(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. Februar 2024 (15.02.2024)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/031114 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01M 8/04014 (2016.01) *H01M 8/04119* (2016.01)
H01M 8/04089 (2016.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2023/060264

(22) Internationales Anmeldedatum:
08. August 2023 (08.08.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 50611/2022 09. August 2022 (09.08.2022) AT

(71) Anmelder: **AVL LIST GMBH** [AT/AT]; Hans-List-Platz 1, 8020 Graz (AT).

(72) Erfinder: **NEUBAUER, Raphael**; Peterstalstraße 16b/15, 8042 Graz (AT). **PANDYA, Bhargav**; Karl-Morre-Strasse 61, 8020 Graz (AT). **GOLL, Markus**; Franckstraße 14, 8010 Graz (AT).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) **Title:** FUEL CELL SYSTEM FOR GENERATING ELECTRIC ENERGY

(54) **Bezeichnung:** BRENNSTOFFZELLENSYSTEM ZUR ERZEUGUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

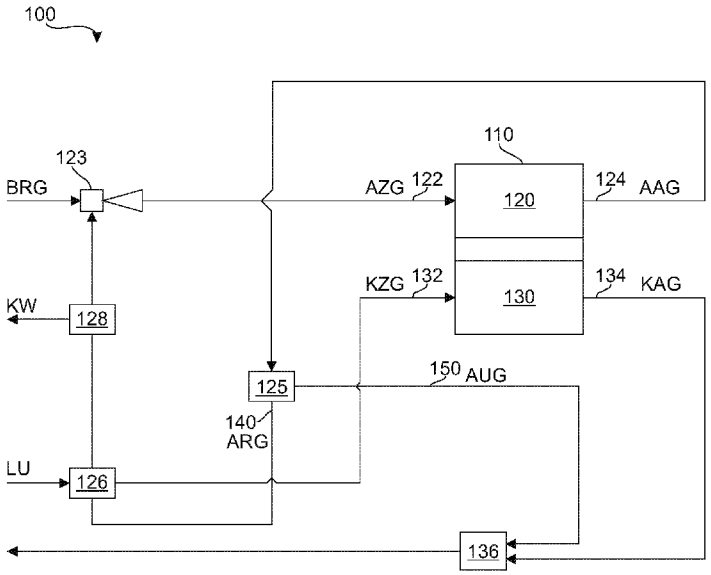


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a fuel cell system (100) for generating electric energy, having a fuel cell stack (110) comprising an anode section (120) and a cathode section (130). The anode section (120) has an anode supply section (122) for supplying an anode supply gas (AZG) and an anode discharge section (124) for discharging an anode exhaust gas (AAG), and the cathode section (130) has a cathode supply section (132) for supplying a cathode supply gas (KZG) and a cathode discharge section (134) for discharging a cathode exhaust gas (KAG). The anode discharge section (124) has a dividing section (125) for dividing the anode exhaust gas (AAG) into an anode recirculation section (140) for recirculating the anode exhaust gas as an anode recirculation gas (ARG) and an anode discharge section (150) for discharging the anode exhaust gas into the surrounding area as an anode discharge gas (AUG). A condenser

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2024/031114 A1

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

— *in Schwarz-Weiss; die internationale Anmeldung enthielt in ihrer eingereichten Fassung Farbe oder Graustufen und kann von PATENTSCOPE heruntergeladen werden.*

device (126) is arranged in the anode discharge section (124) or in the anode recirculation section (140), thereby contacting the cathode supply section (132) so as to transfer heat, in order to cool the anode exhaust gas (AAG) or the anode recirculation gas (ARG) by heating the cathode supply gas (KZG), and a water outlet (128) is arranged downstream of the condenser device (126) in order to discharge the water (KW) which is condensed in the condenser device (126), wherein a mixing section (123) is arranged downstream of the water outlet (128) in order to mix the anode recirculation gas (ARG) with combustible gas (BRG) and in order to supply same to the anode supply section (122) as an anode supply gas (AZG).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem (100) zur Erzeugung elektrischer Energie, aufweisend einen Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Anodenabschnitt (120) und einem Kathodenabschnitt (130), der Anodenabschnitt (120) aufweisend einen Anodenzuführabschnitt (122) für ein Zuführen von Anodenzuführgas (AZG) und einen Anodenabführabschnitt (124) zum Abführen von Anodenabgas (AAG), der Kathodenabschnitt (130) aufweisend einen Kathodenzuführabschnitt (132) zum Zuführen von Kathodenzuführgas (KZG) und einen Kathodenabführabschnitt (134) zum Abführen von Kathodenabgas (KAG), wobei der Anodenabführabschnitt (124) einen Aufteilabschnitt (125) aufweist für eine Aufteilen des Anodenabgases (AAG) auf einen Anoden-Rezirkulationsabschnitt (140) zur Rezirkulation als Anoden-Rezirkulationsgas (ARG) und einen Anoden-Auslassabschnitt (150) zum Auslass an die Umgebung als Anodenauslassgas (AUG), wobei im Anodenabführabschnitt (124) oder im Anoden-Rezirkulationsabschnitt (140) eine Kondensatorvorrichtung (126) in wärmeübertragendem Kontakt mit dem Kathodenzuführabschnitt (132) angeordnet ist für ein Kühlen des Anodenabgases (AAG) oder des Anoden-Rezirkulationsgases (ARG) durch ein Aufheizen des Kathodenzuführgases (KZG), wobei stromabwärts der Kondensatorvorrichtung (126) ein Wasserauslass (128) für einen Auslass des in der Kondensatorvorrichtung (126) kondensierten Kondenswassers (KW) angeordnet ist, wobei stromabwärts des Wasserauslasses (128) ein Mischabschnitt (123) angeordnet ist für ein Vermischen des Anoden-Rezirkulationsgases (ARG) mit Brenngas (BRG) und für eine Zufuhr als Anodenzuführgas (AZG) in den Anodenzuführabschnitt (122).

Brennstoffzellensystem zur Erzeugung elektrischer Energie

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem zur Erzeugung elektrischer Energie und ein Verfahren zur Rezirkulation von Anodenabgas in einem solchen Brennstoffzellensystem.

Es ist bekannt, dass Brennstoffzellensysteme für die Erzeugung elektrischer Energie eingesetzt werden. Hierfür sind diese Brennstoffzellensysteme üblicherweise mit Brennstoffzellenstapeln ausgestattet, in welchen eine Vielzahl einzelner Brennstoffzellen jeweils mit einem Anodenabschnitt und einem Kathodenabschnitt gestapelt angeordnet sind. Für die Erzeugung der elektrischen Energie wird Brenngas und üblicherweise Umgebungsluft dem Brennstoffzellenstapel zugeführt, sodass dort unter Erzeugung elektrischer Energie eine chemische Umsetzung dieser Gase stattfinden kann.

Als Brenngas wird bei bekannten Brennstoffzellensystemen üblicherweise entweder Wasserstoff oder Erdgas als Brenngas eingesetzt. Darüber hinaus ist es bekannt, dass ein Teil des Brenngases, welches bei der Umsetzung im Brennstoffzellenstapel nicht umgesetzt wird, als Rezirkulationsgas wieder dem Brennstoffzellenstapel für einen weiteren Durchlauf zugeführt wird, um die Effizienz in der Nutzung des Brenngases zu steigern.

Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass insbesondere bei der Verwendung von Wasserstoff als Brenngas die Rezirkulation die Effizienz im Betrieb reduzieren kann. Wird Wasserstoff einem Brennstoffzellenstapel zugeführt, so wird im Anodenabschnitt dieser Wasserstoff zu einer Mischung aus Wasser und einem verbleibenden Rest an Wasserstoff im Anodenabgas umgesetzt. Bei der Rezirkulation dieser Gasmischung kann es dazu kommen, dass durch das enthaltene Wasser die Nernstspannung deutlich absinkt. Das Absinken der Nernstspannung für den Brennstoffzellenstapel führt zu einer Reduktion der Effizienz, welche in üblicher Weise die Erhöhung der Effizienz durch die Rezirkulation ausgleicht. Mit anderen Worten führt beim Betrieb eines Brennstoffzellensystems mit Wasserstoff die Rezirkulation nicht oder nur in reduzierter Weise zu der gewünschten Steigerung der Effizienz.

Es ist zwar bereits grundsätzlich bekannt, dass bei der Rezirkulation ein Abkühlen des Anodenabgases zur Kondensation eines Teils des enthaltenen Wassers und zur

Abtrennung dieses Kondenswassers verwendet werden kann, jedoch sind diese Konstruktionen sehr komplex und aufwendig. Insbesondere beruhen sie darauf, dass ein externer Kühlkreislauf eingesetzt werden muss, welcher mit einer externen Wärmesenke in der Lage ist, Kühlmittel zur Rezirkulationsleitung zu führen, um eine Kodensation des dampfförmigen Wassers im Anodenabgas zu bewirken. Das Hinzufügen eines zusätzlichen Kühlkreislaufes und der entsprechenden Peripherie führt zu einer unerwünschten Steigerung der Komplexität und der Kosten für ein Brennstoffzellensystem.

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 auch beim Betrieb mit Wasserstoff in einem Brennstoffzellensystem Kondenswasser abzuführen.

