen. Zum Entwässern des Anodensubsystems **300** wird das Drain-Ventil **360** geöffnet. Das Wasser fließt dann in den Wasseraufnahmebehälter **370**. Danach kann zum Ablassen des Anodenabgases das Purge-Ventil **340, 350** geöffnet werden. Das Anodenabgas strömt dann, je nach Schaltung des Purge-Ventils **340, 350** in mindestens einen der drei Ports 1, 2, 3.

[0036] In der hier gezeigten Systemkonfiguration sind zwei Ventile vorgesehen, die beide unterhalb des Anodenwasserabscheiders **330** angeordnet sind. Das erste Drain-Ventil **360** gibt allein den Flüssigwasseranteil aus dem Abscheider **330** in ein Wassersammelbehälter **370**, aus dem die Kathoden-Wassereinspritzung **270** versorgt wird. Das Anoden-Purge-Ventil **340, 350** wird erst geöffnet, wenn der Flüssiganteil abgeführt ist und entlässt das Anoden-Restgas (H_2 , N_2 , Wasserdampf) entweder auf die Kathoden-Eintrittsseite (Port 1 oder Port 2) oder auf die Kathoden-Abgasseite (Port 3). Vorteil dieser Systemverschaltung ist die mögliche Nutzung des abgeschiedenen Anodenwassers für eine Kathoden-Gasbefeuchtung sowie die nicht stattfindende Wasserstoff-Emission über das Kathodenabgas.

[0037] Fig. 3 zeigt einen ähnlichen Aufbau wie er in der Fig. 1 gezeigt ist. Das Drain-Ventil **360** ist hier stromab des Wasseraufnahmebehälters **370** angeordnet. Der Wasseraufnahmebehälter **370** ist hier in der Einbaulage des Brennstoffzellensystems unterhalb des Wasserabscheiders **330** angeordnet und kann bevorzugt siphonfrei mit dem Wasserabscheider **330** verbunden sein. Das abgeschiedene Wasser des Anodensubsystems kann hier also gravimetrisch in den Wasseraufnahmebehälter **370** strömen. Ein Drain-Ventil stromauf des Wasseraufnahmebehälters **370** ist hier nicht vorgesehen. Bevorzugt ist das Drain-Ventil **360** benachbart zur Einspritzvorrichtung **270** ausgebildet. Das Drain-Ventil kann hier besonders genau die Wassereinspritzmenge dosieren, die durch Einspritzung in die Kathodenzuluft **210** aus dem Anodensubsystem entnommen wird. Die Funktionen Einspritzen von Wasser und Purgen von Anodenabgas sind in dieser Ausgestaltung mit zwei Ventilen realisiert, die unabhängig voneinander operieren. Insbesondere kann hier fortwährend Wasser in den Zwischenspeicher strömen. Das leichte An-

odenabgas kann dann von Zeit zu Zeit durch Betätigung des Purge-Ventils abgelassen werden.

[0038] Die **Fig. 4** zeigt eine weitere Ausgestaltung des Brennstoffzellensystems. Hier ist als Einspritzvorrichtung eine Strahlpumpe **270** vorgesehen. Eine Verzweigung der Purge-Leitung L_{purge} mündet hier in einem Port 1 zwischen der Strahlpumpe **270** und dem Drain-Ventil **360**, das auch hier stromab vom Wasseraufnahmebehälter **370** vorgesehen ist. Die Strahlpumpe **270** kann hier das Wasser und/oder das Anodenabgas ansaugen. Je nach Schaltung der Ventile **340**, **350**, **360** saugt die Strahlpumpe Wasser und/oder Anodenabgas an. Auf eine Pumpe, die das Wasser aus dem Wasseraufnahmebehälter **370** zur Strahlpumpe **270** fördert, kann verzichtet werden. Somit können sich die Kosten, der benötigte Differenzdruck zwischen Anode und Kathode und der Bauraum verringern.

