

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50666/2023
(22) Anmeldetag: 22.08.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2025

(51) Int. Cl.: **H01M 8/12** (2006.01)
C25B 1/23 (2021.01)
C25B 15/021 (2021.01)
C25B 15/08 (2006.01)
C10G 2/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
AT 526077 A4
WO 2022031726 A2
US 2014272734 A1
JP 2023093823 A

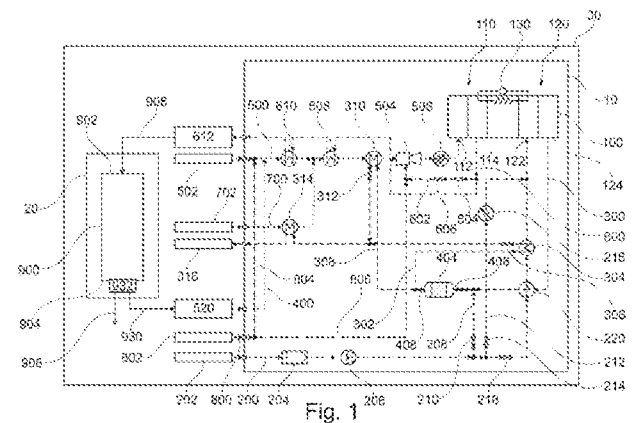
(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
TANDL Manuel Dipl.-Ing.
8010 Graz (AT)
Erharter Lukas BSc
8020 Graz (AT)

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

(54) **Brennstoffzellenanlage für ein Erzeugen eines Synthesegases**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Brennstoffzellenanlage (30) mit einem Brennstoffzellensystem (10) und einem Synthesystem.



Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Brennstoffzellenanlage (30) mit einem Brennstoffzellensystem (10) und einem Synthesystem.

Fig. 1

Brennstoffzellenanlage für ein Erzeugen eines Synthesegases

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem, eine Brennstoffzellenanlage und ein Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas mittels eines Brennstoffzellensystems.

Eine Möglichkeit zur Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Rohstoffvorkommen und zur Reduzierung von CO₂-Emissionen ist die Substitution von Rohöl durch aus Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) hergestellte synthetische Kohlenwasserstoffe. Unter Zuführung von elektrischem Strom kann dabei durch Hochtemperatur-elektrolyse (kurz SOE für Engl. "Solid Oxide Electrolysis") ein Synthesegas erzeugt werden, welches Wasserstoff (H₂) und Kohlenstoffmonoxid (CO) beinhaltet. In einem sich anschließenden Syntheseprozess werden aus dem Synthesegas die synthetischen Kohlenwasserstoffe erhalten.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Effizienz bei der vorstehend beschriebenen Hochtemperatorelektrolyse in kostengünstiger und einfacher Weise zu steigern.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch eine Brennstoffzellenanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Erfindungsgemäß ist ein Brennstoffzellensystem vorgesehen. Das Brennstoffzellensystem weist einen Brennstoffzellenstapel mit einem Kathodenabschnitt, welcher einen Kathodenzuführabschnitt und einen Kathodenabführabschnitt aufweist, und einem Anodenabschnitt, welcher einen Anodenzuführabschnitt und einen Anodenabführabschnitt aufweist, auf. Ferner weist das Brennstoffzellensystem einen mittels einer Anodenzuführverbindung fluidtechnisch mit dem Anodenzuführabschnitt gekoppelten Anodengasanschluss zum Zuführen von Anodengas zum Anodenabschnitt auf. Außerdem weist das Brennstoffzellensystem einen mittels einer Anodenabführverbindung fluidtechnisch mit dem Anodenabführabschnitt gekoppelten Anodenabführanschluss zum Abführen von durch den Brennstoffzellenstapel erzeugten Anodenabgasen auf. Weiterhin weist das Brennstoffzellensystem einen mittels einer Kathodenzuführverbindung fluidtechnisch mit dem Kathodenzuführabschnitt gekoppelten Kathodenzuführanschluss zum Zuführen von Kathodengas zum Kathodenabschnitt auf. Darüber hinaus weist das Brennstoffzellensystem einen mittels einer Ka-

thodenabführverbindung fluidtechnisch mit dem Kathodenabführabschnitt gekoppelten Kathodenabführanschluss zum Abführen von durch den Brennstoffzellenstapel erzeugtem Synthesegas auf.

Das Synthesesystem weist eine Syntheseanlage auf, welche mittels einer Synthesegaszuführverbindung fluidtechnisch mit dem Kathodenabführanschluss gekoppelt ist. Weiter dient die Syntheseanlage zur Synthese des von dem Brennstoffzellenstapel erzeugten und mittels der Synthesegaszuführverbindung zugeführten Synthesegases. Die Syntheseanlage ist mittels einer Restgasabführverbindung zum Bereitstellen von Restgas fluidtechnisch mit einem Restgaszuführanschluss gekoppelt ist. Eine erfindungsgemäße Brennstoffzellenanlage zeichnet sich dadurch aus, dass der Restgaszuführanschluss fluidkommunizierend mit wenigstens einer Restgasnutzungsvorrichtung des Brennstoffzellensystems verbunden ist.

Eine Restgasnutzungsvorrichtung im Sinne der vorliegenden Erfindung dient dabei einer Anlageninternen Nutzung. Darunter kann eine Nutzung der im Restgas gespeicherten Energie verstanden werden. Auch die chemische Nutzung der enthaltenen Stoffe, insbesondere kurzkettiger Kohlenwasserstoffe und/oder Kohlenstoffdioxid sind mögliche Bestandteile für eine weitere Nutzung in der Brennstoffzellenanlage. Durch die Integration einer Rückführung des Restgases zu einer Nutzung innerhalb der Brennstoffzellenanlage ist eine Steigerung der Effizienz im Betrieb erreichbar. Insbesondere ist es auch möglich, dass unterschiedliche Nutzungsarten miteinander kombiniert werden.

Unter einer Brennstoffzellenanlage ist im Rahmen der Erfindung insbesondere eine stationäre Anlage mit einem Brennstoffzellensystem und einem Synthesesystem zu verstehen, welche beispielsweise synthetische Kraftstoffe zu erzeugen.

Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn das Brennstoffzellensystem einen Rückführgasanschluss aufweist zum Bereitstellen von Rückführgas, welches bei einer Synthese des von dem Brennstoffzellenstapel erzeugten Synthesegases in einem nachfolgenden Syntheseprozess als Nebenprodukt entsteht, wobei der Rückführgasanschluss mit der Kathodenzuführverbindung fluidkommunizierend verbunden ist.

Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird der Einfachheit halber von einem Brennstoffzellenstapel gesprochen. Damit ist zumindest ein Brennstoffzellenstapel gemeint. Denn selbstverständlich kann vorgesehen sein, dass mehrere Brennstoff-

zellenstapel in dem Brennstoffzellensystem vorgesehen sind, die in beliebiger Weise miteinander verschaltet sein können, z.B. in Reihe oder parallel miteinander verschaltet sein können. Dabei ist dann jeder Kathodenabschnitt und jeder Anodenabschnitt jedes Brennstoffzellenstapels in der hierin beschriebenen Art und Weise fluidtechnisch mit den hierin erwähnten Anschlüssen gekoppelt.

Der Brennstoffzellenstapel kann ganz besonders ein Festoxid-Brennstoffzellenstapel sein. Damit kann das Brennstoffzellensystem insbesondere ein Festoxid-Brennstoffzellensystem oder Festoxid-Elektrolyseurzellensystem (auch SOFC-System für engl. „Solid Oxide Fuel Cell System“) sein. Der Brennstoffzellenstapel in dem Brennstoffzellensystem ist im reversen Modus betreibbar, um die Elektrolyse von Wasser (H_2O) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) zu erreichen. Durch die Elektrolyten in dem Brennstoffzellenstapel können so Wasserstoffgas (H_2), Kohlenstoffmonoxid (CO) und Sauerstoff (O_2) produziert werden. Vorteilhaft ist dabei, wenn der Brennstoffzellenstapel zum Erzeugen des Synthesegases mit einer Stromversorgungsquelle zur Bereitstellung von Strom aus einer erneuerbaren Energiequelle verbunden ist. Mit einer solchen Stromversorgungsquelle, die aus erneuerbaren Energiequellen gespeist wird, lässt sich der Hochtemperaturelektrolysebetrieb ökologisch nachhaltig gestalten.

Für die vorstehend beschriebene Reaktion wird dem Anodenabschnitt durch die Anodenzuführverbindung Anodengas, insbesondere Luft, ganz besonders Frischluft, oder Sauerstoff, zugeführt. Mittels der Kathodenzuführverbindung wird dem Kathodenabschnitt Kathodengas, insbesondere Kohlenstoffdioxid, zugeführt. Der Kathodenzuführanschluss kann dabei mit unterschiedlichen Kohlenstoffdioxid-Quellen verbunden sein. Möglich ist beispielsweise das Entnehmen von Kohlenstoffdioxid aus der Luft, aus Biogas-Prozessen, aus Industrieabgasen usw. Wasser kann dem Kathodenzuführabschnitt über einen ersten Zusatzzuführanschluss zum Zuführen von Wasser zugeführt werden. Dazu kann der erste Zusatzzuführanschluss, der mittels einer ersten Zusatzzuführverbindung mit der Kathodenzuführverbindung oder dem Kathodenzuführabschnitt fluidtechnisch gekoppelt sein kann, dem Kathodenzuführabschnitt Wasser, vorzugsweise in Form von Wasserdampf, zuführen. Alternativ oder zusätzlich kann das Wasser in dem Brennstoffzellensystem zu Wasserdampf verdampft werden. Der Wasserdampf kann als Teil des Kathodengases angesehen werden, weil es dem Kathodenzuführabschnitt zugeführt wird. Auch ein eventuelles Schutzgas, das der Kathodenzuführverbindung zugeführt wird, kann als Teil des Ka-

thodengases angesehen werden, weil es dem Kathodenzuführabschnitt zugeführt wird.

Vom Anodenabführabschnitt werden die Anodenabgase mittels der Anodenabführverbindung zum Anodenabführanschluss abgeführt. Die in der Anodenabführverbindung abgeführten Anodenabgase umfassen insbesondere von dem Brennstoffzellensystem abgeführte Abluft oder abgeführten Sauerstoff, ganz besonders mit Sauerstoff angereicherte Luft, sowie hinter dem Katalysator Katalysator-Abgase, also Verbrennungsprodukte einer katalytischen Verbrennung. Vom Anodenabführanschluss aus können diese beispielsweise in die Umgebung freigesetzt werden.

Vom Kathodenabführabschnitt wird das erzeugte Kathodenabgas, welches Synthesegas ist, welches insbesondere hauptsächlich Wasserstoffgas und Kohlenstoffmonoxid enthält, zum Kathodenabführanschluss zugeführt. Dieser kann mit einem entsprechenden Synthesystem mit einer Syntheseanlage verbunden sein, um dort das synthetische Gas zur Herstellung der synthetische Kohlenwasserstoffe bereitzustellen. Bei diesem Syntheseprozess kann typischerweise nicht das gesamte Synthesegas umgesetzt werden und/oder es entstehen kurzkettige Kohlenwasserstoffe, die abgeschieden werden.

Ein Teil der entstehenden Kohlenwasserstoffe ist für deren nachfolgende gewünschte Nutzung ungeeignet, da die Ketten zum Beispiel zu kurz sind. Der im Sinne der späteren Nutzung unbrauchbaren Teil der Kohlenwasserstoffe weist jedoch einen chemisch gespeicherten Energieanteil auf und kann als Kohlenstoffdioxidquelle angesehen werden. Dieser Gasanteil wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung als Rückführgas bezeichnet.

Um das Rückführgas zu erhalten ist insbesondere eine später noch näher beschriebene Möglichkeit der Abtrennung vom nutzbaren Teil der Kohlenwasserstoffe vorgesehen. Das auf diese Weise erhaltene Rückführgas wird nun dem Rückführanschluss des Brennstoffzellensystem zugeführt und dort der rückgeführten Nutzung im Brennstoffzellensystem bereitgestellt. Über diesen Rückführgasanschluss kann das Rückführgas in die Kathodenzuführverbindung eingebracht werden. Damit ergänzt das Rückführgas das von einer anderen Quelle zugeführte Kathodenzuführgas und reduziert auf diese Weise die benötigte Menge an Kohlenstoffdioxid als einen der Ausgangsstoffe bei der Herstellung des Synthesegases.

Mit anderen Worten wird es also möglich, das in dem Syntheseverfahren umgesetzte Synthesegas, welches zu einem nicht brauchbaren Teil der Kohlenwasserstoffe umgesetzt worden ist, nochmals in das Brennstoffzellensystem rückzuführen. Das erlaubt es, damit auch das bereits im Syntheseprozess umgesetzte CO₂ wieder zurückzuführen und einer rezirkulierten Nutzung zur Verfügung zu stellen. Dies steigert insbesondere dahingehend die Effizienz, da der nochmals umgesetzte, da rückgeführte Teil der kurzkettigen Kohlenwasserstoffe, entsprechend den benötigten CO₂ Bedarf für den Betrieb des Brennstoffzellensystems reduziert. Ein weiterer Vorteil dieses technischen Merkmals ist es, dass die kurzkettigen und damit nicht brauchbaren Bestandteile der Kohlenwasserstoffe und damit das Rückführgas nicht separat entsorgt und an die Umwelt abgegeben werden müssen.

Nicht zuletzt ist noch ein weiterer Vorteil, dass üblicherweise durch die hohen Betriebstemperaturen des Syntheseprozesses das Rückführgas mit einer hohen Temperatur beaufschlagt ist. Diese hohe Temperatur kann nun zum Vorwärmen der extern zugeführten Kathodenzuführgase, also beispielsweise des CO₂ aus der CO₂-Quelle verwendet werden. Durch das Vermischen des Rückführgases mit dem Kathodenzuführgas entsteht eine Mischtemperatur, die insbesondere bereits ausreichend ist als Eingangstemperatur für das Brennstoffzellensystem oder die benötigte Restwärmemenge zumindest reduziert.