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

Erfindungsgemäß wird ein Brennstoffzellensystem zur Erzeugung elektrischer Energie vorgeschlagen. Dieses weist einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und einem Kathodenabschnitt auf. Der Anodenabschnitt ist mit einem Anodenzuführabschnitt für ein Zuführen von Anodenzuführgas und mit einem Anodenabführabschnitt zum Abführen von Anodenabgas ausgestattet. In gleicher Weise ist der Kathodenabschnitt mit einem Kathodenzuführabschnitt zum Zuführen von Kathodenzuführgas und mit einem Kathodenabführabschnitt zum Abführen von Kathodenabgas ausgestattet. Im Anodenabführabschnitt ist ein Aufteilabschnitt vorgesehen, welcher ein Aufteilen des Anodenabgases auf einen Anoden-Rezirkulationsabschnitt zur Rezirkulation als Anoden-Rezirkulationsgas und auf einen Anoden-Auslassabschnitt zum Auslass an die Umgebung als Anodenauslassgas erlaubt. Ein

erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem zeichnet sich dadurch aus, dass im Anodenabführabschnitt oder im Anoden-Rezirkulationsabschnitt eine Kondensatorvorrichtung in wärmeübertragendem Kontakt mit dem Kathodenzuführabschnitt angeordnet ist. Dies dient einem Kühlen des Anodenabgases oder des Anoden-Rezirkulationsgases durch ein Aufheizen des Kathodenzuführgases. Stromabwärts dieser Kondensatorvorrichtung ist ein Wasserauslass vorgesehen, für einen Auslass des in der Kondensatorvorrichtung kondensierten Kondenswassers. Weiter stromabwärts des Wasserauslasses ist ein Mischabschnitt, angeordnet für ein Vermischen des Anoden-Rezirkulationsgases mit dem Brenngas und für eine Zufuhr als Anodenzuführgas in den Anodenzuführabschnitt.

Der erfindungsgemäße Kerngedanke beruht darauf, eine Rezirkulation von Anodenabgas zu gewährleisten. Diese Rezirkulation findet in aufgeteilter Weise statt, sodass mithilfe des Aufteilabschnitts ein Teil des Anodenabgases als Anoden-Rezirkulationsgas rezirkuliert wird. Der verbleibende Rest an Anodenabgas wird als Anodenauslassgas in die Umgebung abgeführt. Für dieses Anodenauslassgas kann, wie dies später noch erläutert wird, auch eine Nachbehandlung stattfinden. Insbesondere erfolgt eine Kombination des Anodenauslassgases mit dem Kathodenabgas.

Die Rezirkulation des Anoden-Rezirkulationsgases erfolgt in getrockneter Weise, nämlich durch Führung über eine Kondensatorvorrichtung. In dieser Kondensatorvorrichtung wird die Temperatur des Anodenabgases oder des Anoden-Rezirkulationsgases unter die Siedetemperatur von Wasser, also je nach Drucksituation und je nach einem von der Zusammensetzung des Gases abhängigen Partialdruck unter ca. 100 °C, gebracht. Dies führt dazu, dass der enthaltene Wasserdampf im Anoden-Rezirkulationsgas auskondensiert und als flüssiges Kondenswasser vorliegt. Hier ist darauf hinzuweisen, dass je nach Positionierung des Aufteilabschnitts die Kondensatorvorrichtung sowohl noch vor diesem Aufteilabschnitt im Anodenabführabschnitt, aber auch nach diesem Aufteilabschnitt, im Anoden-Rezirkulationsabschnitt angeordnet sein kann. In beiden Fällen sind die erfindungsgemäßen Vorteile erzielbar.

Stromabwärts der Kondensatorvorrichtung ist ein Separator als Wasserauslass vorgesehen, in welchem die kondensierten Bestandteile und damit das Kondenswasser von den gasförmigen Bestandteilen des Anoden-Rezirkulationsgases abgetrennt werden. Damit kann das flüssige Kondenswasser aus dem System ausgebracht und

zum Beispiel an die Umgebung abgegeben werden. Das verbleibende Anoden-Rezirkulationsgas kann auch als getrocknetes Anoden-Rezirkulationsgas bezeichnet werden und entsprechend in dieser getrockneten Situation einem Mischabschnitt zugeführt werden. In diesem Mischabschnitt, welcher zum Beispiel als Ejektorvorrichtung, als Mischkammer oder in ähnlicher Weise ausgebildet sein kann, erfolgt eine Vermischung des Anoden-Rezirkulationsgases mit einem zugeführten Brenngas von einer Brenngasquelle. Je nachdem, wieviel Anoden-Rezirkulationsgas zur Verfügung steht, kann entsprechend die notwendige Restmenge an Brenngas zugemischt werden. Das Mischgas aus Brenngas und Anoden-Rezirkulationsgas wird dann als Anodenzuführgas wieder dem Anodenabschnitt des Brennstoffzellenstapels zugeführt.

Der erfindungsgemäße Kerngedanke beruht nun unter anderem darauf, dass für das Kondensieren des Kondenswassers im Anoden-Rezirkulationsgas oder im Anodenabgas keine externe Kältequelle und auch kein separater externer Kältekreislauf notwendig ist. Vielmehr ist die Kondensatorvorrichtung in erfindungsgemäßer Weise in wärmeübertragenden Kontakt mit dem Kathodenzuführabschnitt ausgebildet. Da ein solches Brennstoffzellensystem mit Luft als Kathodenzuführgas für den Kathodenabschnitt betrieben wird, wird demnach Luft aus der Umgebung angesaugt. Dieses Ansaugen kann zum Beispiel mit einer Gebläsevorrichtung erfolgen. Die angesaugte Luft hat entsprechend Umgebungstemperatur, welche je nach Temperatursituation im Bereich von -20 °C bis zu 50 °C oder sogar mehr betragen kann. Entscheidend ist dabei, dass auch bei sehr heißen Einsatzsituationen, zum Beispiel in Wüstengebieten, trotzdem die Umgebungsluft nicht die Siedetemperatur von Wasser, üblicherweise 100 °C, überschreitet. Mit anderen Worten reicht auch bei einer heißen Umgebungstemperatur die zugeführte Umgebungsluft als Wärmesenke aus, um als kälteste, verfügbare Temperatur eine Kühlleistung für das Anodenabgas oder das Anoden-Rezirkulationsgas zur Verfügung zu stellen, welche ein Abkühlen unter die Kondensationstemperatur von Wasser erlaubt. Wie aus der voranstehenden Erläuterung ersichtlich wird, wird nun alleine durch die Zuführung von Luft aus der Umgebung als Kathodenzuführgas sozusagen als Sekundärfunktionalität eine Kältequelle zur Verfügung gestellt, welche auch als Wärmesenke bezeichnet werden kann. Diese Wärmesenke dient dazu, in der Kondensatorvorrichtung dem rezirkulierten Anodenabgas als Anoden-Rezirkulationsgas so viel Wärmeenergie zu entziehen, dass die Temperatur des Anodenabgases oder des Anoden-Rezirkulationsgases unter die Siedetemperatur von Wasser sinkt. Dieser Kondensationsvorgang erfolgt

erfindungsgemäß frei von der Einwirkung externer Kühlquellen, insbesondere frei von einem externen Kühlkreislauf des Brennstoffzellensystems.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass selbstverständlich in einem komplexen Brennstoffzellensystemen an anderen Positionen Kühlkreisläufe vorgesehen sein können, um gewünschte Temperiervorgänge durchführen zu können. Insbesondere bei Brennstoffzellensystemen, welche als SOFC-System ausgebildet sind, sind sehr hohe Temperaturen zu erwarten, sodass zum Beispiel Teile des Brennstoffzellenstapels mit einer externen Kühlvorrichtung ausgebildet sein können. Erfindungsgemäß wird jedoch auch eine solche vorhandene externe Kühlquelle nicht für die Kondensierfunktion des Anoden-Rezirkulationsgases und des Anodenabgases verwendet.

Erfindungsgemäß leistet die Integration der Kondensationsfunktion in den Kathodenzuführabschnitt die gewünschte Kondensierung von Kondenswasser im Anoden-Rezirkulationsgas oder im Anodenabgas. Damit wird getrocknetes Anoden-Rezirkulationsgas dem Brenngas zugemischt und entsprechend die gewünschte Effizienzsteigerung durch die Rezirkulation ohne die Inkaufnahme einer reduzierten Nernstspannung bei ungetrocknetem Anoden-Rezirkulationsgas erreicht. Im Vergleich zu den bekannten Lösungen wird dieser Trocknungsschritt und die damit verbundene Effizienzsteigerung im Betrieb des Brennstoffzellensystems ohne zusätzliche komplexe Bauteile, insbesondere ausschließlich durch eine als Gas-Gas-Wärmetauscher ausgebildete Kondensatorvorrichtung, erreicht.

Im Ergebnis kann neben der Effizienzsteigerung insbesondere sogar ein kleinerer Ejektor verwendet werden, da durch die Abtrennung des unerwünschten Kondenswassers entsprechend geringere Volumenströme dem Brenngas beigemischt werden müssen.

Es kann vorteilhaft sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Anodenabführabschnitt einen Anodenabführ-Wärmetauscher aufweist, in wärmeübertragendem Kontakt mit dem Anodenzuführabschnitt für eine Wärmeübertragung vom Anodenabgas auf das Anodenzuführgas. Hier wird eine weitere Steigerung der Effizienz aus Sicht der Temperatur möglich. Im Zusammenhang mit den später noch erläuterten weiteren möglichen unterschiedlichen Wärmetauschern entsteht somit zusammen mit der Kondensatorvorrichtung ein Wärmetauschersystem, welches auch Temperiersystem genannt werden kann, das es erlaubt, einen möglichst

großen Anteil an Restwärme im Anodenabgas wie auch im Kathodenabgas wiederzuverwerten und für andere Funktionen, wie zum Beispiel das Kondensieren, aber auch das Zuführen und Konditionieren von Anodenzuführgas und Kathodenzuführgas, zu verwenden. Bei dieser Ausführungsform ist entsprechend eine Möglichkeit gegeben, das heiße Anodenabgas abzukühlen und diese Energie zu verwenden, um das Anodenzuführgas bei der Führung zum Anodenabschnitt aufzuheizen. Dies führt als Nebeneffekt dazu, dass an der Kondensatorvorrichtung bereits vorgekühltes Anodenabgas ankommt, sodass entsprechend von niedrigeren Eingangstemperaturen an der Kondensatorvorrichtung ausgegangen werden kann und entsprechend die notwendige Kondensatorleistung geringer ausfällt. Mit anderen Worten wird es auf diese Weise möglich, auch mit geringeren Luftströmen, aber auch mit kleineren Konstruktionsweisen und Bauvolumina, die Kondensatorvorrichtung mit der gewünschten Kondensationsfunktion auszustatten.