[0039] Die in Zusammenhang mit den Figuren offenbarten Merkmale sind auch untereinander kombinierbar. Beispielsweise ist die Strahlpumpe der **Fig. 4** auch in den Ausführungsbeispielen der **Fig. 2** und **Fig. 3** anwendbar. Ferner ist die im Zusammenhang mit der **Fig. 1** beschriebene Verschaltung während der Aufwärmphase auch auf die anderen Figuren anwendbar.

[0040] Die vorhergehende Beschreibung der vorliegenden Erfindung dient nur zu illustrativen Zwecken und nicht zum Zwecke der Beschränkung der Erfindung. Im Rahmen der Erfindung sind verschiedene Änderungen und Modifikationen möglich, ohne den Umfang der Erfindung sowie ihrer Äquivalente zu ver-lassen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102004055158 A1 [0004]
- DE 10115336 A1 [0004]
- WO 2008/052578 A1 [0004]
- DE 102013218958 A1 [0025]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben von mindestens einer Brennstoffzelle (**100**),

- wobei ein aus einem Anodensubsystem abzulasendes Anodenabgas und aus dem Anodensubsystem abzuschheidendes Wasser getrennt dem Anodensubsystem (**300**) entnommen werden,
- wobei das Anodenabgas der Kathodenzuluft (**210**) und/oder dem Kathodenabgas (**250**) zugeführt wird, und
- wobei das Wasser zur Befeuchtung in die Kathodenzuluft (**210**) eingespritzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Wasser und/oder das Anodenabgas stromauf von einem Wärmetauscher (**230**) in die Kathodenzuluft (**210**) eingespritzt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Wasser und/oder das Anodenabgas mittels einer Strahlpumpe (**270**) in die Kathodenzuluft (**210**) eingespritzt werden.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das abzulassende Anodenabgas und das abzuschheidende Wasser durch einem Wasserabscheider (**330**) entnommen werden.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Wasser in einer Entwässerungsleitung (L_{drain}) geführt wird, und wobei ein Wasseraufnahmebehälter (**370**) in der Entwässerungsleitung (L_{drain}) das Wasser speichert, bevor das Wasser zur Befeuchtung in die Kathodenzuluft (**210**) eingespritzt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der Wasserabscheider (**330**) und der Wasseraufnahmebehälter (**370**) so angeordnet sind, dass das Wasser durch Schwerkraft in den Wasseraufnahmebehälter (**370**) strömt.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, mindestens ein Schaltmittel (**340, 350, 360**) vorgesehen ist, welches den Durchfluss von Wasser oder Anodenabgas verändert.

8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das mindestens eine Schaltmittel (**340, 350, 360**) mehrere Ventile (**340, 350, 360**) umfasst, die in verschiedenen Leitungen ($L_{\text{purge}}, L_{\text{drain}}$) angeordnet sind, wobei das Anodenabgas vom Wasser getrennt wird durch das Aktuieren der Ventile und/oder mittels Schwerkraft aufgrund der Anordnung der Leitungen ($L_{\text{purge}}, L_{\text{drain}}$).

9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das mindestens eine Schaltmittel (**340, 350, 360**) mindestens ein Drain-Ventil (**360**) umfasst,

wobei das Drain-Ventil (**360**) stromab vom Wasseraufnahmebehälter (**370**) und benachbart zum Ort der Wassereinspritzung die Zufuhr an Wasser zum Einspritzen verändert.