Es kann zusammengefasst werden, dass durch die Integration eines Rückführgasanschlusses und die damit verbundene Möglichkeit der Rückführung des unbrauchbaren Teils des Produktionsergebnisses des Syntheseprozesses eine Effizienzsteigerung sowohl im chemischen als auch im energetischen Sinn mit sich bringt.

Zur Unterscheidung von Komponenten oder Elementen gleicher Art oder gleichen Typs voneinander, wie beispielsweise von Wärmetauschern, Absperrorganen, Teilpfaden oder Bypasspfaden, sind die in der vorliegenden Beschreibung erwähnten Komponenten oder Elemente gleicher Art oder gleichen Typs durchnummeriert und werden als erste Komponente, zweite Komponente, dritte Komponente (oder Elemente) usw. bezeichnet, also beispielsweise erster Wärmetauscher, zweiter Wärmetauscher usw. Diese Bezeichnung anhand der Nummerierung dient einzig und allein der Unterscheidung der hierin erwähnten Komponenten oder Elemente gleicher Art oder gleichen Typs und stellt in keiner Weise eine Einschränkung des Schutzbereichs dar. Wenn beispielsweise in einem Anspruch von einer vierten Komponente

einer Art oder eines Typs gesprochen wird, dann setzt dies nicht notwendigerweise eine erste, zweite und dritte Komponente dieser Art oder diesen Typs voraus; es sei denn, dass die erste, zweite und dritte Komponente dieser Art oder diesen Typs in einem Anspruch erwähnt werden, auf den sich der betreffende Anspruch zurückbezieht.

Die hierin erwähnten Verbindungen sind fluidführende, insbesondere gasführende, Verbindungen. Die Verbindungen können über verschiedene Pfade oder Leitungen, wie beispielsweise Rohre oder Schläuche, die jeweils miteinander gekoppelt sind, hergestellt sein. In den Verbindungen können verschiedene strömungsbeeinflussende Vorrichtungen angeordnet sein, wie sie hierin erwähnt werden, so beispielsweise Absperrorgane.

Soweit hierin von einer Anordnung eines Wärmetauschers in einer Verbindung und einer wärmetechnischen Kopplung des Wärmetauschers mit einer anderen Verbindung gesprochen wird, so sind diese Merkmale wegen der Funktion des Wärmetauschers synonym zu verstehen. Denn durch den Wärmetauscher wird die Wärme von zwei Strömen in den jeweiligen Verbindungen miteinander ausgetauscht, beispielsweise im Gegenstrom. Insoweit ist der Wärmetauscher tatsächlich in jeder der beiden Verbindungen angeordnet und der Wärmetauscher koppelt auch beide Verbindungen wärmetechnisch miteinander.

Soweit hierin von Kontrolle oder Kontrollieren, insbesondere im Zusammenhang mit einem Absperrorgan, gesprochen wird, wird damit ein Steuern und/oder Regeln verstanden. Auch wenn dies nicht explizit erwähnt ist, können entsprechende Kontrollelektronik und über Absperrorgane hinausgehende Kontrollvorrichtungen, beispielsweise Durchflussmesser, für das Kontrollieren vorgesehen sein.

Die hierin erwähnten Absperrorgane dienen zumindest dazu, in den Verbindungen den Strom des jeweiligen, darin strömenden Fluids, insbesondere Gases, anzuhalten oder durchzulassen. Auch ein Kontrollieren der Durchflussmenge ist je nach Ausführungstyp des eingesetzten Absperrorgans möglich. Dabei ist es möglich, das Absperrorgan in unterschiedlichster Weise auszuführen, beispielsweise als Ventil, Absperrschieber, Absperrhahn oder Absperrklappe.

Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem stromaufwärts des Rückführgasanschlusses eine Reformervorrichtung flu-

idkommunizierend dem Rückführgasanschluss verbunden ist für ein wenigstens teilweises Reformieren der Nebenprodukte aus dem Syntheseprozess. Ziel dieser Reformierung ist insbesondere ein Reformieren des Rückführgases zu Kohlenstoffdioxid oder zumindest einem erhöhten Anteil an Kohlenstoffdioxid im Rückführgas. Dies führt dazu, dass ein verbessertes Vermischen und eine effizientere Umsetzung im Brennstoffzellensystem der auf diese Weise erhöhten Konzentration an Kohlenstoffdioxid möglich wird. Neben der chemischen Reformierung und den damit einhergehenden Vorteilen bei der Rückführung in den Kathodenzuführanschluss unterliegt ein solches Reformieren üblicherweise einem endothermen Prozess. Das bedeutet, dass der Reformierungsprozess üblicherweise endotherm abläuft und damit für das Reformieren zum Beispiel durch gleichzeitiges katalytisches partielles Oxidieren die notwendige Wärme zur Verfügung gestellt wird.

Wie bereits erläutert worden ist, ist eine bestimmte Mindesttemperatur für das Kathodenzuführgas für den Betrieb des Brennstoffzellensystems notwendig. Da es sich bei dem Brennstoffzellensystem insbesondere um Hochtemperaturbrennstoffzellen handelt, ist eine Erhöhung der Temperatur für das Rückführgas ein weiterer energetischer Vorteil. Hier ist nochmals gut zu erkennen, dass die Integration auch eine Reformervorrichtung sowohl in chemischer als auch in thermischer und damit energetischer Sicht Vorteile mit sich bringt. Neben einer vollständigen Reformierung zu CO₂ und/oder CO oder zumindest einer Erhöhung des Konzentrationsverhältnisses an CO₂ kann auch eine einfache Reduktion der Kettenlänge der Kohlenwasserstoffe bereits ausreichend sein, um die gewünschte chemische und/oder thermische Effizienzsteigerung mit sich zu bringen.

Weitere Vorteile sind erzielbar, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem die Reformervorrichtung wenigstens eine der vorliegenden Ausbildungen aufweist:

- Steam-Reformer,
- Dry-Reformer,
- CPOX Reformer.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Selbstverständlich ist es auch möglich, dass eine Reformervorrichtung zwei oder mehr unterschiedliche Reformermodule aufweist, mit unterschiedlichen Refor-

mierabläufen. Die Kombination mehrerer Reformermodule kann dazu dienen, die gewünschte Reformierung weiter zu verbessern und insbesondere eine verstärkte Erhöhung der CO₂-Konzentration mit sich zu bringen. Es kann sogar bevorzugt sein, dass durch eine spezifische Ausgestaltung der Reformerausrichtung diese dazu ausgebildet ist, das Rückführgas vollständig oder im Wesentlichen vollständig wieder in ein kohlenstoffdioxidhaltiges Gas zurückzuführen.

Ebenfalls Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem stromaufwärts des Rückführgasanschlusses wenigstens ein kontrollierbarer Synthese-Rückführgasanschluss angeordnet ist für ein wenigstens teilweises Rückführen des Rückführgases in den Syntheseprozess. Darunter ist zu verstehen, dass das Rückführgas im Gegensatz zu einer langen Rückführung in das Brennstoffzellensystem auch mittels einer kurzen Rückführung direkt in den Syntheseprozess zurückgeführt werden kann. Dies kann zusätzlich oder alternativ zum Rückführananschluss in das Brennstoffzellensystem zur Verfügung gestellt sein. Je nach Betriebsituation und/oder Zusammensetzung des Rückführgases kann es bereits Vorteile mit sich bringen, die kurzkettigen Kohlenwasserstoffe des Rückführgases direkt an den Eingangsabschnitt der Synthesevorrichtung zurückzuführen und damit nochmals durch die Synthese laufen zu lassen. Mit anderen Worten werden die kurzkettigen und damit unbrauchbaren Kohlenwasserstoffe wieder in den Eingangsabschnitt der Synthesevorrichtung zurückgeführt für eine direkte nochmalige Synthese zur Verlängerung der Kettenlänge. Dies kann insbesondere flexibel kontrolliert werden, in Abhängigkeit zum Beispiel der aktuellen CO₂-Verfügbarkeit für das Brennstoffzellensystem, der aktuellen energetischen Situation hinsichtlich einer Temperiernotwendigkeit des Brennstoffzellensystems, aber auch der aktuellen Betriebssituation der Synthesevorrichtung und damit zum Beispiel der chemischen Zusammensetzung des Rückführgases. Die Möglichkeit einer Rückführung des Rückführgases über den Synthese-Rückführgasanschluss direkt in die Synthese erlaubt es also, eine flexible Kontrolle durchzuführen hinsichtlich einer kurzen Rückführung direkt in die Synthesevorrichtung und einer langen Rückführung zurück in das Brennstoffzellensystem. Eine solche Kontrolle kann rein qualitativ und/oder auch quantitativ ausgebildet sein.

Ebenfalls von Vorteil kann es sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Synthese-Rückführgasanschluss stromaufwärts einer Reformervorrichtung angeordnet ist. Wie bereits erläutert worden ist, können Reformervorrichtungen Vorteile mit sich bringen, um das Rückführgas an die nochmalige Verwendung in

dem Brennstoffzellensystem anzupassen. Für eine Rückführung des Rückführgases im kurzen Rückschluss direkt in die Synthesevorrichtung ist eine solche Reformierung nicht notwendig und kann sogar hinderlich sein. Insbesondere dann, wenn bei kurzkettingen Kohlenwasserstoffen im Rückführgas die nochmalige Synthese eine Verlängerung der bestehenden Ketten erzeugen soll, wäre eine Reformierung und damit ein weiteres Verkürzen der Ketten vor dieser kurzen Rückführung möglicherweise kontraproduktiv. Erfindungsgemäß ist also die Reformervorrichtung bei dieser Ausführungsform stromabwärts des Syntheserückführgasanschlusses angeordnet, sodass insbesondere mit flexibel und frei kontrollierbaren Absperrorganen, zum Beispiel Kontrollventilen, der Volumenstrom vor der Reformervorrichtung abgezweigt und dem kurzen Rückführschluss zugeführt werden kann.

Ebenfalls Vorteile kann es mit sich bringen, wenn stromaufwärts des Rückführgasanschlusses eine Rückführgas-Katalysatorvorrichtung fluidkommunizierend mit dem Rückführgasanschluss verbunden ist. Eine solche Rückführgas-Katalysatorvorrichtung kann in eine Reformervorrichtung integriert sein oder diese zumindest teilweise mit ausbilden. Jedoch ist es auch möglich, dass eine solche Rückführgas-Katalysatorvorrichtung unabhängig von einer Reformervorrichtung oder sogar ohne eine Reformervorrichtung in ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem integriert ist. Die katalytische Umsetzung des Rückführgases dient dabei insbesondere der Erhöhung der Temperatur des Rückführgases durch katalysierte chemische Umsetzung von Bestandteilen des Rückführgases. Wie bereits mehrfach erläutert worden ist, ist es ein Ziel der vorliegenden Erfindung die energetische und insbesondere die thermische Effizienz beim Betrieb des Brennstoffzellensystems zu verbessern. Somit unterstützt der Einsatz einer solchen Rückführgas-Katalysatorvorrichtung diese Steigerung der thermischen Effizienz, da durch die Erhöhung der Temperatur des Rückführgases dieses einer Vorwärmung des extern zugeführten Kohlenstoffdioxids dienen kann. Die interne Rückführung der im Rückführgas enthaltenen Energie als Wärme zum Aufheizen des Rückführgases steigert damit in erfindungsgemäßer Weise die Gesamteffizienz beim Betrieb des Brennstoffzellensystem wie auch der Brennstoffzellenanlage.

Weiter von Vorteil ist es ebenfalls, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Rückführgasanschluss in den Kathodenzuführanschluss integriert ist. Dies ist insbesondere eine konstruktive Ausgestaltung, welche die Gesamtkomplexität des Brennstoffzellensystems weiter reduziert. So kann beispielsweise der

Kathodenzuführanschluss integriert ein Absperrorgan aufweisen, welches in quantitativer und/oder qualitativer Weise eine kontrollierte Einbringmöglichkeit für das Rückführgas zur Verfügung stellt. Insbesondere ist es also möglich die Rückführung des Rückführgases ein- und auszustellen und/oder sogar in quantifizierbarer Weise zu kontrollieren.

Von Vorteil ist es ebenfalls, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Kathodenzuführanschluss und der Rückführgasanschluss jeweils wenigstens ein Kontrollventil aufweisen für eine Kontrolle des Volumenstroms an Rückführgas und an Kathodenzuführgas. Während hier grundsätzlich bereits rein qualitativ schaltende Stellventile den Zweck des Stellens und damit des Kontrollierens erfüllen würden, bringt ein quantitatives Schalten mit Hilfe von variabel schaltbaren Regelventilen weitere Vorteile mit sich. Insbesondere dann, wenn eine Integration in einen kurzen Rückführzyklus mit Hilfe eines Syntheserückführgasanschlusses vorgesehen ist, können solche quantitativen regelbaren und damit kontrollierbaren Kontrollventile den Vorteil mit sich bringen, Volumenströme und deren Verhältnisse zueinander flexibel und frei an die jeweilige Betriebssituation anzupassen. Mit anderen Worten wird es nun möglich auf die tatsächliche Zusammensetzung des Rückführgases, die Temperaturverhältnisse im Syntheseprozess wie auch im Brennstoffzellensystem und/oder die Temperaturverhältnisse im Kathodenzuführgas flexibel zu reagieren. Durch eine flexible und damit komplexe Kontrollmöglichkeit der einzelnen Volumenströme kann damit die Effizienz noch weiter gesteigert werden und der erfindungsgemäße Kerngedanke weiter verbessert werden.