Ebenfalls Vorteile kann es mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Mischabschnitt als Ejektorvorrichtung ausgebildet ist, mit einer Brennstoffzufuhr von Brenngas an einem Primäranschluss der Ejektorvorrichtung und dem Anoden-Rezirkulationsabschnitt am Sekundäranschluss der Ejektorvorrichtung. Die Verwendung einer Ejektorvorrichtung als Alternative zu klassischen Gebläsevorrichtungen für den Mischabschnitt bringt viele Vorteile mit sich. Zum einen wird auf rotierende Bauteile und entsprechende Verschleißteile verzichtet. Zum anderen wird das Vermischen und das Fördern vorzugsweise in einem gemeinsamen Bauteil kombiniert, sodass insbesondere dann, wenn eine Brenngasquelle mit hohem Förderdruck zur Verfügung steht, keine separate Fördervorrichtung im Anodenzuführabschnitt mehr notwendig ist. Es reicht vielmehr aus, das entsprechende Brenngas mit dem gewünschten Vordruck am Primäranschluss der Ejektorvorrichtung anzulegen, sodass die entsprechende sich einstellende Saugwirkung am Sekundäranschluss der Ejektorvorrichtung das getrocknete Anoden-Rezirkulationsgas zum Vermischen ansaugt. Die Gesamteffizienz wird damit für ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem weiter gesteigert und insbesondere die Verschleißarmut verbessert.

Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Kathodenabführabschnitt eine Katalysatorvorrichtung aufweist, welche mit dem Anoden-Auslassabschnitt fluidkommunizierend verbunden ist und für eine

katalytische Nachbehandlung des Anodenauslassgases und des Kathodenabgases vorgesehen ist. Wie bereits erläutert worden ist, wird ein Teil des Anodenabgases in dem Aufteilabschnitt von dem Anoden-Rezirkulationsgas abgetrennt und soll an die Umgebung ausgelassen werden. Wie ebenfalls bereits erläutert worden ist, weist das Anodenabgas einen Restbestandteil an Brenngas, zum Beispiel Wasserstoff oder auch Ammoniak, auf. Um nun sicherzustellen, dass dieser Wasserstoff nicht in reiner Form in die Umgebung gelangt, kann eine katalytische Nachbehandlung in einer solchen Katalysatorvorrichtung stattfinden. Um einen ausreichend großen Sauerstoffanteil für diese katalytische Nachbehandlung zur Verfügung zu stellen, ist bevorzugt in oder vor dieser Katalysatorvorrichtung eine Vermischung mit dem Kathodenabgas vorgesehen. Ziel dieser katalytischen Nachbehandlung ist es insbesondere, den Brenngasgehalt im Anodenauslassgas unter ein Minimum zu reduzieren oder sogar gänzlich aufzubrauchen. Dies führt zu einer Steigerung der Sicherheit und kann, insbesondere wenn auf diese Weise Wärme erzeugt wird, nochmals zu einer Effizienzsteigerung führen. Dies gilt vor alle dann, wenn die an diesem zum Beispiel als oxidativer Katalysator ausgebildeten Katalysatorvorrichtung erzeugte Wärme an anderer Position wieder über Wärmetauschervorrichtungen dem Brennstoffzellensystem zurückgeführt wird. Wird das Brennstoffzellensystem mit Ammoniak betrieben, kann es vorteilhaft sein, wenn zusätzlich eine Nachbehandlungseinheit vorgesehen ist, welche auch letzte Reste von Ammoniak umsetzt.

Ein weiterer Vorteil ist erzielbar, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Kathodenzuführabschnitt einen Kathodenzuführ-Wärmetauscher aufweist, in wärmeübertragendem Kontakt mit dem Kathodenabführabschnitt für eine Wärmeübertragung vom Kathodenabgas auf das Kathodenzuführgas. Ähnlich dem Vorheizen des Anodenzuführgases steigert es die Effizienz im Betrieb des Brennstoffzellensystems weiter, wenn auch das Kathodenzuführgas vorkonditioniert wird, um mit möglichst hoher Temperatur, und damit insbesondere nahe an der Betriebstemperatur des Brennstoffzellenstapels, in den Kathodenabschnitt einzutreten. Da das Kathodenabgas als Ergebnis der chemischen Reaktion innerhalb des Brennstoffzellenstapels auf eine entsprechend hohe Auslasttemperatur gebracht worden ist, kann diese hohe Temperatur hier genutzt werden, um teilweise an das Kathodenzuführgas abgegeben zu werden. Dies entspricht also einem Vorkonditionieren in Form eines Vorwärmens vom Kathodenabgas auf das Kathodenzuführgas. Diese Rückgewinnung der im Kathodenabgas enthaltenen Wärme steigert die Effizienz noch weiter

und vermeidet einen Wärmeverluste durch das Kathodenabgas. Vorzugsweise ist dieser Kathodenzuführ-Wärmetauscher direkt stromaufwärts vor dem Kathodenabschnitt und damit in dem Kathodenabführabschnitt stromaufwärts einer Katalysatorvorrichtung und im Kathodenzuführabschnitt nach der Kondensatorvorrichtung angeordnet.

Weitere Vorteile können erzielt werden, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Aufteilabschnitt an einer der folgenden Positionen angeordnet ist:

- Stromaufwärts der Kondensatorvorrichtung,
- Stromabwärts der Kondensatorvorrichtung und stromabwärts des Wasserauslasses,
- Stromabwärts der Kondensatorvorrichtung und stromaufwärts des Wasserauslasses.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um drei unterschiedliche Positionen, welche vorzugsweise nicht gleichzeitig eingenommen werden können. Findet das Aufteilen stromaufwärts der Kondensatorvorrichtung statt, muss der nachfolgende Kondensationsvorgang wie auch das Abführen von Kondenswasser nur für das auch tatsächlich rezurkulierte Anoden-Rezirkulationsgas durchgeführt werden. Es kann jedoch auch Vorteile mit sich bringen, das komplette Anodenabgas über die Kondensatorvorrichtung und sogar auch über den Wasserauslass zu führen, sodass durch die spätere Anordnung des Aufteilabschnitts das komplette Anodenabgas nicht nur gekühlt, sondern auch vom Wasser befreit wird. Insbesondere dann, wenn eine höhere Vorkonditionierleistung für die Luft als Kathodenzuführgas benötigt wird, kann es Vorteile mit sich bringen, die Restwärme des gesamten Volumenstroms an Anodenabgas auch für dieses Vorwärmen zu verwenden, indem entsprechend nicht nur das abgetrennte Anoden-Rezirkulationsgas, sondern das gesamte Anodenabgas über die Kondensatorvorrichtung geführt wird. Da in einem solchen Fall auch entsprechend größere Mengen an Kondenswasser entstehen, ist es darüber hinaus vorteilhaft, wenn dieser Aufteilabschnitt sich nicht nur zwischen der Kondensatorvorrichtung und dem Wasserauslass befindet, sondern vorzugsweise dem Wasserauslass stromabwärts nachgeordnet wird. Damit kann ein maximaler Wärmeeffekt erzielt

werden, für das Kathodenzuführgas und gleichzeitig die größere entstehende Menge an Kondenswasser aus dem Anoden-Rezirkulationsgas abgetrennt werden, bevor es dem Aufteilabschnitt und später dem Mischabschnitt zugeführt wird.

Ebenfalls Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem im Anodenzuführabschnitt, vorzugsweise stromabwärts eines Anodenzuführ-Wärmetauschers, ein Kathodenabführ-Wärmetauscher angeordnet ist für einen Wärmeübergang vom Kathodenabgas an das Anodenzuführgas. Dies erlaubt es, auch im Kathodenabgas enthaltene Wärme zusätzlich oder alternativ in das Anodenzuführgas zu übertragen. Dies erlaubt es darüber hinaus in Kombination mit einem Anodenzuführ-Wärmetauscher die entsprechende Vorheizfunktionalität noch weiter zu steigern oder mit anderen Worten das Anodenzuführgas auf eine noch höhere Temperatur zu bringen. Wie dargestellt, kann an einer Vielzahl von Positionen nun über Wärmetauscherfunktionen das System von Wärmetauschern in einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem ausgestattet sein. Selbstverständlich können einzelne Wärmetauscher dieses Wärmetauschersystems über Ventile kontrolliert werden, sodass insbesondere flexibel je nach Betriebssituation unterschiedliche Teile dieses Wärmetauschersystems aktiviert oder deaktiviert werden können. Damit kann gezielt und flexibel auf unterschiedliche Betriebssituationen reagiert und immer die maximale Temperatureffizienz erreicht werden.

Ebenfalls vorteilhaft kann es sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem im Kathodenzuführabschnitt ein Kathodenzuführ-Wärmetauscher angeordnet ist für einen Wärmeübergang vom Kathodenabgas auf das Kathodenzuführgas. Auch dies ist alternativ, wie aber auch zusätzlich zu den anderen genannten Wärmetauschern denkbar, wobei darauf hinzuweisen ist, dass vorzugsweise Ventile die unterschiedlichen Wärmetauscher aktivieren und deaktivieren können. Auch hier ist es wieder möglich, durch den Wärmeübergang Restwärme aus dem Kathodenabgas zu nutzen, um eine Vorkonditionierung in Form eines Vortemperierens des Kathodenzuführgases gewährleisten zu können und damit die Betriebseffizienz des Brennstoffzellensystems weiter zu steigern.

Darüber hinaus von Vorteil kann es sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem im Anodenzuführabschnitt stromaufwärts des Mischabschnitts ein Kontrollventil zur Kontrolle des Volumenstroms an Brenngas durch den

Mischabschnitt angeordnet ist. Damit wird es möglich, insbesondere von einer druckbeaufschlagten Brenngasquelle in kontrollierter Weise die Menge und den Druck des Brenngases zu regeln. Je nach aufgeteilter Menge an Anoden-Rezirkulationsgas kann nun eine entsprechend daran angepasste Menge an Brenngas zugemischt werden, sodass immer die gewünschte Zusammensetzung und immer der gewünschte Volumenstrom an Anodenzuführgas auch tatsächlich dem Anodenabschnitt zur Verfügung gestellt wird. Bevorzugt handelt es sich bei diesem Kontrollventil daher um ein quantitativ kontrollierbares Kontrollventil, um entsprechend flexibel auf unterschiedlichste Betriebssituationen des Brennstoffzellensystems reagieren zu können.