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei während einer Aufwärmphase der Brennstoffzelle das Anodenabgas der Brennstoffzelle (**100**) zumindest zeitweise ausschließlich der Kathodenzuluft (**210**) und/oder der Kathode der Brennstoffzelle (**100**) zugeführt wird.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

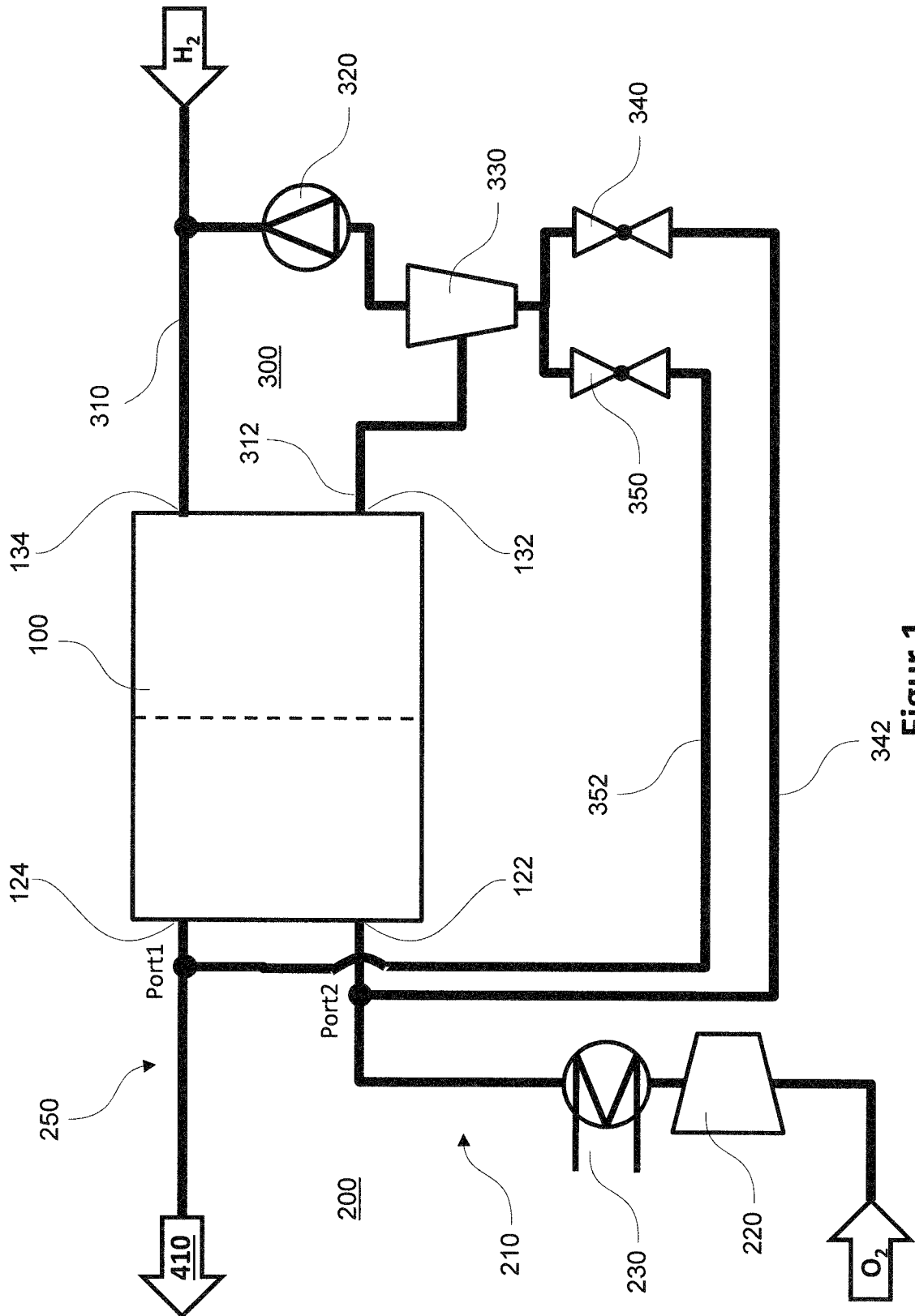


Figure 1

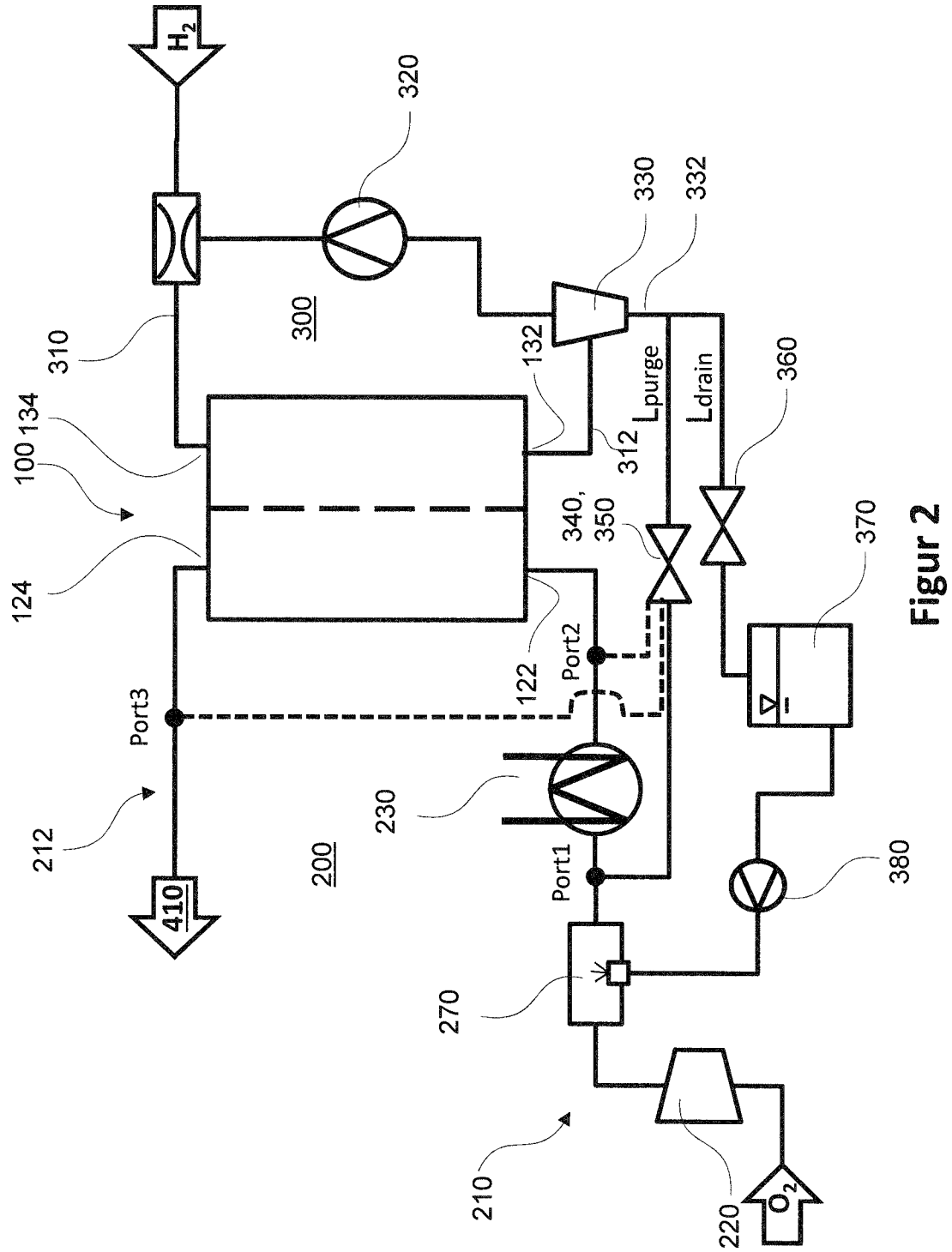
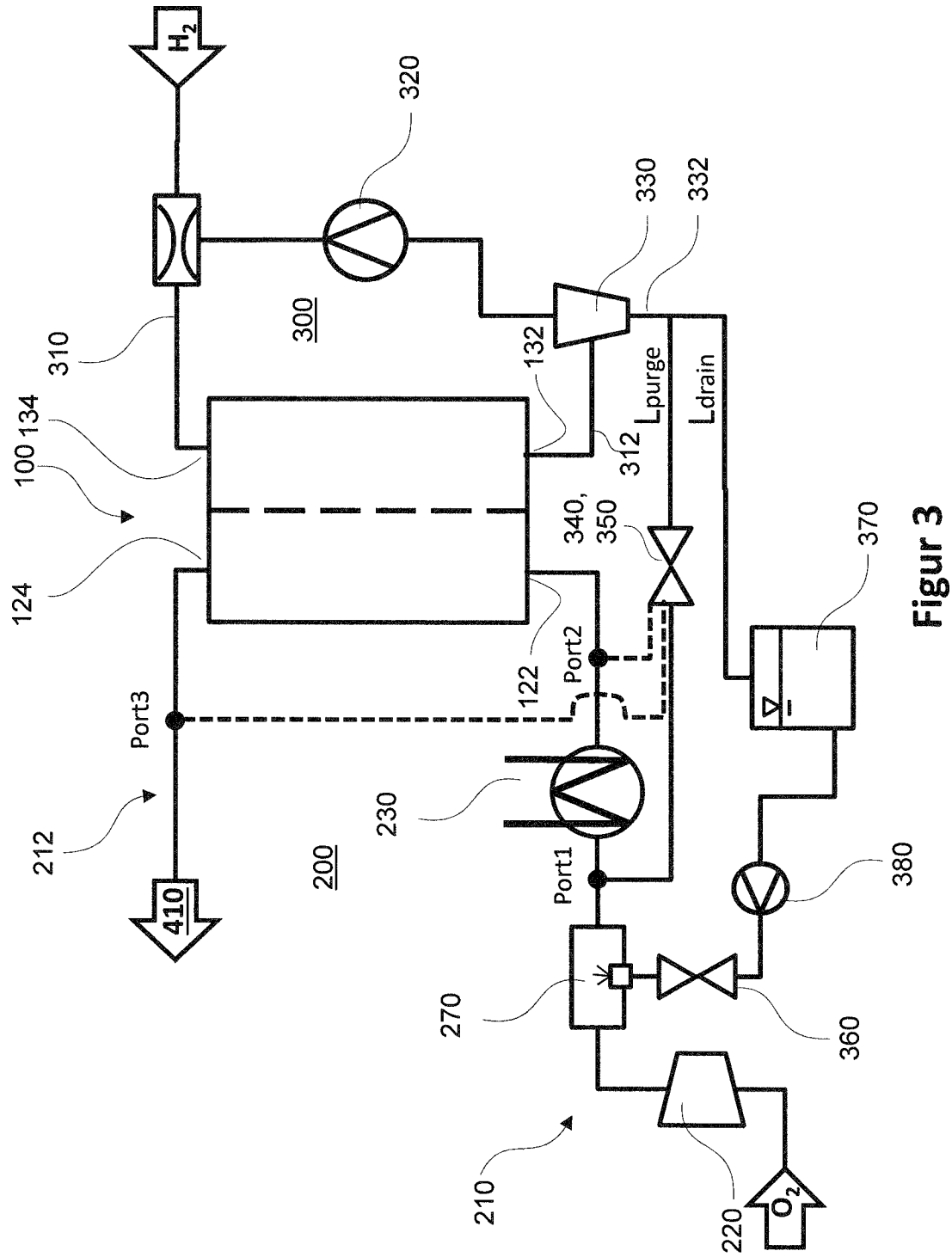