Es kann vorteilhaft sein, wenn bei einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage das Brennstoffzellensystem zumindest einen Wärmetauscher aufweist, der in der Restgaszuführverbindung in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabfuhrabschnitt angeordnet ist, und wärmeübertragend mit der Anodenzuführverbindung und/oder der Kathodenzuführverbindung verbunden ist. Weiter ist die Restgaszuführverbindung stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers mit der Anodenzuführverbindung und/oder der Kathodenzuführverbindung fluidkommunizierend verbunden für eine Rückführung des katalytisch verbrannten Restgases in die Anodenzuführverbindung und/oder die Kathodenzuführverbindung.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Ausführungsform ist die doppelte Nutzung des Restgases, welches auch als Tailgas bezeichnet werden kann. Eine erste Nutzung des

Restgases erfolgt durch die katalytische Verbrennung und die damit verbunden thermische Umsetzung zumindest eines Teils des chemischen Energiegehalts des Restgases. Das erwärmte Restgas kann anschließend diese thermische Energie in dem wenigstens einen Wärmetauscher an andere Prozessgase, insbesondere eine Anodenzuführgas und/oder ein Kathodenabführgas abgeben und auf diese Weise die energetische Effizienz beim Betrieb des Brennstoffzellensystems steigern.

Die weitere Nutzung des Restgases bezieht sich auf dessen chemische Zusammensetzung. Da im Restgas üblicherweise Kohlenstoff als Kohlendioxid und/oder als kurzkettige Kohlenwasserstoffe enthalten ist, wird bei der vorliegenden Erfindung dieser Kohlenstoff wieder dem Brennstoffzellenstapel zugeführt. Mit anderen Worten erfolgte eine nochmalige Umsetzung des Restgases mittels des Brennstoffzellenstapels. Neben der Steigerung der Umsetzungseffizienz kann auf diese Weise der Bedarf an extern zugeführtem Kohlenstoffdioxid gesenkt werden.

Zusammenfassend bringt ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem dieser Ausführungsform damit eine energetische und eine chemische Effizienzsteigerung mit sich. Die Produktion von Synthesegas kann mit reduziertem Energieeinsatz und verringerter Menge an Kohlenstoffdioxid durchgeführt werden. Ein weiterer Nebeneffekt der mehrfachen Nutzung des Restgases ist die Reduktion der anfallenden Abgase aus der Syntheseanlage. Die Menge an Restgas, welche nicht als Nutzgas aus der Syntheseanlage genutzt werden kann, muss also nicht nachbehandelt und an die Umgebung abgegeben werden. Vielmehr reduzierte sich durch die Rückführung des Restgases in das Brennstoffzellensystem die Abgasmenge um diese Rückführmenge. Neben der Effizienzsteigerung wird also auch eine Abgasreduktion erreicht.

Es kann von Vorteil sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem die Restgaszuführverbindung einen Restgasbypass aufweist, welcher an dem zumindest einen Wärmetauscher vorbei fluidkommunizierend mit der Anodenzuführverbindung und/oder der Kathodenzuführverbindung verbunden ist. Es kann dabei Vorteile mit sich bringen, wenn die Wärme, welche durch die katalytische Verbrennung im Restgas entsteht, nicht separat über Wärmetauscher dem jeweiligen Anodenzuführgas und/oder Kathodenzuführgas zugeführt wird. Da bei Wärmetauschern Betriebsverluste möglich sind und insbesondere eine Aufheizphase zu berücksichtigen ist, kann insbesondere dann, wenn ein maximaler Wärmeeintrag in eines dieser Zuführgase gewünscht ist, der Restgasbypass durch die direkte Vermischung des

aufgeheizten Restgases mit dem Anodenzuführgas oder dem Kathodenzuführgas, einen maximalen Wärmeeintrag ermöglichen. Bei dieser Betriebsweise ist insbesondere auf die Gaszusammensetzung des Restgases zu achten. So wird beispielsweise beim Vorhandensein von CO₂ eine solche direkte Einbringen in den Luftpfad unterbunden. Ein solcher Restgasbypass kann zum Beispiel mit Hilfe eines Bypassventils ausgestaltet sein, um eine Teilmenge und/oder auch die vollständige aufgeheizte Restgasmenge in das jeweilige Zuführgas zu überführen. Mit anderen Worten wird das katalytisch verbrannte Restgas und das auf diese Weise aufgeheizte Restgas direkt über einen Restgasbypass dem jeweiligen Zuführgasstrom zugemischt und gelangt zusammen mit diesem Anodenzuführgas oder dem Kathodenzuführgas als Mischgas direkt in den Brennstoffzellenstapel.

Bei einem Brennstoffzellensystem gemäß dem voranstehenden Absatz kann es von Vorteil sein, wenn der Restgasbypass ein Bypassventil aufweist für eine Kontrolle der direkten fluidkommunizierenden Verbindung an dem zumindest einen Wärmetauscher vorbei. Bevorzugt ist der Restgasbypass so ausgestaltet, dass er an allen möglicherweise vorhandenen Wärmetauschern vorbei einen Bypass ausbildet. Das Bypassventil kann als reines Stellventil zwischen einer Offenposition und einer Geschlossenposition schaltbar ausgebildet sein. Bevorzugt ist jedoch ein variables Regelventil, um eine variable Kontrolle, insbesondere in quantitativer Weise, für die gewünschte Bypassmenge durch den Restgasbypass zur Verfügung zu stellen. Wie bereits im voranstehenden Absatz erläutert worden ist, kann auf diese Weise die gewünschte Mischtemperatur im Anodenzuführabschnitt, sofern das Restgas frei von CO₂ ist, und/oder Kathodenzuführabschnitt und damit die Temperatur des sich ergebenden Mischgases kontrolliert eingestellt werden.

Weitere Vorteile können erzielt werden, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellenstapel die Restgaszuführverbindung wenigstens abschnittsweise die Anodenabführverbindung ausbildet. Während grundsätzlich die Restgasnachbehandlung komplett separat von allen anderen Anodenabgas- und Kathodenabgasverbindungen ausgestaltet sein kann, ist bei dieser Ausführungsform eine Integration möglich. Die Restgaszuführverbindung wird hier in die Anodenabführverbindung integriert und bindet damit diese Anodenabführverbindung mit aus. Dies führt dazu, dass es möglich ist, Anodenabgas aus dem Anodenabschnitt des Brennstoffzellenstapels mit dem Restgas zu kombinieren. Bevorzugt findet diese Vermischung von Anodenabgas und Restgas stromaufwärts des wenigstens einen Katalysators statt, sodass hier ein

Mischgas aus Restgas und Anodenabgas der katalytischen Verbrennung zugeführt wird. Auch später noch erläuterte Bypässe aus der Zuluft, also dem Anodenzuführabschnitt, sind hier grundsätzlich denkbar, insbesondere um die stöchiometrischen Verhältnisse für die katalytische Verbrennung kontrolliert anpassen zu können für eine optimierte katalytische Verbrennung und eine auf diese Weise verbesserte energetische Umsetzung in der Katalysatorvorrichtung.

Bei einem Brennstoffzellensystem gemäß dem voranstehenden Absatz kann es von Vorteil sein, wenn stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers und stromaufwärts der fluidkommunizierenden Verbindung zu der Anodenzuführverbindung und/oder zu der Kathodenzuführverbindung ein Abzweigabschnitt angeordnet ist in die Anodenabführverbindung. Dies erlaubt es, je nach tatsächlicher chemischer Zusammensetzung in der Restgaszuführverbindung über den Abzweigabschnitt einen Teil der katalytisch verbrannten Restgase oder Mischgase über die Anodenabführverbindung wieder abzuführen. Auch hier ist es möglich, je nach Betriebssituation des Brennstoffzellensystems flexibel auf die unterschiedlichen chemischen und thermischen Gassituationen einzugehen und den Volumenstrom, insbesondere für die Rückführung in den Anodenzuführabschnitt und/oder den Kathodenzuführabschnitt, variabel anzupassen. Auch dieser Abzweigabschnitt ist vorzugsweise mit einem Abzweigventil ausgestattet, welches entweder quantitativ, zum Beispiel in Form eines Sperrventils, oder quantitativ in Form eines variablen Regelventils ausgebildet ist. Dies erlaubt es, den Abzweigabschnitt einfach zu öffnen und abzusperren oder mit Hilfe der quantitativen Regelventile eine definierte Kontrolle eines Volumenstroms über diesen Abzweigabschnitt vorzugeben.

Unter dem Anodengas wird das zum Anodenabschnitt zugeführte Gas, also insbesondere Luft oder Sauerstoff, verstanden. Dies schließt das Anodenabgas, also das vom Anodenabschnitt abgeführte Abgas, insbesondere Luft und/oder Sauerstoff, aus. Unter dem Kathodengas wird das zum Kathodenabschnitt zugeführte Gas, insbesondere Stickstoffdioxid, Wasserdampf und/oder ein Schutzgas, verstanden. Dies schließt das Kathodenabgas, also das vom Kathodenabschnitt abgeführte synthetische Gas, aus.

Vorteilhaft ist außerdem, wenn der Syntheseprozess ein Fischer-Tropsch-Prozess ist. Die Kopplung von Hochtemperaturelektrolyse, insbesondere Hochtemperatur-Co-Elektrolyse, und Fischer-Tropsch-Synthese (kurz FTS) hat sich als besonders viel-

versprechende Variante für die Herstellung unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe gezeigt. Bei der FTS wird aus der Hochtemperatur-Co-Elektrolyse entstandenes Synthesegas bei vergleichsweise moderateren Temperaturen, insbesondere im Temperaturbereich von 200 bis 300 °C, und erhöhten Drücken, insbesondere im Druckbereich von 10 bis 30 bar, mithilfe eines Katalysators, insbesondere Co- oder Fe-basiert, zu Kohlenwasserstoffmolekülen mit verschiedenen Kettenlängen umgesetzt. Der FTS-Prozess ist stark exotherm. Um die Temperatur in dem angegebenen Temperaturbereich halten zu können, kann über die Länge eines Reaktors in der Syntheseanlage gekühlt werden. Die Kühlung kann dabei mit Wasserverdampfung beim angegebenen Druckniveau erfolgen. Der Wasserdampf kann im Anschluss für weitere Prozessschritte sowie, wie zuvor erwähnt, für die Hochtemperatorelektrolyse selbst durch Zuführen des Wasserdampfes zum Kathodengas genutzt werden. Die bei FTS entstehende Kohlenwasserstoff-Kettenlängenverteilung wird über eine Kettenwachstumswahrscheinlichkeit beschrieben (bei hoher Kettenwachstumswahrscheinlichkeit große Moleküle und damit Verschiebung in Richtung Flüssigkraftstoffe). Das Synthesegas wird dabei jedoch nicht zur Gänze umgesetzt. Außerdem entstehen je nach Kettenwachstumswahrscheinlichkeit kurzkettige Moleküle, die nicht als Flüssigkraftstoff genutzt werden können. Das nicht umgesetzte Synthesegas und die entstehenden kurzkettigen Kohlenwasserstoffe können in der Produktaufbereitung als das Restgas abgeschieden werden. Während das Restgas zum Teil in die FTS rezirkuliert werden kann, muss teilweise ausgetragen werden. Insbesondere der ausgetragene Teil des Restgases wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren genutzt.

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

- Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage,
- Fig. 2 eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage,
- Fig. 3 eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage,

- Fig. 4 eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage,
- Fig. 5 eine fünfte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage,
- Fig. 6 eine sechste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage, und
- Fig. 7 eine siebte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage.
- Fig. 8 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage.

Identische oder funktionsgleiche Elemente sind in den Figuren 1 bis 8 jeweils mit demselben Bezugszeichen bezeichnet.

Figur 1 zeigt schematisch eine Brennstoffzellenanlage 30 umfassend ein Brennstoffzellensystem 10 mit einem Brennstoffzellenstapel 100 sowie ein Synthesystem 20 mit einer Syntheseanlage 900. Das Brennstoffzellensystem 10 und das Synthesystem 20 sind fluidtechnisch miteinander gekoppelt, wie später näher erläutert wird.

Beispielhaft ist in der Fig. 1 nur ein Brennstoffzellenstapel 100 gezeigt. Gleichwohl ist es möglich, mehrere Brennstoffzellenstapel 100 vorzusehen. Der Brennstoffzellenstapel 100 weist einen Kathodenabschnitt 110 mit einem Kathodenzuführabschnitt 112 und einem Kathodenabführabschnitt 114 auf. Ferner weist der Brennstoffzellenstapel 100 einen Anodenabschnitt 120 mit einem Anodenzuführabschnitt 122 und einem Anodenabführabschnitt 124 auf. An dem Brennstoffzellenstapel 100 ist eine Stromversorgungsquelle 130 angeschlossen, die Strom aus erneuerbaren Energien bereitstellt. Der Brennstoffzellenstapel 100 ist vorliegend als ein Festoxid-Brennstoffzellenstapel ausgebildet und wird im reversen Modus zur Hochtemperatur-Co-Elektrolyse verwendet.

Mittels eines Anodengasanschlusses 202 wird dabei Anodengas in Form von Frischluft in dem Brennstoffzellensystem 10 bereitgestellt. Das Anodengas wird über eine Anodenzuführverbindung 200, die mit dem Anodengasanschluss 202 und dem Ano-

denzuführabschnitt 122 fluidtechnisch gekoppelt ist, an dem Brennstoffzellenstapel 100 zur Elektrolyse bereitgestellt. In der Anodenzuführverbindung 200 sind dabei eine Filtereinrichtung 204, insbesondere in Form eines Luftfilters, zur Luftfilterung sowie ein Gebläse 206 für den Transport des Anodengases angeordnet.

In der Anodenzuführverbindung 200 ist in Strömungsrichtung des Anodengases von dem Anodengasanschluss 202 zum Anodenzuführabschnitt 122 hinter der Filtereinrichtung 204 und dem Gebläse 206 ein erster Wärmetauscher 220 angeordnet. Der erste Wärmetauscher 220 wird zum Wärmeaustausch mit einem warmen Anodenabgas, insbesondere in Form von vom Anodenabschnitt 120 abgeführter Abluft, aus dem Brennstoffzellenstapel 100 genutzt. Dazu ist der erste Wärmetauscher 220 mit einer Anodenabführverbindung 300 wärmetechnisch vor einem Katalysator 404 in Form eines Oxidationskatalysators gekoppelt. Die Anodenabführverbindung 300 verbindet den Anodenabführabschnitt 124 fluidtechnisch mit einem Anodenabführanschluss 316.