Darüber hinaus ist es von Vorteil, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Anodenabführabschnitt frei von einem externen Kühlkreislauf ausgebildet ist. Wie bereits erläutert worden ist, ist der Kerngedanke der vorliegenden Erfindung darauf gerichtet, möglichst effizient und ohne zusätzliche Komplexität diese Kondensationsfunktion zur Verfügung zu stellen. Die Ausbildung des Anodenabführabschnitts frei von externen Kühlkreisläufen bezeichnet genau diese reduzierte Komplexität, da die Kondensierfunktion im Wesentlichen ausschließlich durch die Wärmesenke, welche durch die zugeführte Umgebungsluft als Kathodenzuführgas zur Verfügung gestellt wird, gewährleistet ist.

Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem im Kathodenzuführabschnitt ein Kathoden-Mischabschnitt, insbesondere in Form einer Ejektorvorrichtung, angeordnet ist. An diese Ejektorvorrichtung ist am Sekundäranschluss ein Kathoden-Rezirkulationsabschnitt fluidkommunizierend verbunden, für eine Rezirkulation eines Teils des Kathodenabgases als Kathoden-Rezirkulationsgas. In Kombination mit der Rezirkulation zum Anodenabschnitt kann dies auch als doppelte Rezirkulation bezeichnet werden. Damit wird es möglich, auch das Kathodenabgas und darin enthaltenen Restsauerstoff wieder dem Kathodenabschnitt als Beimischung mit dem Kathodenzuführgas zuzuführen.

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren für eine Rezirkulation von Anodenabgas in einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem als Anoden-Rezirkulationsgas, aufweisend die folgenden Schritte:

- Aufteilen wenigstens eines Teils des Anodenabgases als Anoden-Rezirkulationsgas auf den Anoden-Rezirkulationsabschnitt,

- Kühlen des Anoden-Rezirkulationsgases durch Wärmeübergang auf das Kathodenzuführgas unter die Siedetemperatur vom Wasser,
- Abtrennen des kondensierten Kondenswassers aus dem Anoden-Rezirkulationsgas,
- Mischen des getrockneten Anoden-Rezirkulationsgases mit einem Brenngas zu Anodenzuführgas.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren bringt durch die Anwendung in einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem 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 eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems,

Fig. 2 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems,

Fig. 3 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems,

Fig. 4 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems,

Fig. 5 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems,

Fig. 6 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems.

In der Figur 1 ist schematisch ein Brennstoffzellensystem 100 zur Erzeugung von elektrischer Energie dargestellt. Schematisch ist hier ein Brennstoffzellenstapel 110 dargestellt, welcher einen Anodenabschnitt 120 und einen Kathodenabschnitt 130

aufweist. Selbstverständlich sind in diesem Brennstoffzellenstapel 110 eine Vielzahl einzelner Brennstoffzellen übereinandergestapelt, welche entsprechend eine Vielzahl einzelner Anodenabschnitte 120 und Kathodenabschnitte 130 aufweisen. Der Einfachheit halber ist hier der gesamte Stapel mit einem Anodenzuführabschnitt 122, einem Anodenabführabschnitt 124, einem Kathodenzuführabschnitt 132 und einem Kathodenabführabschnitt 134 dargestellt.

Im Betrieb des Brennstoffzellensystems 100 wird Brenngas BRG von einer nicht näher dargestellten Brennstoffquelle zugeführt. Dieses Brenngas BRG wird hier zu Anodenzuführgas AZG mit dem später erläuterten Anoden-Rezirkulationsgas ARG vermischt, wobei als Mischabschnitt 123 eine Ejektorvorrichtung verwendet wird. Diese dient dem Ansaugen des Anoden-Rezirkulationsgases ARG und auch dem Vermischen mit dem Brenngas BRG.

Das Anodenzuführgas AZG wird im Anodenzuführabschnitt 122 nun dem Anodenabschnitt 120 zugeführt und kann dort mit Kathodenzuführgas KZG in Form von Luft LU umgesetzt werden. Bei dieser chemischen Reaktion entsteht neben der elektrischen Energie, welche als Ziel des Brennstoffzellensystems 100 im Betrieb erzeugt werden soll, Wärme, wodurch sich das Anodenabgas AAG und das Kathodenabgas KAG aufheizen. Das heiße Anodenabgas AAG wird nun einem Aufteilabschnitt 125 zugeführt, in welchem es in ein Anoden-Rezirkulationsgas ARG in einem Anoden-Rezirkulationsabschnitt 140 und in ein Anodenauslassgas AUG in einem Anoden-Auslassabschnitt 150 aufgeteilt wird. Der Auslassabschnitt kann dabei auch flexibel kontrollierbar sein, sodass insbesondere ein Anpassen der Volumenanteile zwischen Anoden-Rezirkulationsgas ARG und Anodenauslassgas AUG möglich wird.

Bei der Weiterführung des immer noch heißen Anoden-Rezirkulationsgases ARG wird dieses nun über eine Kondensatorvorrichtung 126 geführt, welche eine Wärmetauscherfunktion mit der zugeführten Luft LU aufweist. Die Luft LU wird aus der Umgebung entnommen und weist entsprechend Umgebungstemperatur auf, sodass diese auch in sehr heißen Umgebungssituationen eine Temperatur unterhalb der Siedetemperatur von Wasser aufweist. Damit wird es möglich, das Anodenabgas AAG hier als Anoden-Rezirkulationsgas ARG unter diese Siedetemperatur abzukühlen, sodass enthaltene Wasserbestandteile kondensieren und als Kondenswasser KW im weitergeführten Anoden-Rezirkulationsgas ARG vorliegen. Diese Mischung

aus Kondenswasser KW und getrocknetem Anoden-Rezirkulationsgas ARG wird über einen Separator in Form eines Wasserauslasses 128 geführt, sodass das Kondenswasser KW abgetrennt und an die Umgebung abgeleitet werden kann. Das verbleibende getrocknete Anoden-Rezirkulationsgas ARG wird nun der Ejektorvorrichtung als Mischabschnitt 123 zugeführt, sodass die im Anoden-Rezirkulationsgas ARG verbliebene Restmenge an Brennstoff mit neuem Brennstoffgas BRG vermischt und wiederum dem Anodenabschnitt 120 als Anodenzuführgas AZG zugeführt wird.

Auch das Kathodenabgas KAG weist eine entsprechend hohe Temperatur auf und wird nachbehandelt, bevor es an die Umgebung ausgelassen wird. In der einfachsten Version gemäß der Figur 1 ist hier als Nachbehandlung eine Katalysatorvorrichtung 136 vorgesehen, in welcher eine Mischung aus Kathodenabgas KAG und Anodenauslassgas AUG gemeinsam katalytisch nachbehandelt wird. Ziel dieser katalytischen Nachbehandlung ist dabei insbesondere die Reduktion des Volumenanteils an verbliebenem Brenngas BRG im Anodenauslassgas AUG, um einen möglichst sicheren Auslass dieses Mischgases aus Anodenauslassgas AUG und Kathodenabgas KAG an die Umgebung zu ermöglichen.

Die Figur 2 zeigt eine Weiterbildung der Ausführungsform der Figur 1, wobei hier beispielhaft verschiedene zusätzliche Komponenten integriert sind, welche einzeln oder in Kombination verwendet werden können. Eine dieser zusätzlichen Komponenten ist ein Anodenzuführ-Wärmetauscher 121. Dieser erlaubt es, aus Sicht des Anodenabgases AAG dieses vorzukühlen, um anschließend eine geringere Kühlleistung an der Kondensatorvorrichtung 126 zu benötigen. Dieses Vorkühlen erfolgt durch den Wärmeübergang vom heißen Anodenabgas AAG auf das vorzukonditionierende Anodenzuführgas AZG, sodass dieses Vorkühlen gleichzeitig einen positiven Effekt auf das Anodenzuführgas mit sich bringt, wodurch die Effizienz des Betriebs des Brennstoffzellensystems 100 weiter gesteigert werden kann.

Eine weitere zusätzliche Komponente in der Figur 2 ist der Luft-Wärmetauscher 190, welcher hier stromabwärts im Kathodenzuführabschnitt 132 stromabwärts der Kondensatorvorrichtung 126 angeordnet ist. Damit wird das bereits durch die Kondensatorvorrichtung 126 aufgeheizte Kathodenzuführgas KZG durch Restwärme nach der Katalysatorvorrichtung 136 aus dem dort vorhandenen Mischgas weiter aufgeheizt

und entsprechend eine höhere Eintrittstemperatur für das Kathodenzuführgas KZG am Kathodenabschnitt 130 erreicht.

Eine dritte Unterscheidung zur Figur 1 zeigt in der Figur 2 die Position des Aufteilabschnitts 125. Dieser ist hier dem Wasserauslass 128 nachgeordnet, sodass entsprechend das komplette Anodenabgas AAG der Kondensationsfunktion wie auch der Wasserauslassfunktion unterzogen wird. Dies erlaubt es, eine maximale Wärmerückgewinnung aus dem Anodenabgas zur Verfügung zu stellen, benötigt aber im Umkehrschluss eine entsprechend größere Kondensatorvorrichtung 126, um entsprechend höhere Mengen an Luft LU für die Kühlung ansaugen und durchführen zu können. Dadurch, dass das Kondenswasser KW nun aus dem gesamten getrockneten Anodenabgas AAG auch vollständig abgetrennt wird, wird entsprechend auch nur das getrocknete Anodenabgas weiter als Anoden-Rezirkulationsgas ARG und als Anodenauslassgas AUG im Brennstoffzellensystem 100 gefördert.