Figure 2



Figur 3

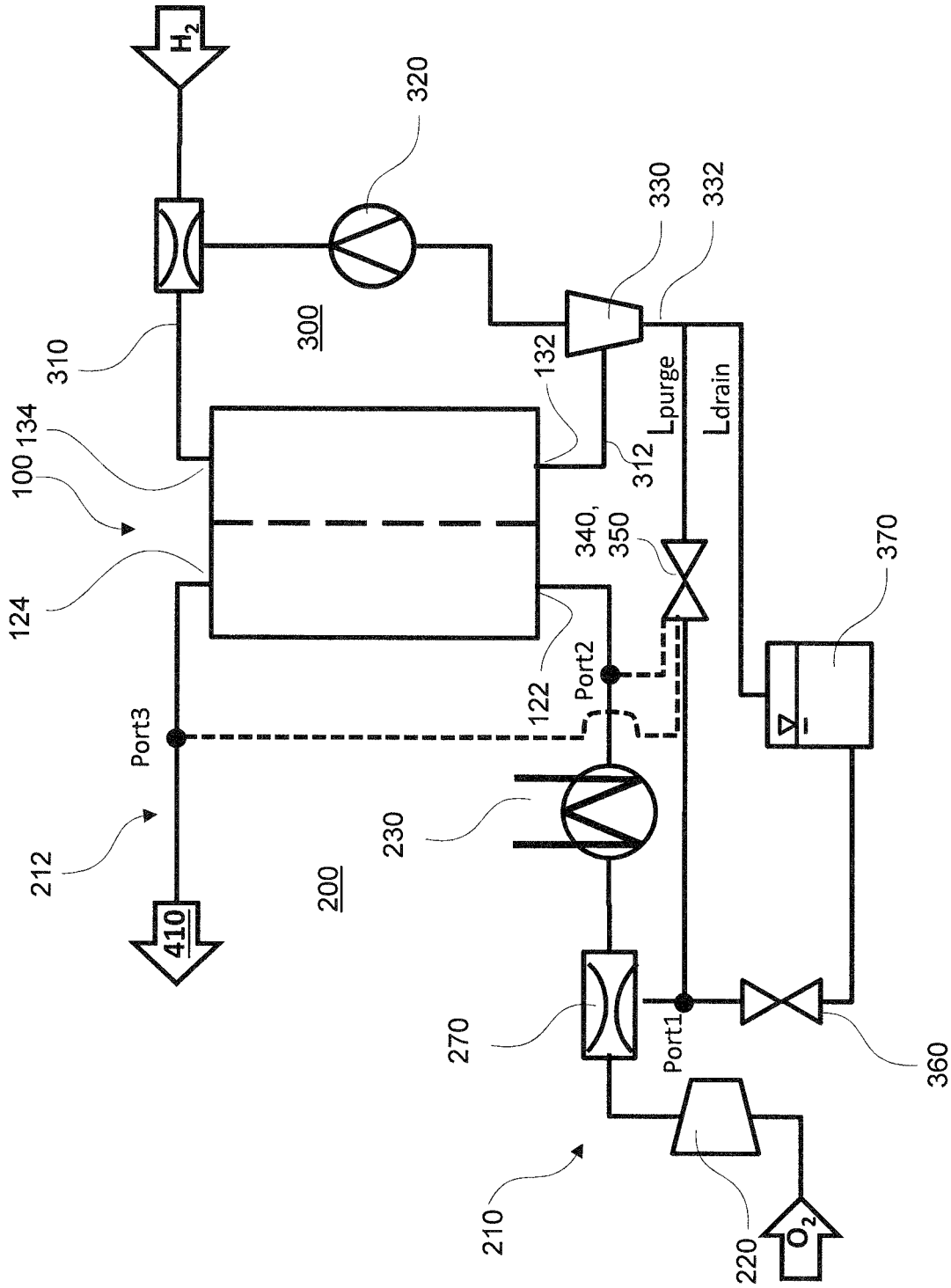


Figure 4