Wie die Figur 1 zeigt, ist als ein weiterer Anschluss ein Rückführgasanschluss 520 als Teil des Brennstoffzellensystems 10 vorgesehen. Die nachfolgende Synthesanlage 900 produziert Produktionsgas, welches insbesondere unterschiedliche Kettenlängen an Kohlenwasserstoffen aufweist. Mit Hilfe einer hier schematisch dargestellten Trennvorrichtung 932 wird nun das produzierte Gas unterteilt in brauchbare und unbrauchbare Bestandteile, insbesondere hinsichtlich der vorhandenen Kettenlänge der Kohlenwasserstoffe. Für die geplante Nutzung zu kurze Kettenlängen der Kohlenwasserstoffe werden als unbrauchbares Rückführgas nun aus der Trennvorrichtung 932 separat vom brauchbaren Anteil, welcher als Nutzgas bezeichnet werden kann, in die Rückführgasabführverbindung 930 eingeführt. Diese Rückführgasabführverbindung 930 ist fluidkommunizierend mit dem Rückführgasanschluss 520 verbunden.

Das Rückführgas, also die kurzkettigen Kohlenwasserstoffe, werden hier nun direkt in die Kathodenzuführverbindung 500 eingebracht und stellen damit eine Ergänzung der Ausgangsstoffe für die Durchführung des chemischen Prozesses im Brennstoffzellenstapel 100 zur Verfügung. Damit wird zumindest die chemische Rückführung als langer Rückführzyklus gewährleistet. Alternativ zu der direkten Einbringung in die Kathodenzuführverbindung 500 kann auch eine indirekte, insbesondere kontrollierte Einbringung vorgesehen sein. Insbesondere kann eine solche kontrollierte Einbrin-

gung eine gezielte Anpassung und/oder Änderung der Gaszusammensetzung in der Kathodenzuführverbindung 500 erlauben

Ein erster Bypasspfad 208 mit darin angeordnetem ersten Absperrorgan 210 verbindet die Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases vor dem ersten Wärmetauscher 220 mit der Anodenabführverbindung 300 vor dem Katalysatorzuführabschnitt 406 und erlaubt es somit, den Luftanteil des Anodenabgases vor dem Eintritt in den Katalysator 404 weiter zu erhöhen.

Hierneben ist ein zweiter Bypasspfad 212 mit zweitem Absperrorgan 214 vorgesehen, der die Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases vor dem ersten Wärmetauscher 220 mit der Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem ersten Wärmetauscher 220 verbindet und es dadurch ermöglicht, die Temperatur des Anodenabgases vor dem Katalysator 404 mittels Regulierung der den ersten Wärmetauscher 220 durchströmenden Anodengasmenge zu kontrollieren. Ferner ist in Strömungsrichtung vor dem zweiten Wärmetauscher 220 und hinter dem zweiten Bypasspfad 212 ein drittes Absperrorgan 218 angeordnet.

Die heißen Katalysator-Abgase strömen in der Anodenabführverbindung 300 durch zwei einzelne Teilpfade 302, 308, in die sich die Anodenabführverbindung 300 in Strömungsrichtung des Katalysator-Abgases hinter dem Katalysatorabführabschnitt 408 aufteilt. In dem ersten Teilpfad 302 befindet sich ein zweiter Wärmetauscher 304, der wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung 200 gekoppelt ist. Dies erlaubt es, die Wärme des Katalysator-Abgases an das Anodengas vor dem Anodenzuführabschnitt 122 abzugeben. Hinter dem zweiten Wärmetauscher 304 befindet sich ein viertes Absperrorgan 306 zur Kontrolle des Katalysator-Abgasstroms in dem ersten Teilpfad 302.

In dem zweiten Teilpfad 308 befindet sich ein dritter Wärmetauscher 310 mit einem in Strömungsrichtung des Katalysator-Abgases dahinter angeordneten fünften Absperrorgan 312. Der dritte Wärmetauscher 310 ist wärmetechnisch mit einer Kathodenzuführverbindung 500 gekoppelt. Die Kathodenzuführverbindung 500 verbindet einen Kathodenzuführanschluss 502 fluidtechnisch mit dem Kathodenzuführabschnitt 112. In der Kathodenzuführverbindung 500 wird Kathodengas, insbesondere Stickstoffdioxid, aus dem Kathodenzuführanschluss 502 zum Kathodenzuführabschnitt 112 zugeführt. In Strömungsrichtung des Anodengases vor dem Kathodenabschnitt

110 ist in der Kathodenzuführverbindung 500 ein Ejektor 504 angeordnet. Ferner ist in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem Ejektor 504 eine zweite Heizeinrichtung 506, vorliegend in Form eines elektrischen Heizers, angeordnet. Durch den dritten Wärmetauscher 310 lässt sich das Kathodengas mit der Wärme aus dem Katalysator-Abgas erwärmen.

In Strömungsrichtung des Katalysator-Abgases hinter dem zweiten Wärmetauscher 304 und dem dritten Wärmetauscher 310 befindet sich in der Ausführungsform der Fig. 1 in der Anodenabführverbindung 300 ein vierter Wärmetauscher 314. Der vierte Wärmetauscher 314 ist wärmetechnisch mit einer ersten Zusatzzuführverbindung 700 gekoppelt, die einen ersten Zusatzzuführanschluss 702 mit der Kathodenzuführverbindung 500 fluidtechnisch verbindet. Von dem ersten Zusatzzuführanschluss 702 wird für die Hochtemperatur-Co-Elektrolyse Wasser oder Wasserdampf bereitgestellt, welches durch den vierten Wärmetauscher 314 erwärmt wird und zur Kathodenzuführverbindung 500 strömt.

Mittels einer Kathodenabführverbindung 600, die fluidtechnisch den Kathodenabführabschnitt 114 mit einem Kathodenabführanschluss 612 verbindet, wird Kathodenabgas in Form des durch die Hochtemperatur-Co-Elektrolyse erzeugten Synthesegases, aufweisend Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid, zum Synthesesystem 20 abgeführt. In der Kathodenabführverbindung 600 sind dabei beispielhaft zwei Wärmetauscher 608, 610, nämlich ein sechster Wärmetauscher 608 und ein siebter Wärmetauscher 610 wärmetechnisch angeordnet und wärmetechnisch mit der Kathodenzuführverbindung 500 gekoppelt, um Wärme von dem Synthesegas auf das Kathodengas zu übertragen und so die Effizienz des Brennstoffzellensystems 10 zu erhöhen.

Eine zweite Zusatzzuführverbindung 800 verbindet einen zweiten Zusatzzuführanschluss 802 zum Zuführen eines Schutzgases fluidtechnisch mit der Kathodenzuführverbindung 500. Dabei teilt sich die zweite Zusatzzuführverbindung 800 hier beispielhaft in zwei Teilpfade 804, 806, nämlich einen dritten Teilpfad 806 und einen vierten Teilpfad 806, auf. Der dritte Teilpfad 804 führt zur Anodenzuführverbindung 500 in Strömungsrichtung vor dem Ejektor 504 und insbesondere vor den Wärmetauschern 608, 610, während der vierte Teilpfad 806 zum Ejektor 504 führt. Ein dritter Bypasspfad 602 führt von dem Kathodenabführabschnitt 600 zum vierten Teilpfad 806 vor dem Ejektor 504. In dem dritten Bypasspfad 602 sind eine Düse 604, insbe-

sondere eine Venturidüse, und ein sechstes Absperrorgan 606, insbesondere ein Ventil, angeordnet.

Der gemäß der vorstehend beschriebenen Art und Weise mit Anodengas, umfassend Luft, und Kathodengas, umfassend Stickstoffdioxid, Wasserdampf und Schutzgas, versorgte Brennstoffzellenstapel 100 erzeugt im reversen Modus durch Hochtemperatur-Co-Elektrolyse das Kathodenabgas in Form von Synthesegas, umfassend Wasserstoff und Stickstoffmonoxid, und das Anodenabgas, umfassend Abluft. Das Anodenabgas wird durch den Katalysator 404 katalytisch verbrannt, sodass vom Brennstoffzellensystem 10 an dem Anodenabführanschluss 316 Katalysator-Abgase abgeschieden werden.

Das Synthesegas wird durch eine Synthesegaszuführverbindung 906, die einen Synthesezuführabschnitt 902 der Syntheseanlage 900 fluidtechnisch mit dem Kathodenabführanschluss 612 verbindet, an der Syntheseanlage 900 des Synthesesystems 20 bereitgestellt. In einem dortigen, nicht explizit gezeigten Reaktor durchläuft es einen Syntheseprozess, insbesondere einen Fischer-Tropsch-Syntheseprozess, und wird zur synthetischen Kohlenwasserstoffen umgesetzt. Die Kohlenwasserstoffe werden über eine mit einem Syntheseabführabschnitt 904 fluidtechnisch verbundene Kohlenwasserstoffabführverbindung 908 abgeführt.

Figur 2 baut auf der technischen Lösung der Figur 1 auf. Ergänzend wurde bei dieser Ausführungsform jedoch eine Reformervorrichtung 522 stromaufwärts des Rückführgasanschlusses 520 positioniert. Eine solche Reformervorrichtung dient dabei insbesondere beim Reformieren des Rückführgases, zum Beispiel der weiteren Verkürzung der Kettenlänge der Kohlenwasserstoffe im Rückführgas. Auch ein Reformieren zu einer erhöhten Konzentration an Kohlenstoffdioxid ist hier als Teil der Reformervorrichtung grundsätzlich denkbar. Damit wird es zum einen möglich die chemische Nutzbarkeit im Brennstoffzellenstapel 100 zu verbessern, sodass die chemische Effizienz gesteigert wird. Wenn diese Reformierung als endotherme Reformierung abläuft und damit mit einer Temperaturerhöhung notwendig ist, kann eine katalytische Oxidation die notwendige Wärme zur Verfügung stellen. Das Rückführgas mit erhöhter Temperatur kann nun also einem Kathodenzuführgas über eine externe Quelle am Kathodenzuführanschluss 502 beigemischt werden und wird durch dieses Vermischen und die eigene erhöhte Temperatur direkt zu einer erhöhten Mischtemperatur

des Mischgases als Kathodenzuführgas führen. Neben der chemischen Effizienzsteigerung wird auch eine thermische Effizienzsteigerung auf diese Weise möglich.

Auch die Figur 3 zeigt eine Weiterbildung der Ausführungsform der Figur 1. Hier ist ein Synthese-Rückführgasanschluss 530 vorgesehen, welcher stromaufwärts des Rückführgasanschlusses 520 angeordnet ist. Auf diese Weise werden zwei parallele Möglichkeiten einer Rückführung vorgesehen. Ein langer Rückführzyklus in das Brennstoffzellensystem 10 und damit dem Brennstoffzellenstapel 100 wird über den Rückführgasanschluss 520 gewährleistet. Alternativ, zum Beispiel mit Hilfe von Absperrorganen oder Kontrollventilen auch kontrollierbar, kann über den Synthese-Rückführgasanschluss 530 ein kurzer Rückführzyklus bedient werden. Bei diesem Rückführzyklus erfolgt die Rückführung des Rückführgases sozusagen am Brennstoffzellensystem 10 vorbei direkt in die Synthesegaszuführverbindung 906 und dient damit einer direkten und nochmaligen Synthetisierung ausgehend von dem Rückführgas.

Auch die Figur 4 zeigt nochmals eine Weiterbildung der Ausführungsform der Figur 1. Hier ist eine Rückführgaskatalysatorvorrichtung 524 vorgesehen, welche durch eine katalytisch chemische Umsetzung des Rückführgases zum Beispiel zumindest teilweise eine Reformierung durchführen kann. Kerngedanke des Einsatzes einer Rückführgaskatalysatorvorrichtung 524 ist es jedoch, durch die katalytische Umsetzung zumindest Teilbestandteile des Rückführgases eine Temperaturerhöhung für das Rückführgas zu erzielen. Wie bereits erläutert worden ist, stellt sich durch die erhöhte Temperatur, insbesondere durch die katalytisch nochmals erhöhte Temperatur des Rückführgases eine erhöhte Mischtemperatur mit dem von extern zugeführten Kathodenzuführgas ein, sodass entsprechend die thermische Effizienz beim Betrieb des Brennstoffzellensystems 10 steigt.

In den Figuren 5 bis 7 werden drei Varianten dargestellt, welche die Nutzung der Wärme und der chemischen Bestandteile in Kombination aus dem Restgas erlaubt.

Figur 5 zeigt schematisch eine Brennstoffzellenanlage 30 umfassend ein Brennstoffzellensystem 10 mit einem Brennstoffzellenstapel 100 sowie ein Synthesesystem 20 mit einer Syntheseanlage 900. Das Brennstoffzellensystem 10 und das Synthesesystem 20 sind fluidtechnisch miteinander gekoppelt, wie später näher erläutert wird.

Beispielhaft ist in der Fig.5 nur ein Brennstoffzellenstapel 100 gezeigt. Gleichwohl ist es möglich, mehrere Brennstoffzellenstapel 100 vorzusehen. Der Brennstoffzellenstapel 100 weist einen Kathodenabschnitt 110 mit einem Kathodenzuführabschnitt 112 und einem Kathodenabführabschnitt 114 auf. Ferner weist der Brennstoffzellenstapel 100 einen Anodenabschnitt 120 mit einem Anodenzuführabschnitt 122 und einem Anodenabführabschnitt 124 auf. An dem Brennstoffzellenstapel 100 ist eine Stromversorgungsquelle 130 angeschlossen, die Strom aus erneuerbaren Energien bereitstellt. Der Brennstoffzellenstapel 100 ist vorliegend als ein Festoxid-Brennstoffzellenstapel ausgebildet und wird im reversen Modus zur Hochtemperatur-Co-Elektrolyse verwendet.