Auch die Figur 3 zeigt zusätzliche Komponenten, welche insbesondere die Effizienz des Brennstoffzellensystems 100 weiter steigern können. Zum einen ist hier zusätzlich ein Kathodenzuführ-Wärmetauscher 131 vorgesehen, welcher eine Wärmerückgewinnung aus dem heißen Kathodenabgas KAG im Kathodenzuführgas KZG erlaubt. Damit wird das Kathodenzuführgas KZG an drei Stellen mit Wärmezufuhr beaufschlagt, nämlich in der Kondensatorvorrichtung 126, in dem Luft-Wärmetauscher 190 und final als letzter Wärmeübergang in dem Kathodenzuführ-Wärmetauscher 131. Auch ist in der Figur 3 eine Variante dargestellt, bei welcher der Aufteilabschnitt 125 nun stromabwärts der Kondensatorvorrichtung 126, aber stromaufwärts des Wasserauslasses 128, vorgesehen ist. Dies erlaubt es, die entsprechenden Vorteile der Wärmerückgewinnung aus dem Anodenabgas AAG vollständig der Luft LU in der Kondensatorvorrichtung 126 zuzuführen. Der Wasserauslass 128 und die Separatorwirkung müssen jedoch hier nur für das tatsächlich gewünschte Anoden-Rezirkulationsgas ARG zur Verfügung gestellt werden, sodass entsprechend der Separator des Wasserauslasses 128 kleiner ausgebildet sein kann als dies bei der Variante der Figur 2 der Fall wäre.

Auch die Figur 4 zeigt weitere Teilkomponenten, welche bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem 100 eingesetzt werden können. Hier wird ein Teil der Temperatur des Kathodenabgases KAG nun für ein zusätzliches Aufheizen des

Anodenzuführgases AZG verwendet, indem ein Kathodenabführ-Wärmetauscher 133 in wärmeübertragendem Kontakt mit dem Anodenzuführabschnitt 122 vorgesehen ist. Bei dieser Möglichkeit ist es also vorgesehen, eine möglichst hohe Temperatureinwirkung in das Anodenzuführgas AZG einzubringen.

In der Figur 5 sind ebenfalls weitere Komponenten dargestellt, mit welchen sich das Brennstoffzellensystem 100 weiterbilden lässt. Zum einen handelt es sich hier um Kathoden-Rezirkulationsgebläse 171 und einen Kathoden-Aufteilabschnitt 137, welche es erlauben, einen Teil des Kathodenabgases KAG in einen Kathoden-Rezirkulationsabschnitt 170 aufzuteilen. Damit kann dieser aufgeteilte Teil des Kathodenabgases KAG als Kathoden-Rezirkulationsgas KRG hier einer Ejektorvorrichtung als Kathoden-Mischabschnitt 135 zugeführt werden und eine Kathodenrezirkulation gewährleistet sein. Somit ist ein variabler Rezirkulationsanteil an der Kathode möglich wobei unter Teillastbetrieb höhere Rezirkulationsraten einstellbar sind. Das verbleibende Kathodenabgas KAG wird in der bereits mehrfach erläuterten Weise der Katalysatorvorrichtung 136 zugeführt.

Auch in der Figur 5 gezeigt ist in der Brenngaszufuhr für das Brenngas BRG ein Kontrollventil 160. Dieses ist insbesondere quantitativ kontrollierbar ausgebildet, sodass unterschiedliche Volumenströme an Brenngas BRG eingestellt werden können und für unterschiedliche Betriebssituationen unterschiedliche Mengen an Brenngas dem Anoden-Rezirkulationsgas ARG auch tatsächlich zuzumischen.

In der Figur 6 ist eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems 100 gezeigt, wobei die meisten dargestellten Elemente jenen der Figur 5 entsprechen. Hier ist zusätzlich eine Nachbehandlungseinheit 191 vorgesehen, welche welche stromabwärts des Luft-Wärmetauschers 190 angeordnet ist. Die Nachbehandlungseinheit 191 ist insbesondere bei einem Betrieb des Brennstoffzellensystems 100 mit Ammoniak vorteilhaft, um hier nochmal Spuren von Ammoniak umzusetzen bevor das Abgas an die Umgebung abgegeben wird. Die Nachbehandlungseinheit 191 kann hierfür beispielsweise als Ammoniak-Schlupf-Katalysator (ASC) ausgebildet sein, welcher bei Temperaturen zwischen 200 °C und 500 °C arbeitet. Vorteilhaft kann es auch weiter sein, wenn ein Purgeventil und/oder Bypassventil (nicht in Fig. 6 dargestellt) vorgesehen ist, um im Fall einer Leckage

Wasserstoff und/oder Ammoniak abzuführen. Ein entsprechendes Ventil kann bei allen Ausführungsformen vorgesehen sein.

Die einzelnen Komponenten, insbesondere des Systems aus einer Vielzahl von Wärmetauschern, können dabei frei miteinander kombiniert werden und insbesondere über Kontrollventilsysteme frei schaltbar sein, um auf unterschiedlichste Betriebssituationen des Brennstoffzellensystems 100 möglichst flexibel reagieren zu können.

Expliziter erläutert, können die zusätzlichen Komponenten der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform des Brennstoffzellensystems 100, d.h. der Anodenzuführ-Wärmetauscher 121 und/ oder der Luft-Wärmetauscher 190 in gleicher Positionierung zum Aufteilabschnitt 125 ebenso mit den Systemkomponenten der Ausführungsformen des Brennstoffzellensystems 100 aus den Figuren 1, 3, 4 oder 5 ergänzend kombiniert werden

Ferner kann die zusätzliche Komponente der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform des Brennstoffzellensystems 100, d.h. der Kathodenzuführ-Wärmetauscher 131 ebenso mit den Systemkomponenten der Ausführungsformen des Brennstoffzellensystems 100 aus den Figuren 1, 2, 4 oder 5 ergänzend kombiniert werden.

Darüber hinaus kann die zusätzliche Komponente der in Fig. 4 gezeigten Ausführungsform des Brennstoffzellensystems 100, d.h. der Kathodenabführ-Wärmetauscher 133 ebenso mit den Systemkomponenten der Ausführungsformen des Brennstoffzellensystems 100 aus den Figuren 1, 2, 3 oder 5 ergänzend kombiniert werden.

Ebenso können die zusätzlichen Komponenten der in Fig. 5 und oder Fig. 6 gezeigten Ausführungsform des Brennstoffzellensystems 100, d.h. der Kathoden-Rezirkulationsabschnitt 170 mit dem Kathoden-Rezirkulationsgebläse 171 und dem Kathoden-Aufteilabschnitt 137 und/oder die Nachbehandlungseinheit 191 und/oder das Kontrollventil 160 mit den Systemkomponenten der Ausführungsformen des Brennstoffzellensystems 100 aus den Figuren 1, 2, 3 oder 4 ergänzend kombiniert werden.

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

Bezugszeichenliste

100 Brennstoffzellensystem
110 Brennstoffzellenstapel
120 Anodenabschnitt
121 Anodenzuführ-Wärmetauscher
122 Anodenzuführabschnitt
123 Mischabschnitt
124 Anodenabführabschnitt
125 Aufteilabschnitt
126 Kondensatorvorrichtung
128 Wasserauslass
130 Kathodenabschnitt
131 Kathodenzuführ-Wärmetauscher
132 Kathodenzuführabschnitt
133 Kathodenabführ-Wärmetauscher
134 Kathodenabführabschnitt
135 Kathoden-Mischabschnitt
136 Katalysatorvorrichtung
137 Kathoden-Aufteilabschnitt
140 Anoden-Rezirkulationsabschnitt
150 Anoden-Auslassabschnitt
160 Kontrollventil
170 Kathoden-Rezirkulationsabschnitt
171 Kathoden-Rezirkulationsgebläse
190 Luft-Wärmetauscher
191 Nachbehandlungseinheit

AZG Anodenzuführgas
AAG Anodenabgas
AUG Anodenauslassgas
ARG Anoden-Rezirkulationsgas
KZG Kathodenzuführgas
KAG Kathodenabgas
KRG Kathoden-Rezirkulationsgas

BRG Brenngas

LU Luft

KW Kondenswasser

Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem (100) zur Erzeugung elektrischer Energie, aufweisend einen Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Anodenabschnitt (120) und einem Kathodenabschnitt (130), der Anodenabschnitt (120) aufweisend einen Anodenzuführabschnitt (122) für ein Zuführen von Anodenzuführgas (AZG) und einen Anodenabführabschnitt (124) zum Abführen von Anodenabgas (AAG), der Kathodenabschnitt (130) aufweisend einen Kathodenzuführabschnitt (132) zum Zuführen von Kathodenzuführgas (KZG) und einen Kathodenabführabschnitt (134) zum Abführen von Kathodenabgas (KAG), wobei der Anodenabführabschnitt (124) einen Aufteilabschnitt (125) aufweist für eine Aufteilen des Anodenabgases (AAG) auf einen Anoden-Rezirkulationsabschnitt (140) zur Rezirkulation als Anoden-Rezirkulationsgas (ARG) und einen Anoden-Auslassabschnitt (150) zum Auslass an die Umgebung als Anodenauslassgas (AUG), **dadurch gekennzeichnet, dass** im Anodenabführabschnitt (124) oder im Anoden-Rezirkulationsabschnitt (140) eine Kondensatorvorrichtung (126) in wärmeübertragendem Kontakt mit dem Kathodenzuführabschnitt (132) angeordnet ist für ein Kühlen des Anodenabgases (AAG) oder des Anoden-Rezirkulationsgases (ARG) durch ein Aufheizen des Kathodenzuführgases (KZG), wobei stromabwärts der Kondensatorvorrichtung (126) ein Wasserauslass (128) für einen Auslass des in der Kondensatorvorrichtung (126) kondensierten Kondenswassers (KW) angeordnet ist, wobei stromabwärts des Wasserauslasses (128) ein Mischabschnitt (123) angeordnet ist für ein Vermischen des Anoden-Rezirkulationsgases (ARG) mit Brenngas (BRG) und für eine Zufuhr als Anodenzuführgas (AZG) in den Anodenzuführabschnitt (122).