Mittels eines Anodengasanschlusses 202 wird dabei Anodengas in Form von Frischluft in dem Brennstoffzellensystem 10 bereitgestellt. Das Anodengas wird über eine Anodenzuführverbindung 200, die mit dem Anodengasanschluss 202 und dem Anodenzuführabschnitt 122 fluidtechnisch gekoppelt ist, an dem Brennstoffzellenstapel 100 zur Elektrolyse bereitgestellt. In der Anodenzuführverbindung 200 sind dabei eine Filtereinrichtung 204, insbesondere in Form eines Luftfilters, zur Luftfilterung sowie ein Gebläse 206 für den Transport des Anodengases angeordnet.

In der Anodenzuführverbindung 200 ist in Strömungsrichtung des Anodengases von dem Anodengasanschluss 202 zum Anodenzuführabschnitt 122 hinter der Filtereinrichtung 204 und dem Gebläse 206 ein erster Wärmetauscher 224 angeordnet. Der erste Wärmetauscher 224 wird zum Wärmeaustausch mit einem warmen Anodenabgas, insbesondere in Form von vom Anodenabschnitt 120 abgeführter Abluft, aus dem Brennstoffzellenstapel 100 genutzt. Dazu ist der erste Wärmetauscher 224 mit einer Anodenabführverbindung 300 wärmetechnisch vor einem zweiten Katalysator 418 in Form eines Oxidationskatalysators gekoppelt. Die Anodenabführverbindung 300 verbindet den Anodenabführabschnitt 124 fluidtechnisch mit einem Anodenabführanschluss 308.

Der zweite Katalysator 418 ist in der Anodenabführverbindung 300 in Strömungsrichtung des Anodenabgases hinter dem ersten Wärmetauscher 224 angeordnet und mittels einer Restgaszuführverbindung 400 fluidtechnisch mit einem Restgasanschluss 402 gekoppelt. Der Restgasanschluss 402 bezieht Restgas aus der Syntheseanlage 900, wie später näher beschrieben wird. Das an einen zweiten Katalysatorzuführabschnitt 420 des zweiten Katalysators 418 bereitgestellte Restgas, welches

an einem Knotenpunkt der Restgaszuführverbindung 400 mit der Anodenabführverbindung 300 mit dem Anodenabgas in der Anodenabführverbindung 300 zu einem Restgas-Anodenabgas-Gemisch vermischt wird, wird von dem zweiten Katalysator 418 katalytisch verbrannt. Aus dem zweiten Katalysatorabführabschnitt 422 treten heiße Katalysator-Abgase mit einer Temperatur im Bereich von 800 bis 1000 °C, insbesondere um ca. 950 °C, aus.

Ein zweiter Bypasspfad 212 mit darin angeordnetem zweiten Absperrorgan 214 verbindet die Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases vor dem ersten Wärmetauscher 224 mit der Anodenabführverbindung 300 vor dem zweiten Katalysatorzuführabschnitt 420 und erlaubt es somit, den Luftanteil des Restgas-Anodenabgas-Gemisches vor dem Eintritt in den zweiten Katalysator 418 weiter zu erhöhen und das Restgas-Anodenabgas-Gemisch weiter zu kühlen.

Hierneben ist ein dritter Bypasspfad 216 mit einem dritten Absperrorgan 218 vorgesehen, der die Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases vor dem ersten Wärmetauscher 224 mit der Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem ersten Wärmetauscher 224 verbindet und es dadurch ermöglicht, die Temperatur des Restgas-Anodenabgas-Gemisches vor dem zweiten Katalysator 418 mittels Regulierung der den ersten Wärmetauscher 224 durchströmenden Anodengasmenge zu kontrollieren. Ferner ist in Strömungsrichtung vor dem zweiten Wärmetauscher 224 und hinter dem dritten Bypasspfad 216 ein viertes Absperrorgan 222 angeordnet.

Die heißen Katalysator-Abgase des zweiten Katalysators 418 strömen aus dem zweiten Katalysatorabführabschnitt 422 in der Anodenabführverbindung 300 durch einen zweiten Wärmetauscher 302, der wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung 200 gekoppelt ist. Dies erlaubt es, die Wärme des Katalysator-Abgases des zweiten Katalysators 418 an das Anodengas vor dem Anodenzuführabschnitt 122 abzugeben.

Neben dem zweiten Katalysator 418 umfasst das Brennstoffzellensystem 10 auch einen weiteren, hierin als ersten bezeichneten Katalysator 408. Der erste Katalysator 408 ist in der Anodenabführverbindung 300 in Strömungsrichtung hinter dem zweiten Katalysator 418 angeordnet, also hinter dem zweiten Wärmetauscher 302 und im Katalysator-Abgasstrom des zweiten Katalysators 418. Dazu teilt sich die Restgaszuführverbindung 400 in zwei einzelne Teilpfade 404, 414, nämlich einen ersten Teil-

pfad 404 und einen zweiten Teilpfad 414 auf. In dem ersten Teilpfad 404 ist ein fünftes Absperrorgan 406 angeordnet. In dem zweiten Teilpfad 414 ist ein sechstes Absperrorgan 416 angeordnet. Insoweit ist mittels der Absperrorgane 406, 416 die Restgasmenge kontrollierbar, die dem jeweiligen der beiden Katalysatoren 408, 418 zugeführt wird und damit die Wärmemenge, die durch die katalytische Verbrennung mit den Katalysator-Abgasen von diesen abgegeben wird. Dabei erfolgt, wie oben bereits erläutert, vor dem zweiten Katalysatorzuführabschnitt 420 des zweiten Katalysators 418 ein Vermischen von Restgas und Anodenabgas am besagten Knotenpunkt. Auch vor einem ersten Katalysatorzuführabschnitt 410 des ersten Katalysators erfolgt an einem Knotenpunkt, in dem der Anodenabführabschnitt 300 und der erste Teilpfad 404 aufeinander treffen, eine entsprechende Vermischung von Restgas und Katalysator-Abgasen, die hierin weiterhin auch als Anodenabgas bezeichnet werden, weil sie in der Anodenabführverbindung 300 strömen, zu einem hierin ebenfalls als Restgas-Anodenabgas-Gemisch bezeichneten Gemisch.

In Strömungsrichtung hinter dem ersten Katalysator 408 und seinem ersten Katalysatorabführabschnitt 412 befindet sich in der Anodenabführverbindung 300 ein dritter Wärmetauscher 304. Der dritte Wärmetauscher 304 ist wärmetechnisch mit einer Kathodenzuführverbindung 500 gekoppelt. Die Kathodenzuführverbindung 500 verbindet einen Kathodenzuführanschluss 502 fluidtechnisch mit dem Kathodenzuführabschnitt 112. In der Kathodenzuführverbindung 500 wird Kathodengas, insbesondere Stickstoffdioxid, aus dem Kathodenzuführanschluss 502 zum Kathodenzuführabschnitt 112 zugeführt. In Strömungsrichtung des Anodengases vor dem Kathodenabführabschnitt 110 sind in der Kathodenzuführverbindung 500 ein siebtes Absperrorgan 504 und ein Ejektor 506 angeordnet. Ferner ist in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem Ejektor 506 eine zweite Heizeinrichtung 508, vorliegend in Form eines elektrischen Heizers, angeordnet. Durch den dritten Wärmetauscher 304 lässt sich das Kathodengas mit der Wärme aus dem Katalysator-Abgas eines oder beider Katalysatoren 408, 418 erwärmen.

Ein erster Bypasspfad 208 mit darin angeordnetem ersten Absperrorgan 210 verbindet die Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases vor dem ersten Wärmetauscher 224, und insbesondere vor der Abzweigung zum zweiten Bypasspfad 212, mit der Anodenabführverbindung 300 vor dem ersten Katalysatorzuführabschnitt 410 und erlaubt es somit, den Luftanteil des Restgas-Anodenabgas-

Gemisches vor dem Eintritt in den ersten Katalysator 408 zu erhöhen und das Restgas-Anodenabgas-Gemisch zu kühlen.

Mit der vorstehend erläuterten Anordnung von Katalysatoren 408, 418 in dem Brennstoffzellensystem 10 ist es somit möglich, nur einen oder beide Katalysatoren 408, 418 gemeinsam zu betreiben, wobei letzteres bevorzugt ist. So kann die sauerstoffreiche Abluft im Anodenabgas mit einer ersten, mittels des sechsten Absperrorgans 416 kontrollierbaren Menge des Restgases gemischt zur kontrollierten katalytischen Verbrennung über den zweiten Katalysator 418, der insoweit als erste Oxidationskatalysator-Stufe fungiert, zur Temperaturbereitstellung am zweiten Wärmetauscher 302, der als Luftüberhitzer für die Luft im Anodengas fungiert, geführt werden. Wiederum kann das weiterhin sauerstoffreiche Katalysator-Abgas des zweiten Katalysators 418 mit einer zweiten, mittels des fünften Absperrorgans 406 kontrollierbaren Menge des Restgases gemischt zur kontrollierten katalytischen Verbrennung über den ersten Katalysator 408, der insoweit als zweite Oxidationskatalysator-Stufe fungiert, zur Temperaturbereitstellung am dritten Wärmetauscher 304, der als Reaktantüberhitzer für das Kathodengas fungiert, geführt werden.

Durch die beiden Oxidationskatalysator-Stufen kann bei niedrigeren Oxidationskatalysator-Zieltemperaturen der gleiche Wärmetausch gewährleistet werden (meint den gesamten Massenstrom durch beide Wärmetauscher 302, 304 und die gleiche Enthalpiemenge bei niedrigeren Temperaturen), oder vice versa, wie etwa bei einem einstufigen System mit paralleler Anordnung der beiden Wärmetauscher 302, 304. Außerdem ist ein Vorteil, dass höhere Luft- und Reaktant-Temperaturen bei gleicher Oxidationskatalysator-Zieltemperatur erreicht werden können.

Wie in der Figur 5 dargestellt, stehen bei dieser Ausführungsform zwei parallele Rückführmöglichkeiten zur Verfügung. Zum einen handelt es sich um eine Rückführung in den Anodenzuführabschnitt 200 und zum anderen um eine Rückführung in den Kathodenzuführabschnitt 500. Auch Ausführungsformen mit nur einer dieser beiden Rückführungen sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung denkbar.

Die vorliegende Verschaltung von Katalysatoren 408, 418 in dem Brennstoffzellensystem 10 kann alternativ zu der in Fig. 5 gezeigten Anordnung auch dergestalt sein, dass der dritte Wärmetauscher 304 im Katalysator-Abgasstrom des zweiten Katalysators 418 und der zweite Wärmetauscher 302 im Katalysator-Abgasstrom des ersten Katalysators 408 angeordnet ist. Insoweit wird noch einmal darauf hingewiesen,

dass die Bezeichnung der Komponenten oder Elemente gleicher Art oder gleichen Typs hier lediglich der Unterscheidung dieser voneinander dienen und nicht etwa einer technisch notwendigen Reihenfolge oder dergleichen folgen.

In Strömungsrichtung des Katalysator-Abgases hinter dem zweiten Wärmetauscher 304 befindet sich in der Ausführungsform der Fig. 5 in der Anodenabführverbindung 300 ein vierter Wärmetauscher 306. Der vierte Wärmetauscher 306 ist wärmetechnisch mit einer ersten Zusatzzuführverbindung 700 gekoppelt, die einen ersten Zusatzzuführanschluss 702 mit der Kathodenzuführverbindung 500 fluidtechnisch verbindet. Von dem ersten Zusatzzuführanschluss 702 wird für die Hochtemperatur-Co-Elektrolyse Wasser oder Wasserdampf bereitgestellt, welches durch den vierten Wärmetauscher 306 erwärmt wird und zur Kathodenzuführverbindung 500 strömt.

Mittels einer Kathodenabführverbindung 600, die fluidtechnisch den Kathodenabführabschnitt 114 mit einem Kathodenabführanschluss 612 verbindet, wird Kathodenabgas in Form des durch die Hochtemperatur-Co-Elektrolyse erzeugten Synthesegases, aufweisend Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid, zum Synthesesystem 20 abgeführt. In der Kathodenabführverbindung 600 sind dabei beispielhaft zwei Wärmetauscher 608, 610, nämlich ein sechster Wärmetauscher 608 und ein siebter Wärmetauscher 610 wärmetechnisch angeordnet und wärmetechnisch mit der Kathodenzuführverbindung 500 gekoppelt, um Wärme von dem Synthesegas auf das Kathodengas zu übertragen und so die Effizienz des Brennstoffzellensystems 10 zu erhöhen.

Ein vierter Bypasspfad 602 führt von dem Kathodenabführabschnitt 600 zum Ejektor 506. In dem vierten Bypasspfad 602 sind eine Düse 604, insbesondere eine Venturidüse, und ein achtes Absperrorgan 606, insbesondere ein Ventil, angeordnet.

Eine zweite Zusatzzuführverbindung 800 verbindet einen zweiten Zusatzzuführanschluss 802 zum Zuführen eines Schutzgases fluidtechnisch mit der Kathodenzuführverbindung 500 in Strömungsrichtung der Kathodenzuführverbindung 500 vor dem siebten Absperrorgan 504.

Der gemäß der vorstehend beschriebenen Art und Weise mit Anodengas, umfassend Luft, und Kathodengas, umfassend Stickstoffdioxid, Wasserdampf und Schutzgas, versorgte Brennstoffzellenstapel 100 erzeugt im reversen Modus durch Hochtemperatur-Co-Elektrolyse das Kathodenabgas in Form von Synthesegas, umfassend

Wasserstoff und Stickstoffmonoxid, und das Anodenabgas, umfassend Abluft. Das Anodenabgas wird durch die beiden Katalysatoren 408, 418 zusammen mit Restgas katalytisch verbrannt, sodass vom Brennstoffzellensystem 10 an dem Anodenabführanschluss 308 Katalysator-Abgase abgeschieden werden.