2. Brennstoffzellensystem (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anodenabführabschnitt (124) einen Anodenzuführ-Wärmetauscher (121) aufweist in wärmeübertragendem Kontakt mit dem Anodenzuführabschnitt (122) für eine Wärmeübertragung vom Anodenabgas (AAG) auf das Anodenzuführgas (AZG).

3. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mischabschnitt (123) als

Ejektorvorrichtung ausgebildet ist mit einer Brennstoffzufuhr von Brenngas (BRG) an einem Primäranschluss der Ejektorvorrichtung und dem Anoden-Rezirkulationsabschnitt (140) am Sekundäranschluss der Ejektorvorrichtung.

4. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kathodenabführabschnitt (134) eine Katalysatorvorrichtung (136) aufweist, welche mit dem Anoden-Auslassabschnitt (150) fluidkommunizierend verbunden ist für eine katalytische Nachbehandlung des Anodenauslassgases (AUG) und den Kathodenabgases (KAG).

5. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kathodenzuführabschnitt (132) einen Kathodenzuführ-Wärmetauscher (131) aufweist in wärmeübertragendem Kontakt mit dem Kathodenabführabschnitt (134) für eine Wärmeübertragung vom Kathodenabgas (KAG) auf das Kathodenzuführgas (KZG).

6. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Aufteilabschnitt (125) an einer der folgenden Positionen angeordnet ist:

   - Stromaufwärts der Kondensatorvorrichtung (126),
   - Stromabwärts der Kondensatorvorrichtung (126) und stromabwärts des Wasserauslasses (128),
   - Stromabwärts der Kondensatorvorrichtung (126) und stromaufwärts des Wasserauslasses (128)

7. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Anodenzuführabschnitt (122), vorzugsweise stromabwärts eines Anodenzuführ-Wärmetauschers (121), ein Kathodenabführ-Wärmetauscher (133) angeordnet ist für einen Wärmeübergang vom Kathodenabgas (KAG) auf das Anodenzuführgas (AZG).

8. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Kathodenzuführabschnitt (132) ein

Kathodenzuführ-Wärmetauscher (131) angeordnet ist für einen Wärmeübergang vom Kathodenabgas (KAG) auf das Kathodenzuführgas (KZG).

9. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Anodenzuführabschnitt (122) stromaufwärts des Mischabschnitts (125) ein Kontrollventil (160) zur Kontrolle des Volumenstroms an Brenngas (BRG) durch den Mischabschnitt (125) angeordnet ist.

10. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anodenabführabschnitt (124) frei von einem externen Kühlkreislauf ausgebildet ist.

11. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Kathodenzuführabschnitt (132) ein Kathoden-Mischabschnitt (135), insbesondere in Form einer Ejektorvorrichtung, angeordnet ist an deren Sekundäranschluss ein Kathoden-Rezirkulationsabschnitt (170) fluidkommunizierend verbunden ist für eine Rezirkulation eines Teils des Kathodenabgases (KAG) als Kathoden-Rezirkulationsgas (KRG).

12. Verfahren für eine Rezirkulation von Anodenabgas (AAG) in einem Brennstoffzellensystem (100) mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 11, als Anoden-Rezirkulationsgas (ARG), aufweisend die folgenden Schritte:

- Aufteilen wenigstens eines Teils des Anodenabgases (AAG) als Anoden-Rezirkulationsgas (ARG) auf den Anoden-Rezirkulationsabschnitt (140),
- Kühlen des Anoden-Rezirkulationsgases (ARG) durch Wärmeübergang auf das Kathodenzuführgas (KZG) unter die Siedetemperatur von Wasser,
- Abtrennen des kondensierten Kondenswassers (KW) aus dem Anoden-Rezirkulationsgas (ARG),
- Mischen des getrockneten Anoden-Rezirkulationsgases (ARG) mit einem Brenngas (BRG) zu Anodenzuführgas (AZG).

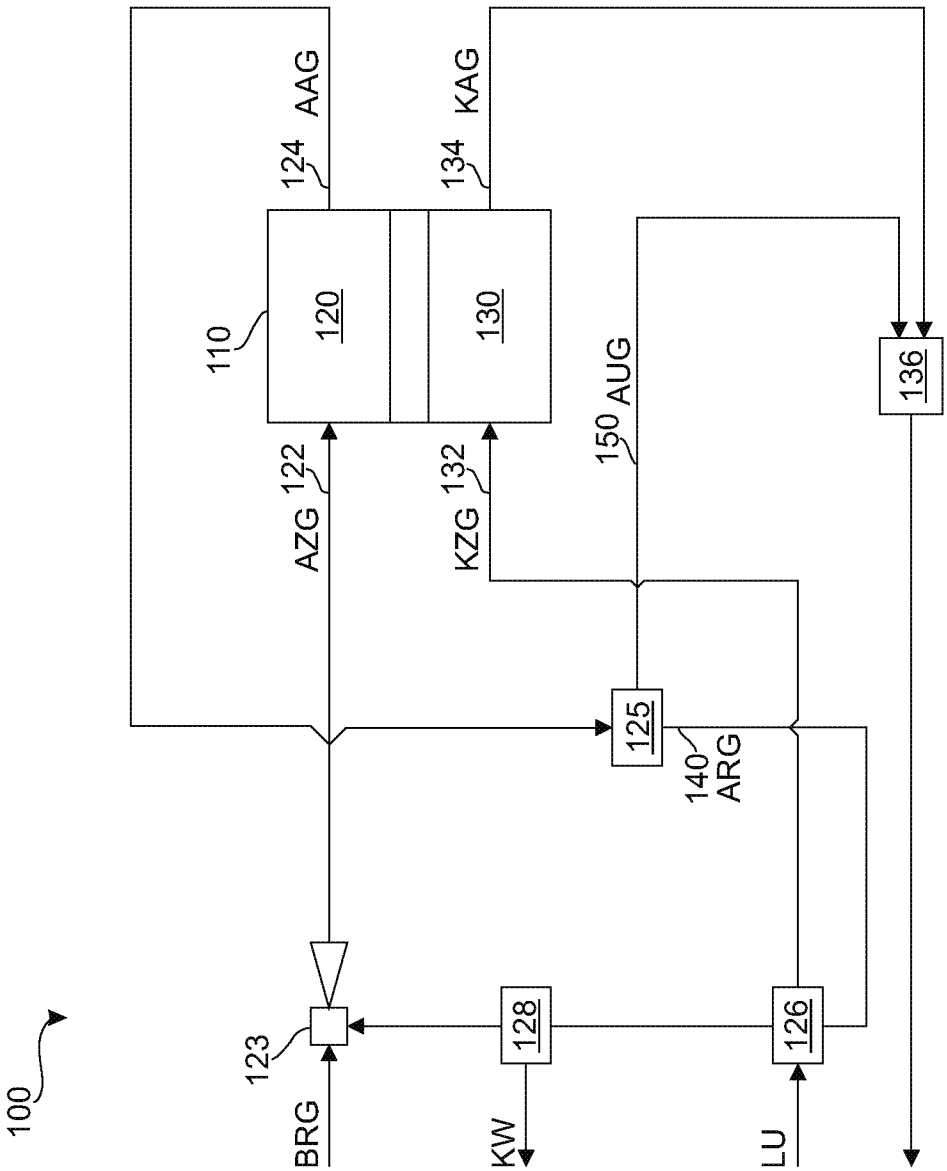

100
110
120
130
124
AAG
134
KAG
122
AZG
132
KZG
150
AUG
136
125
140
ARG
123
BRG
128
KW
126
LU

Fig. 1

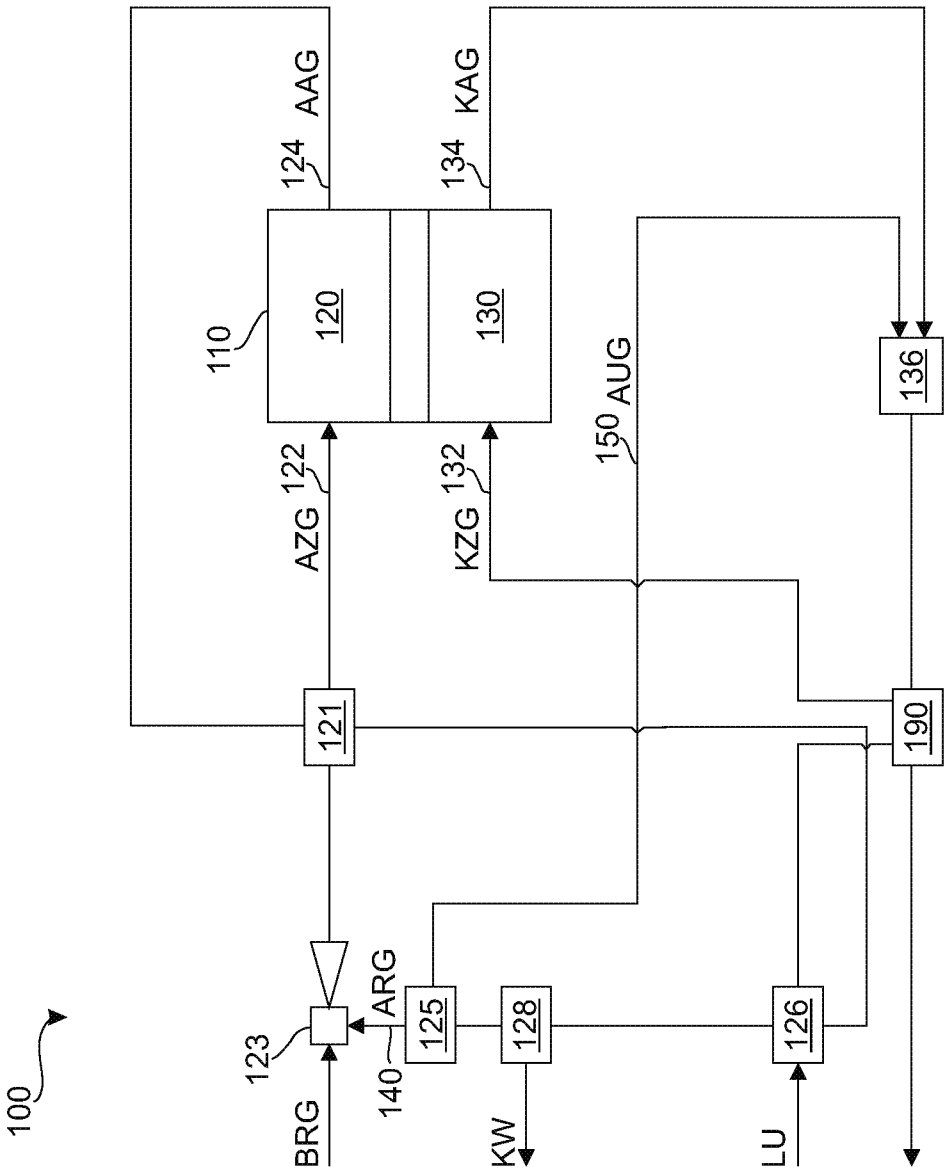

100
110
120
130
124
AAG
134
KAG
AZG
122
KZG
132
AUG
150
121
136
190
123
BRG
ARG
140
125
128
126
KW
LU

Fig. 2

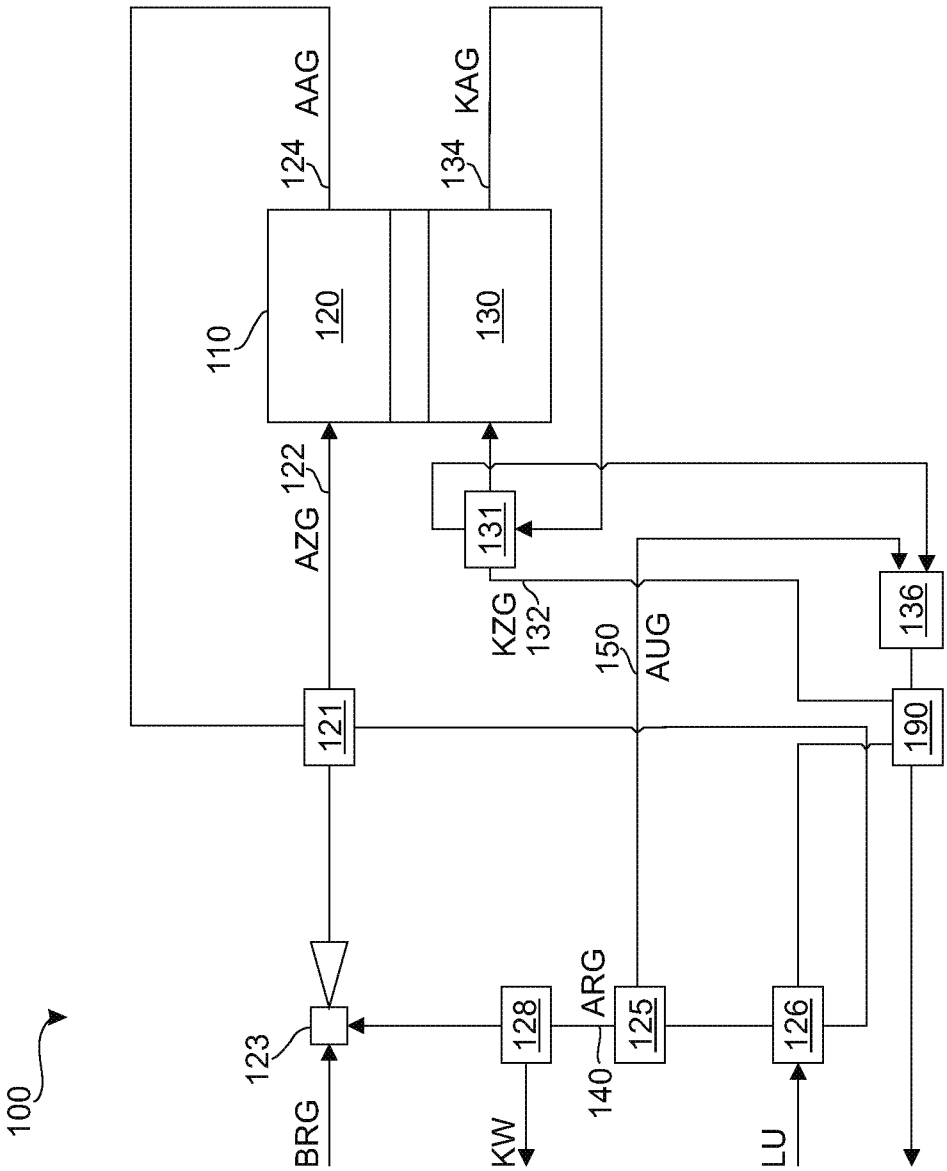

100
110
120
130
124
AAG
134
KAG
122
AZG
131
KZG
132
150
AUG
136
121
190
123
BRG
128
KW
ARG
140
125
126
LU

Fig. 3

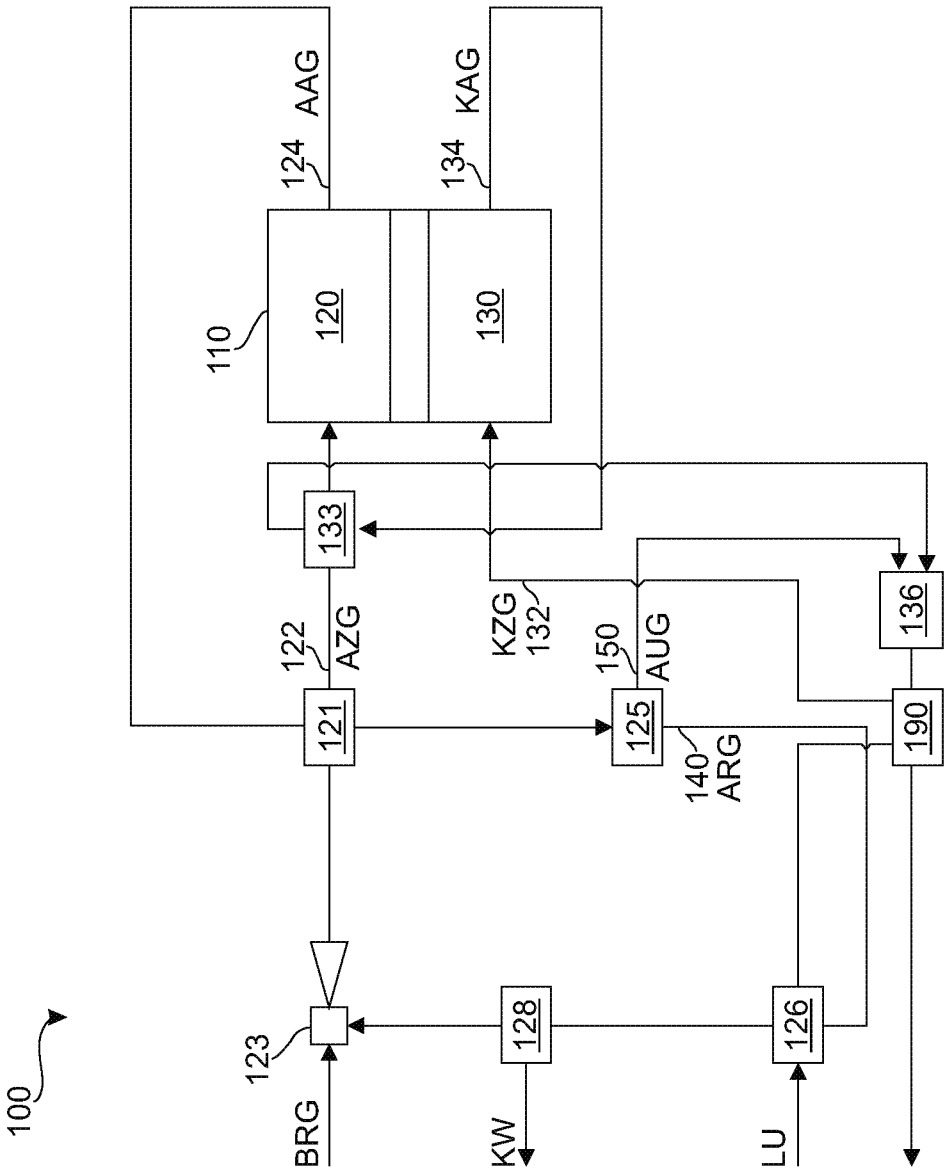

100
110
120
130
124
AAG
134
KAG
133
122
AZG
121
KZG
132
150
AUG
125
136
190
140
ARG
123
BRG
128
KW
126
LU

Fig. 4

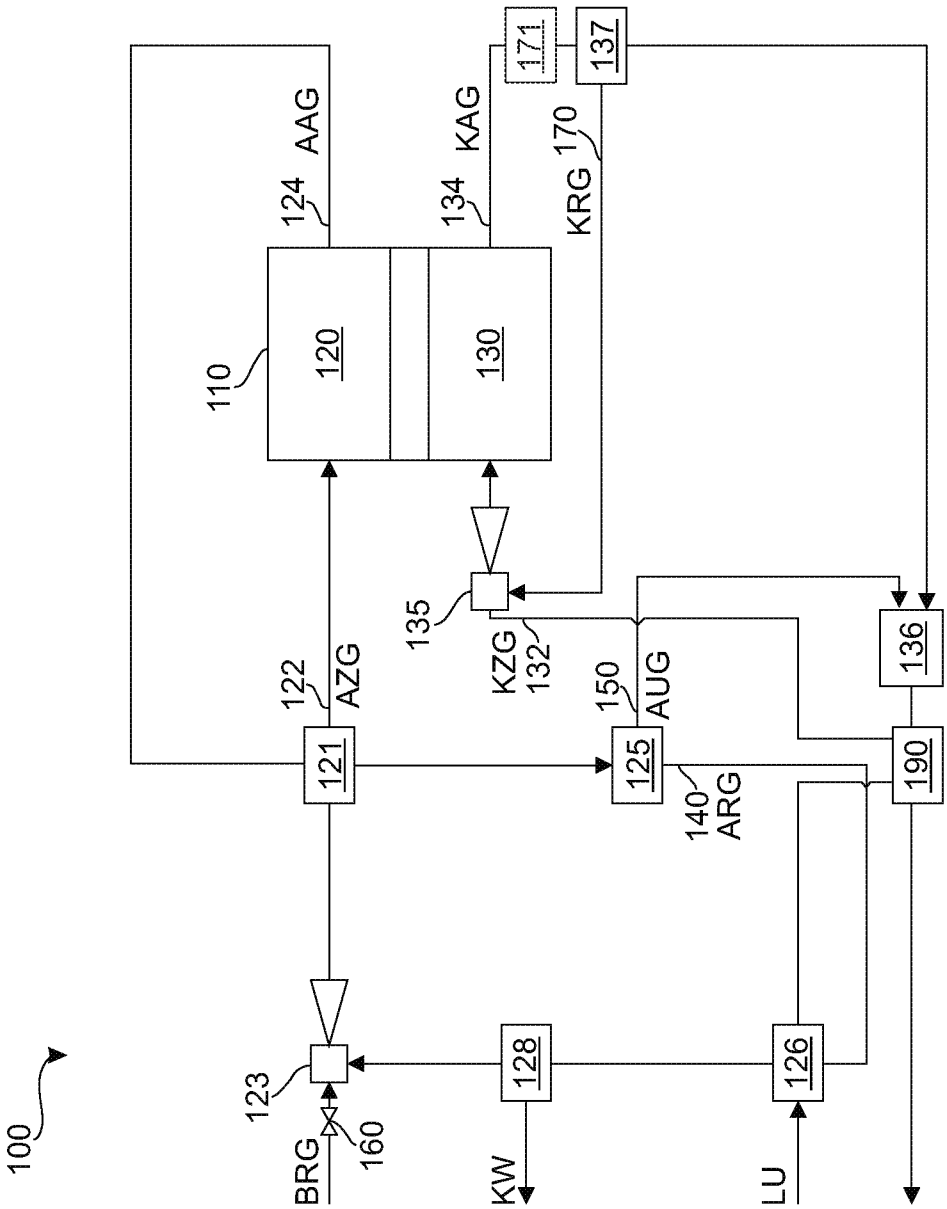

100
110
120
130
121
122
AZG
124
AAG
125
140
ARG
126
128
123
BRG
160
KW
LU
134
KAG
135
KZG
132
150
AUG
136
137
171
170
KRG
190

Fig. 5

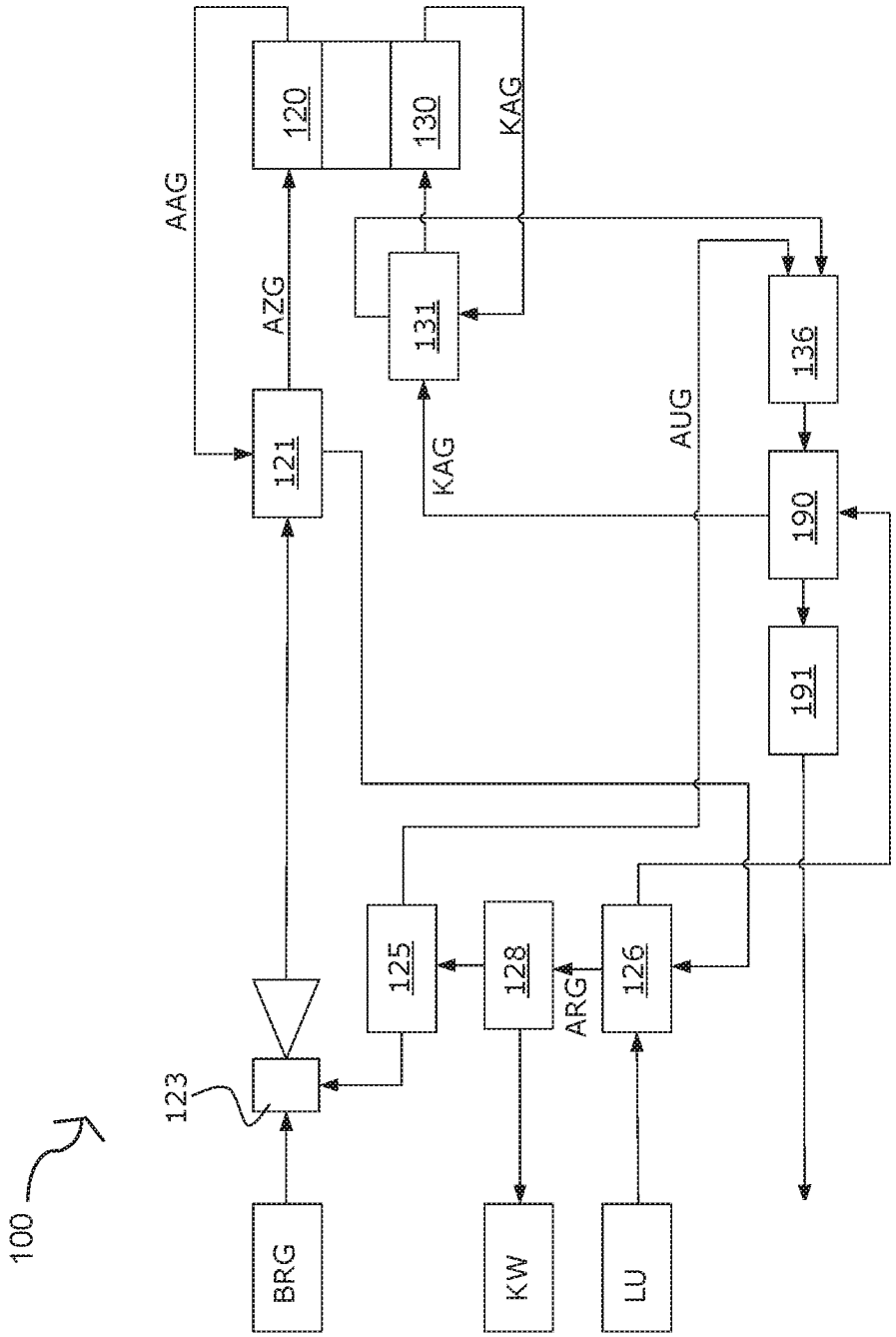

100
123
BRG
KW
LU
ARG
125
128
126
121
131
120
130
136
190
191
AAG
AZG
KAG
KAG
AUG

Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/AT2023/060264

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01M 8/04014(2016.01)i; ***H01M 8/04089***(2016.01)i; ***H01M 8/04119***(2016.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	GB 2508649 A (AFC ENERGY PLC [GB]) 11 June 2014 (2014-06-11) description of figure 2	1,6,9,10,12 2,3,5,8,11
Y	DE 102020124071 A1 (AUDI AG [DE]; VOLKSWAGEN AG [DE]) 17 March 2022 (2022-03-17) paragraph [0023]; figure 1	2, 5, 8
Y	DE 102020101292 A1 (AUDI AG [DE]) 22 July 2021 (2021-07-22) paragraph [0028]; figure 1	3
Y	US 2021399329 A1 (BRAUN ROBERT J [US] ET AL) 23 December 2021 (2021-12-23) paragraph [0096]	11
X,P	WO 2022241493 A1 (AVL LIST GMBH [AT]) 24 November 2022 (2022-11-24) page 12, paragraph 2 - page 13, paragraph 2	1-10, 12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20 November 2023	**12 December 2023**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Goldbacher, Ute** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/AT2023/060264