Das Synthesegas wird durch eine Synthesegaszuführverbindung 906, die einen Synthesezuführabschnitt 902 der Syntheseanlage 900 fluidtechnisch mit dem Kathodenabführanschluss 612 verbindet, an der Syntheseanlage 900 des Synthesesystems 20 bereitgestellt. In einem dortigen, nicht explizit gezeigten Reaktor durchläuft es einen Syntheseprozess, insbesondere einen Fischer-Tropsch-Syntheseprozess, und wird zur synthetischen Kohlenwasserstoffen umgesetzt. Die Kohlenwasserstoffe werden über eine mit einem Syntheseabführabschnitt 904 fluidtechnisch verbundene Kohlenwasserstoffabführverbindung 908 abgeführt. Es verbleiben jedoch nicht beim Syntheseprozess umgesetztes Synthesegas sowie kurzkettige Kohlenwasserstoffe, welche teilweise dem Syntheseprozess zurück zugeführt werden können und teilweise als Restgase mittels einer Restgasabführverbindung 910 an den Restgaszuführanschluss 402 abgeführt werden können, die insoweit fluidtechnisch miteinander gekoppelt sind.

Figur 6 zeigt eine Abwandlung der Ausführungsform der Brennstoffzellenanlage 30 der Fig. 5. Und zwar wurde in der Fig. 6 auf den vierten Wärmetauscher 306 verzichtet. Stattdessen wurde ein fünfter Wärmetauscher 310 in der Anodenabführverbindung 300 in Strömungsrichtung hinter den beiden Wärmetauschern 302, 304 eingesetzt, der wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung 200, insbesondere in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem Gebläse 206 und vor dem ersten Wärmetauscher 224, gekoppelt ist. Dies erlaubt es, die Restwärme in dem Anodenabgas bzw. dem Katalysator-Abgas alternativ für das Anodengas bereitzustellen. Gleichwohl ist natürlich auch möglich, sowohl den vierten Wärmetauscher 306 als auch den fünften Wärmetauscher 310 vorzusehen, entweder in Reihenschaltung oder in Parallelschaltung mit entsprechenden Absperrorganen und Bypasspfaden.

Darüber hinaus ist eine beliebige Konfiguration der gezeigten Wärmetauscher 224, 302, 304, 306, 310, 608, 610 möglich, was bedeutet, dass diese Wärmetauscher jeweils alleine oder in beliebiger Auswahl daraus in dem Brennstoffzellensystem 10 eingesetzt werden können, sodass es nicht notwendig ist, das Brennstoffzellensystem 10 mit allen Wärmetauschern 224, 302, 304, 306, 310, 608, 610 auszustatten.

Figur 7 zeigt eine Variation der Brennstoffzellenanlage 30 der Ausführungsform der Fig. 1, bei welcher Restgasbypässe 430 vorgesehen sind, welche an dem jeweiligen Wärmetauscher 304, 302 vorbei das Restgas in der katalytisch verbrannten Form in den Anodenzuführabschnitt 200, sofern das Restgas frei von CO₂ ist, und/oder den Kathodenzuführabschnitt 500 einbringen. Weiter zeigt die Variante der Figur 3 die Möglichkeit eine Trennung des Anodenabgases und des Restgases. So kann hier stromabwärts des Wärmetauschers 224 das Anodenabgas direkt dem Anodenabführanschluss 308 zugeführt werden. Mittels eines Abzweigabschnitts 440 besteht die Möglichkeit einer Überführung des Restgases in die Anodenabführverbindung 300.

In der Figur 8 ist eine Alternative Ausführungsform dargestellt. Bei dieser handelt es sich um eine Variante mit dem ersten Wärmetauscher 220 in einem separaten Pfad der Anodenzuführverbindung 200. Dieser separate Pfad kann mit nicht dargestellten Ventilen qualitativ und/oder quantitativ als Bypass geschaltet werden. Auf diese Weise kann die Kontrollierbarkeit, insbesondere die Regelbarkeit der Betriebsweise weiter verbessert werden. Diese Ausführungsform kann auf allen anderen Varianten, insbesondere die der Figuren 1 bis 7 ebenfalls angewendet werden.

Die voranstehenden Erläuterungen der Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

Bezugszeichenliste

10	Brennstoffzellensystem
20	Synthesesystem
30	Brennstoffzellenanlage
100	Brennstoffzellenstapel
110	Kathodenabschnitt
112	Kathodenzuführabschnitt
114	Kathodenabführabschnitt
120	Anodenabschnitt
122	Anodenzuführabschnitt
124	Anodenabführabschnitt
130	Stromversorgungsquelle
200	Anodenzuführverbindung
202	Anodenzuführanschluss
204	Filtereinrichtung
206	Gebläse
208	erster Bypasspfad
210	erstes Absperrorgan
212	zweiter Bypasspfad
214	zweites Absperrorgan
216	erste Heizeinrichtung
218	drittes Absperrorgan
220	erster Wärmetauscher
300	Anodenabführverbindung
302	erster Teilpfad
304	zweiter Wärmetauscher
306	viertes Absperrorgan
308	zweiter Teilpfad
310	dritter Wärmetauscher
312	fünftes Absperrorgan
314	vierter Wärmetauscher
316	Anodenabführanschluss
318	fünfter Wärmetauscher
400	Restgaszuführverbindung
402	Restgaszuführanschluss

404	Katalysator
406	Katalysatorzuführabschnitt
408	Katalysatorabführabschnitt
430	Restgasbypass
440	Abzweigeabschnitt
500	Kathodenzuführverbindung
502	Kathodenzuführanschluss
504	Ejektor
506	zweite Heizeinrichtung
520	Rückführgasanschluss
522	Reformervorrichtung
524	Rückführgas-Katalysatorvorrichtung
530	Synthese-Rückführgasanschluss
600	Kathodenabführverbindung
602	dritter Bypasspfad
604	Düse
606	sechstes Absperrorgan
608	sechster Wärmetauscher
610	siebter Wärmetauscher
612	Kathodenabführanschluss
700	erste Zusatzzuführverbindung
702	erster Zusatzzuführanschluss
800	zweite Zusatzzuführverbindung
802	zweiter Zusatzzuführanschluss
804	dritter Teilpfad
806	vierter Teilpfad
900	Syntheseanlage
902	Synthesezuführabschnitt
904	Syntheseabführabschnitt
906	Synthesegaszuführverbindung
908	Kohlenwasserstoffabführverbindung
910	Restgasabführverbindung
914	Kühleinrichtung
916	dritte Zusatzzuführverbindung

Patentansprüche

1. Brennstoffzellenanlage (30) mit einem Brennstoffzellensystem (10) und einem Synthesystem, wobei das Brennstoffzellensystem (10) aufweist

- wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (100) mit einem Kathodenabschnitt (110), welcher einen Kathodenzuführabschnitt (112) und einen Kathodenabführabschnitt (114) aufweist, und einem Anodenabschnitt (120), welcher einen Anodenzuführabschnitt (122) und einen Anodenabführabschnitt (124) aufweist,
- einen mittels einer Anodenzuführverbindung (200) fluidtechnisch mit dem Anodenzuführabschnitt (112) gekoppelten Anodengasanschluss (202) zum Zuführen von Anodengas zum Anodenabschnitt (120),
- einen mittels einer Anodenabführverbindung (300) fluidtechnisch mit dem Anodenabführabschnitt (124) gekoppelten Anodenabführanschluss (308) zum Abführen von durch den Brennstoffzellenstapel (100) erzeugten Anodenabgasen,
- einen mittels einer Kathodenzuführverbindung (500) fluidtechnisch mit dem Kathodenzuführabschnitt (112) gekoppelten Kathodenzuführanschluss (502) zum Zuführen von Kathodengas zum Kathodenabschnitt (110), und
- einen mittels einer Kathodenabführverbindung (600) fluidtechnisch mit dem Kathodenabführabschnitt (114) gekoppelten Kathodenabführanschluss (612) zum Abführen von durch den Brennstoffzellenstapel (100) erzeugtem Synthesegas, und

wobei das Synthesystem aufweist

- eine Syntheseanlage (900) welche mittels einer Synthesegaszuführverbindung (906) fluidtechnisch mit dem Kathodenabführanschluss (612) gekoppelt ist,
- die Syntheseanlage (900) zur Synthese des von dem Brennstoffzellenstapel (100) erzeugten und mittels der Synthesegaszuführverbindung (906) zugeführten Synthesegases eingerichtet ist, und

- die Syntheseanlage (900) mittels einer Restgasabführverbindung (910) zum Bereitstellen von Restgas fluidtechnisch mit einem Restgaszuführanschluss (402, 520) gekoppelt ist,

dadurch gekennzeichnet, dass der Restgaszuführanschluss (402, 520) fluidkommunizierend mit wenigstens einer Restgasnutzungsvorrichtung des Brennstoffzellensystems (10) verbunden ist.

2. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Brennstoffzellensystem (10) als Restgasnutzungsvorrichtung aufweist:
 - *einen Rückführgasanschluss (520) zum Bereitstellen von Rückführgas, welches bei einer Synthese des von dem Brennstoffzellenstapel (100) erzeugten Synthesegases in einem nachfolgenden Syntheseprozess als Nebenprodukt entsteht, wobei der Rückführgasanschluss (520) mit der Kathodenzuführverbindung (500) fluidkommunizierend verbunden ist.*
3. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts des Rückführgasanschlusses (520) eine Reformervorrichtung (522) fluidkommunizierend mit dem Rückführgasanschluss (520) verbunden ist für ein wenigstens teilweises Reformieren der Nebenprodukte aus dem Syntheseprozess.
4. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reformervorrichtung (522) wenigstens eine der folgenden Ausbildungen aufweist:
 - Steam-Reformer
 - Dry-Reformer
 - CPOX Reformer

5. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts des Rückführgasanschlusses (520) wenigstens ein kontrollierbarer Synthese-Rückführgasanschluss (530) angeordnet ist für ein wenigstens teilweises Rückführen des Rückführgases in den Syntheseprozess.
6. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Synthese-Rückführgasanschluss (530) stromaufwärts einer Reformervorrichtung (522) angeordnet ist.
7. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts des Rückführgasanschlusses (520) eine Rückführgas-Katalysatorvorrichtung (524) fluidkommunizierend mit dem Rückführgasanschluss (520) verbunden ist.
8. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rückführgasanschluss (520) in den Kathodenzuführanschluss (502) integriert ist.
9. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kathodenzuführanschluss (502) und der Rückführgasanschluss (520) jeweils wenigstens ein Kontrollventil aufweisen für eine Kontrolle des Volumenstroms an Rückführgas und an Kathodengas.
10. Brennstoffzellenanlage (30) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Brennstoffzellensystem (10) als Restgasnutzungsvorrichtung aufweist:
 - wenigstens einen mittels einer Restgaszuführverbindung (400) fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelten Katalysator (404) zur katalytischen Verbrennung des Restgases,
 - zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320), der in der Restgaszuführverbindung (400) in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt (408) angeordnet ist, und wärmeübertragend mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) verbunden ist,

- wobei weiter die Restgaszuführverbindung (400) stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers (304, 310, 314, 320) mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) fluidkommunizierend verbunden ist für eine Rückführung des katalytisch verbrannten Restgases in die Anodenzuführverbindung (200) und/oder die Kathodenzuführverbindung (500).
11. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Restgaszuführverbindung (400) einen Restgasbypass (430) aufweist, welcher an dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) vorbei fluidkommunizierend mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) verbunden ist.
 12. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Restgasbypass (430) ein Bypassventil aufweist für eine Kontrolle der direkten fluidkommunizierenden Verbindung an dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) vorbei.
 13. Brennstoffzellenanlage (30) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Restgaszuführverbindung (400) wenigstens abschnittsweise die Anodenabführverbindung (300) ausbildet
 14. Brennstoffzellenanlage (30) nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers (304, 310, 314, 320) und stromaufwärts der fluidkommunizierenden Verbindung zu der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) einen Abzweigeabschnitt (440) aufweist in die Anodenabführverbindung (300).