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
GB 2508649 A	11 June 2014	NONE	
DE 102020124071 A1	17 March 2022	NONE	
DE 102020101292 A1	22 July 2021	NONE	
US 2021399329 A1	23 December 2021	US 2021399329 A1	23 December 2021
		US 2023327166 A1	12 October 2023
WO 2022241493 A1	24 November 2022	AT 525146 A1	15 December 2022
		WO 2022241493 A1	24 November 2022

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/AT2023/060264

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01M8/04014 H01M8/04089 H01M8/04119
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01M

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X Y	GB 2 508 649 A (AFC ENERGY PLC [GB]) 11. Juni 2014 (2014-06-11) Beschreibung der Abb. 2	1,6,9, 10,12 2,3,5,8, 11
Y	DE 10 2020 124071 A1 (AUDI AG [DE]; VOLKSWAGEN AG [DE]) 17. März 2022 (2022-03-17) Absatz [0023]; Abbildung 1	2,5,8
Y	DE 10 2020 101292 A1 (AUDI AG [DE]) 22. Juli 2021 (2021-07-22) Absatz [0028]; Abbildung 1	3
Y	US 2021/399329 A1 (BRAUN ROBERT J [US] ET AL) 23. Dezember 2021 (2021-12-23) Absatz [0096]	11

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
20. November 2023	12/12/2023

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Goldbacher, Ute

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/AT2023/060264

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X,P	WO 2022/241493 A1 (AVL LIST GMBH [AT]) 24. November 2022 (2022-11-24) Seite 12, Absatz 2 - Seite 13, Absatz 2 -----	1-10,12

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2023/060264

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2508649 A	11-06-2014	KEINE	
DE 102020124071 A1	17-03-2022	KEINE	
DE 102020101292 A1	22-07-2021	KEINE	
US 2021399329 A1	23-12-2021	US 2021399329 A1	23-12-2021
		US 2023327166 A1	12-10-2023
WO 2022241493 A1	24-11-2022	AT 525146 A1	15-12-2022
		WO 2022241493 A1	24-11-2022