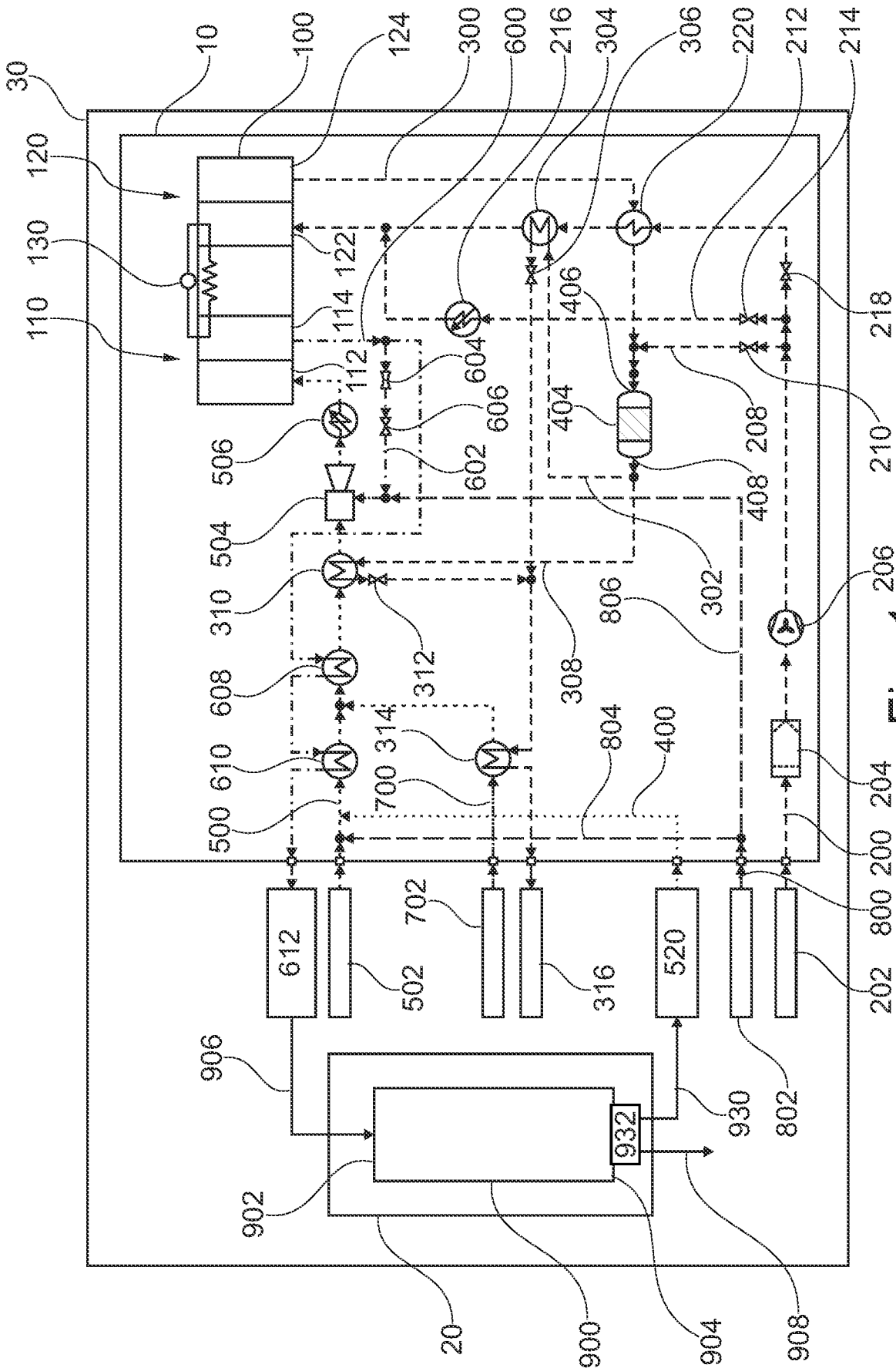
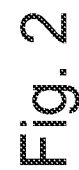
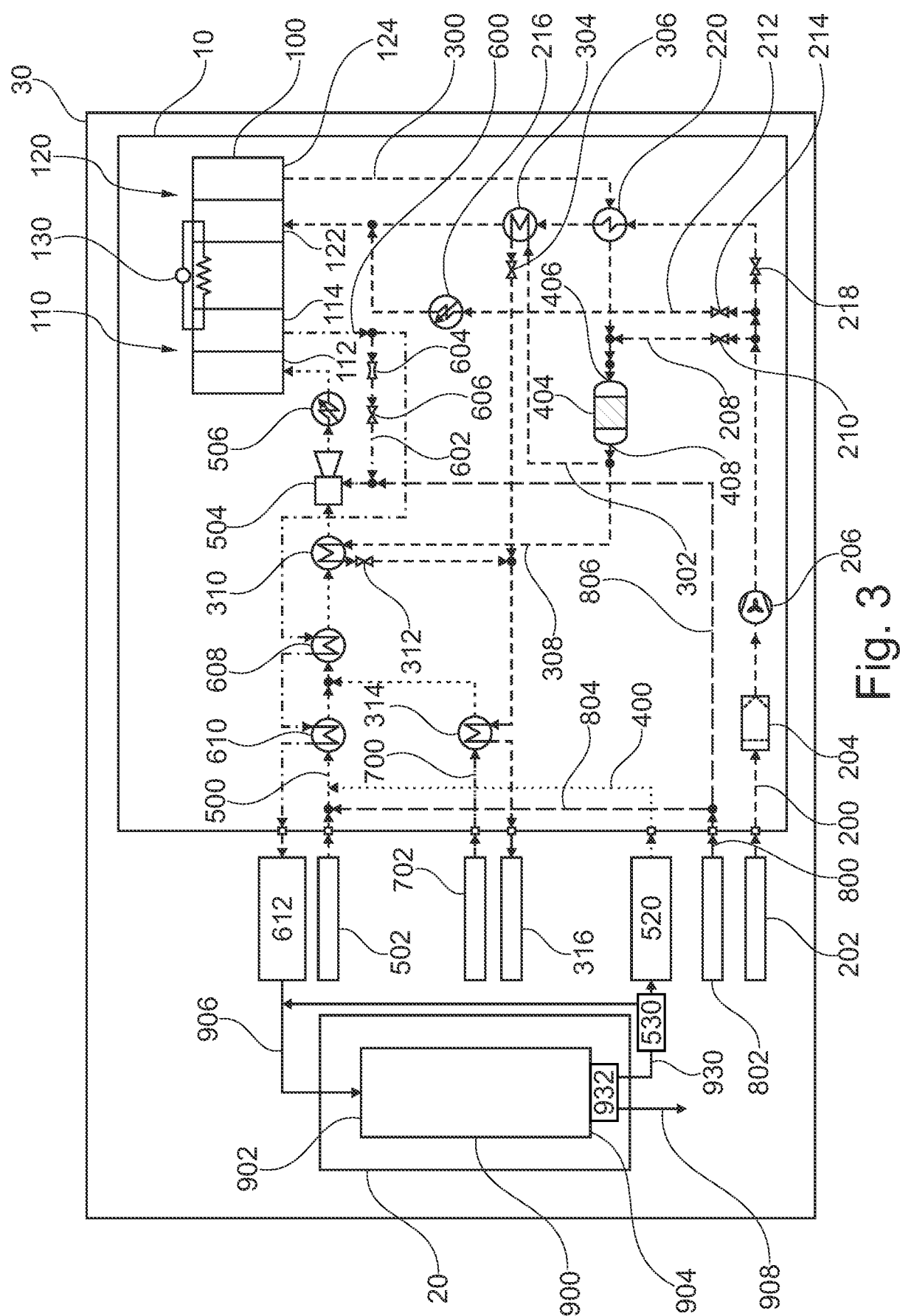
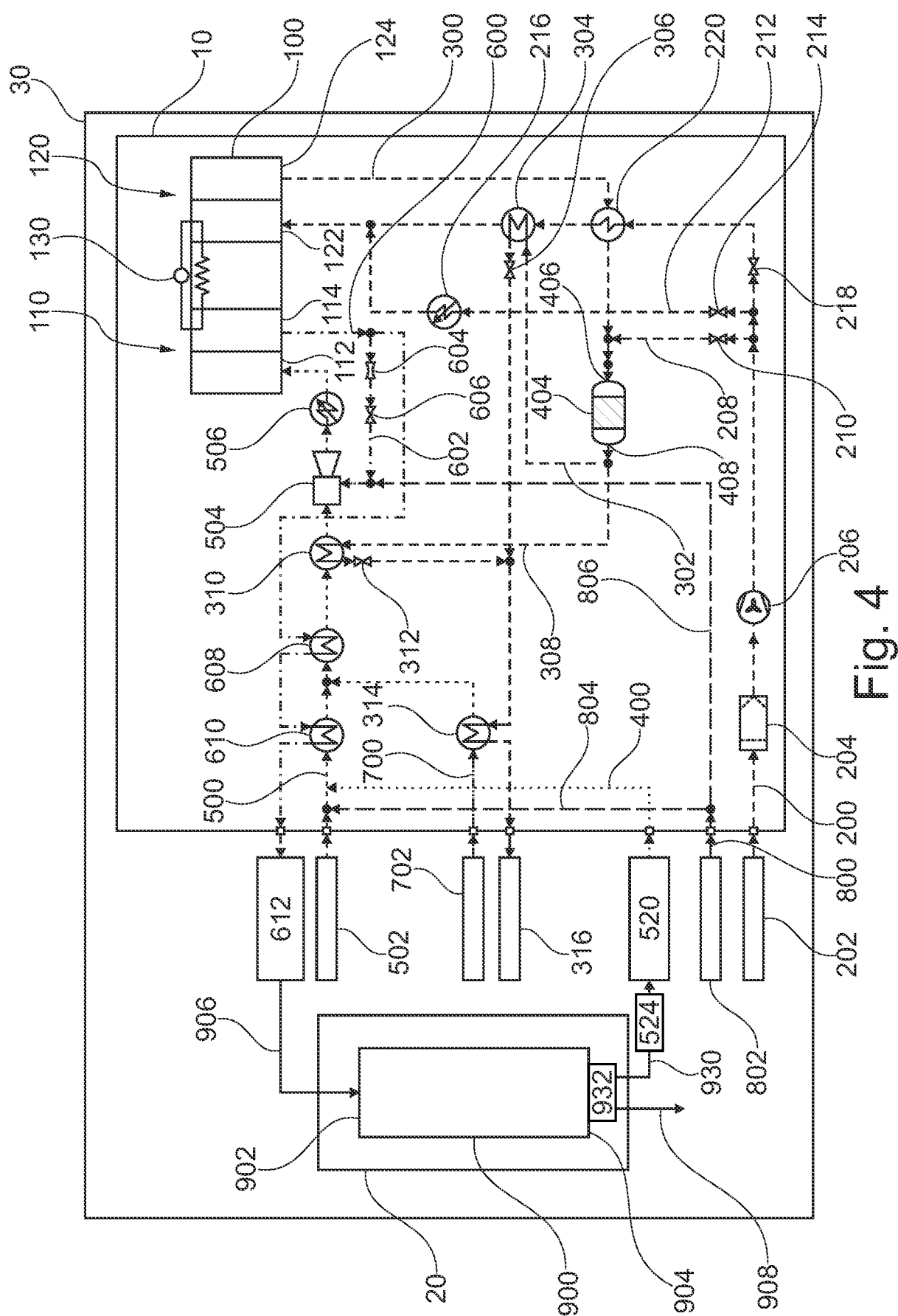


Fig. 1







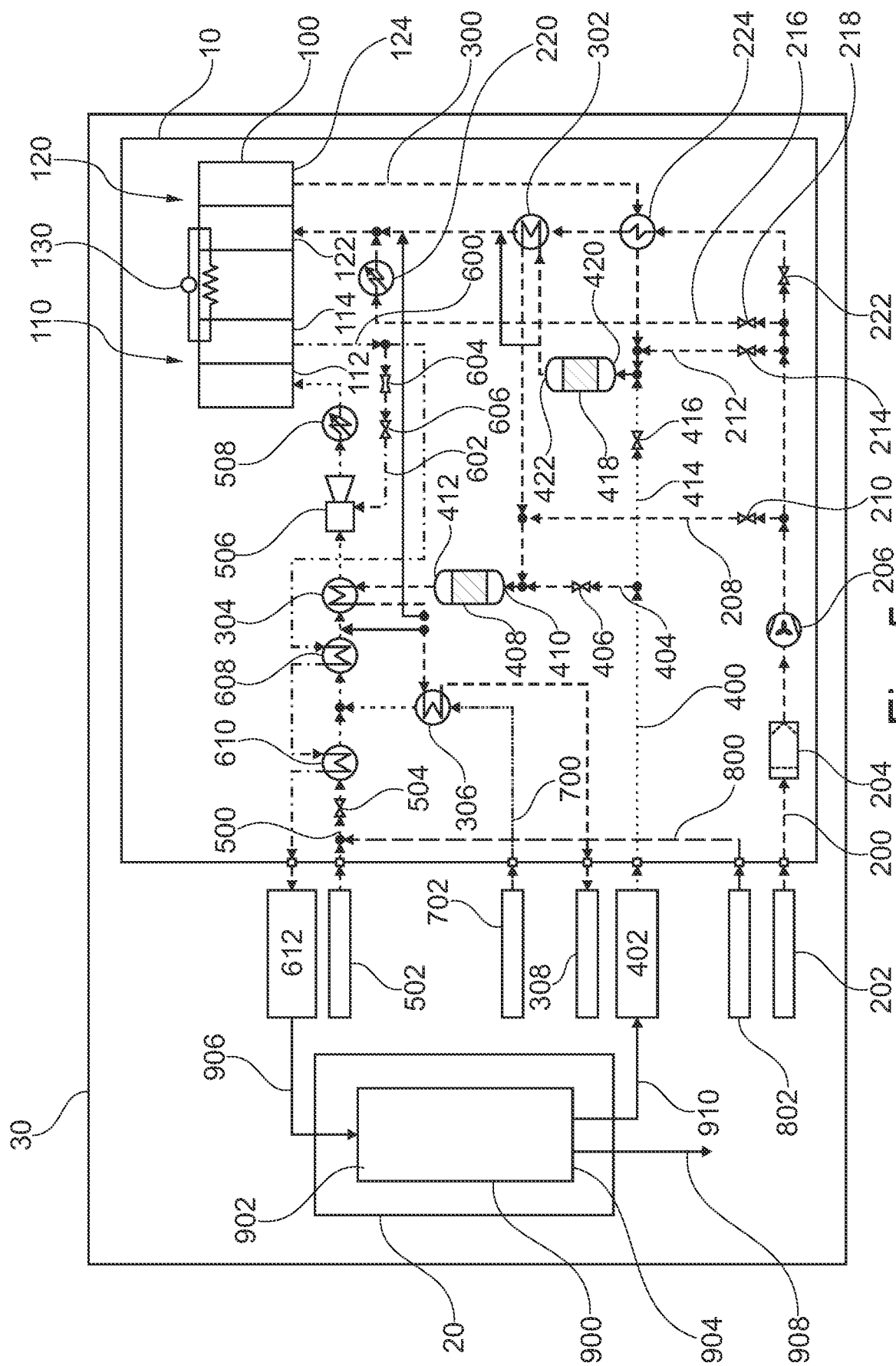
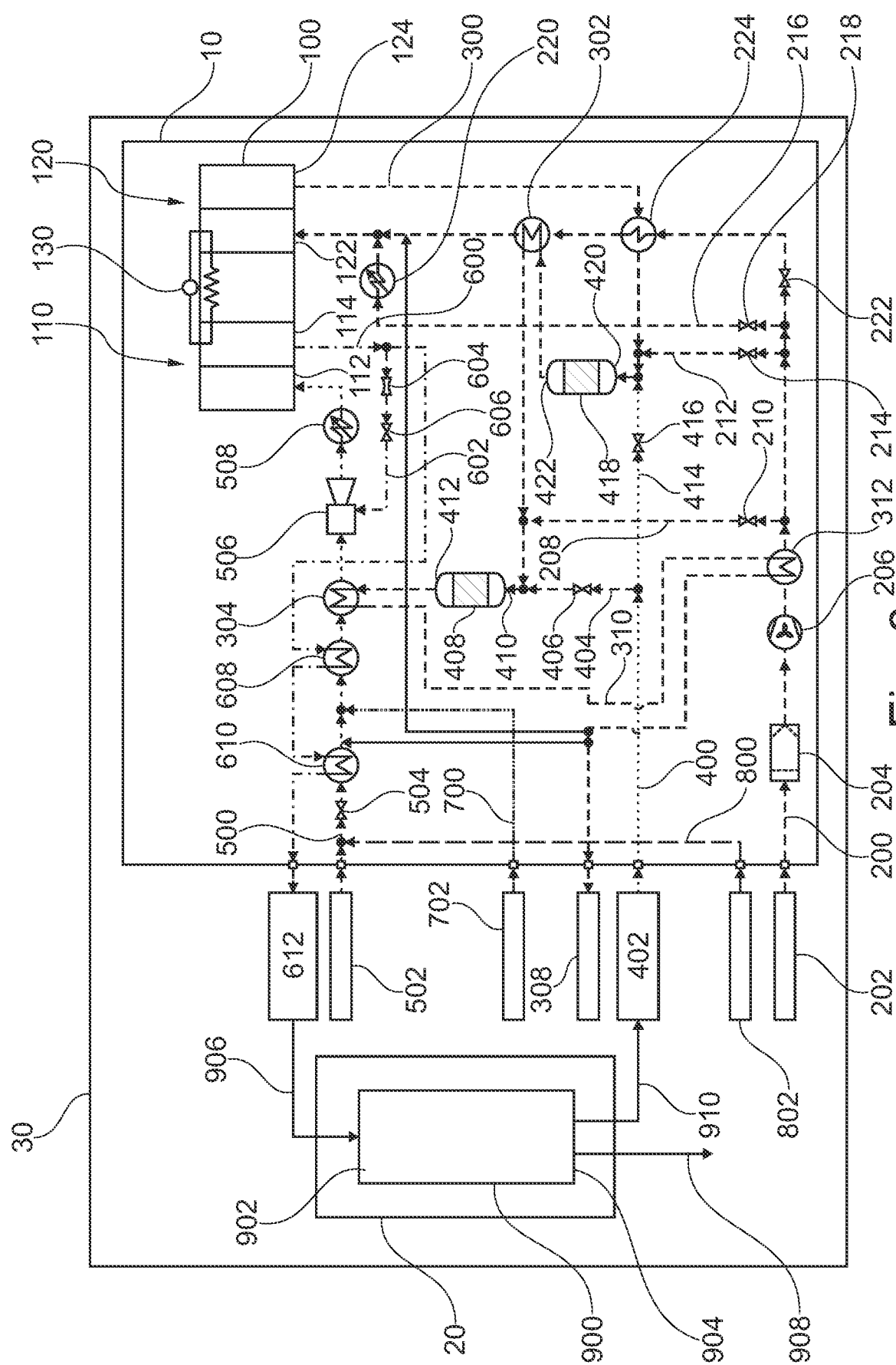


Fig. 5



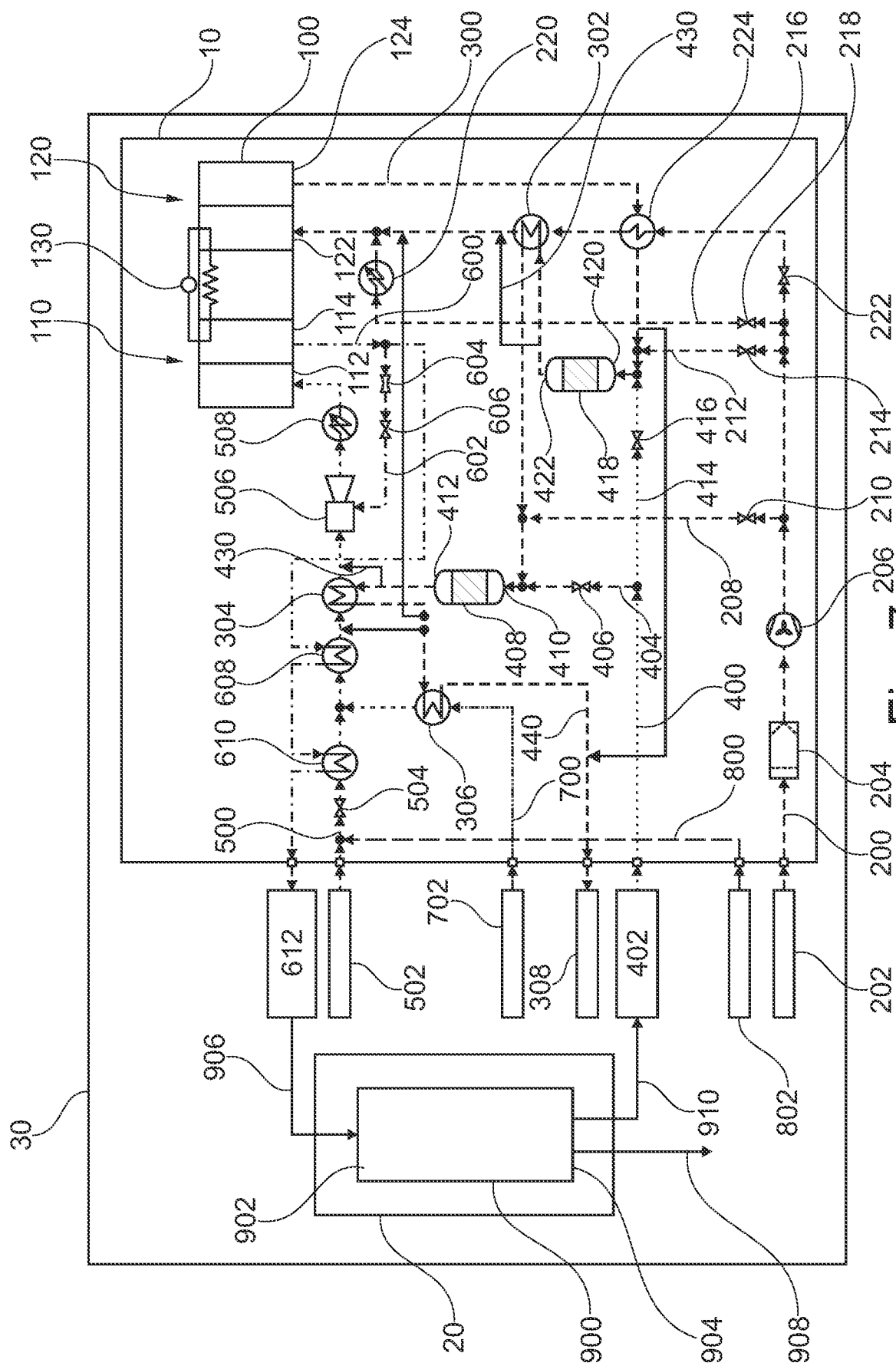


Fig. 7

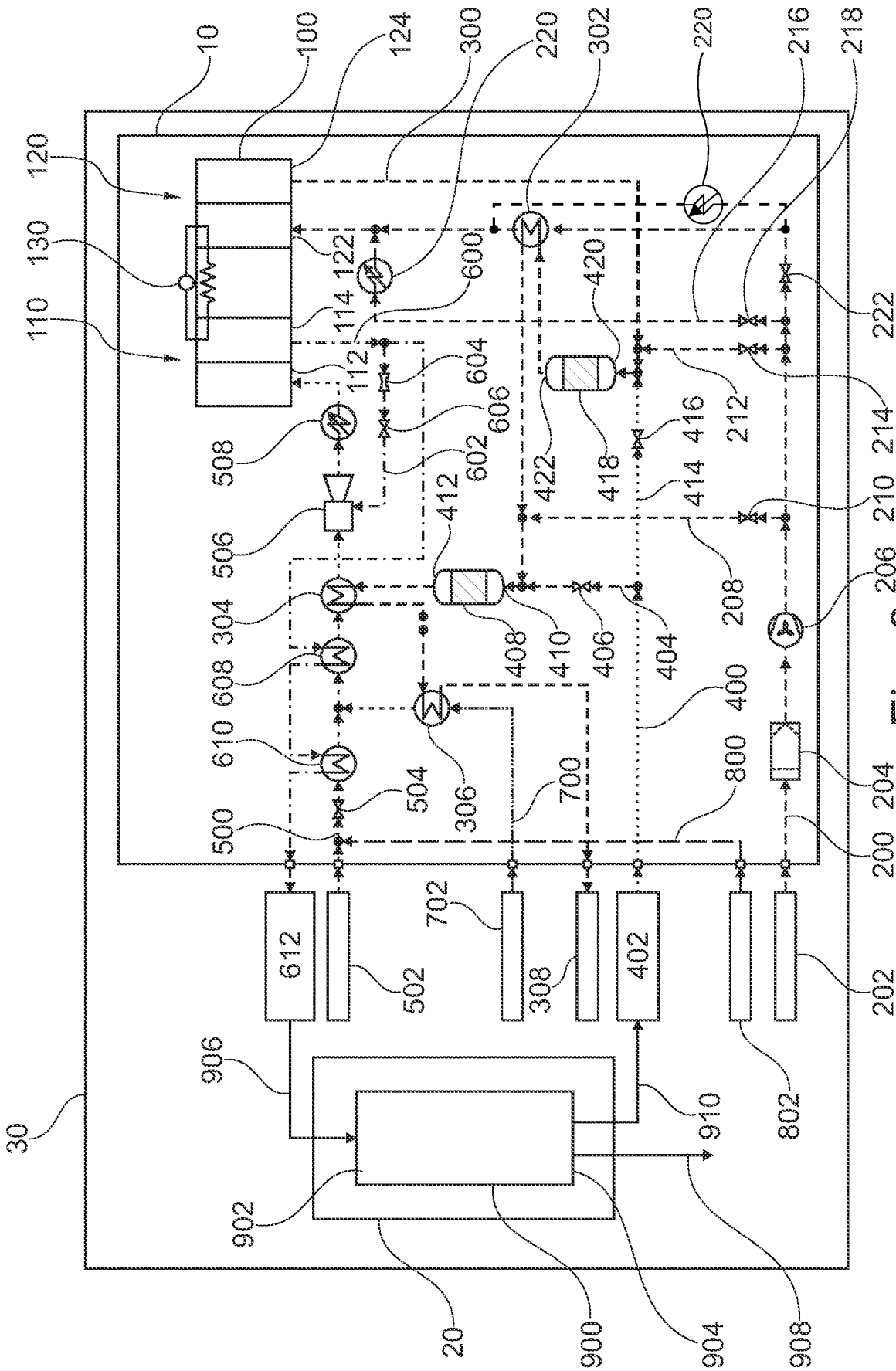


Fig. 8

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

H01M 8/12 (2006.01); **C25B 1/23** (2021.01); **C25B 15/021** (2021.01); **C25B 15/08** (2006.01); **C10G 2/00** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

H01M 8/12 (2013.01); **C25B 1/23** (2021.01); **C25B 15/021** (2021.01); **C25B 15/081** (2021.01); **C10G 2/30** (2013.01); **H01M 2008/1293** (2022.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

H01M, C25B

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC, WPI, Volltext-Patentdatenbanken EN und DE

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 22.08.2023 eingereichten Ansprüchen 1-14 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
E	AT 526077 A4 (AVL LIST GMBH [AT]) 15. November 2023 (15.11.2023) Figuren 1-3	1
X	WO 2022031726 A2 (OPUS 12 INCORPORATED) 10. Februar 2022 (10.02.2022) [0194]-[0208]; Figur 6A	1, 2, 7-13
X	US 2014272734 A1 (BRAUN ROBERT J. et al.) 18. September 2014 (18.09.2014) Figur 1 und darauf bezogene Beschreibung	1, 2, 8, 9
X	JP 2023093823 A (TOSHIBA CORP., TOSHIBA ENERGY SYSTEM & SOLUTION CORP.) 05. Juli 2023 (05.07.2023) (übersetzt) [online] [abgerufen am 17.05.2024]. Abgerufen von EPOQUE: TXPMTJEA / EPO Figur 1 und darauf bezogene Beschreibung	1, 10, 13
Datum der Beendigung der Recherche: 17.05.2024		
Seite 1 von 1		Prüfer(in): ENGLISCH Julia

^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:**X** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.**Y** Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.**A** Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.**P** Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde.**E** Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „älteres Recht“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).**&** Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.

Patentansprüche

1. Brennstoffzellenanlage (30) mit einem Brennstoffzellensystem (10) und einem Synthesystem (20), wobei das Brennstoffzellensystem (10) aufweist
 - wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (100) mit einem Kathodenabschnitt (110), welcher einen Kathodenzuführabschnitt (112) und einen Kathodenabführabschnitt (114) aufweist, und einem Anodenabschnitt (120), welcher einen Anodenzuführabschnitt (122) und einen Anodenabführabschnitt (124) aufweist,
 - einen mittels einer Anodenzuführverbindung (200) fluidtechnisch mit dem Anodenzuführabschnitt (112) gekoppelten Anodengasanschluss (202) zum Zuführen von Anodengas zum Anodenabschnitt (120),
 - einen mittels einer Anodenabführverbindung (300) fluidtechnisch mit dem Anodenabführabschnitt (124) gekoppelten Anodenabführanschluss (308, 316) zum Abführen von durch den Brennstoffzellenstapel (100) erzeugten Anodenabgasen,
 - einen mittels einer Kathodenzuführverbindung (500) fluidtechnisch mit dem Kathodenzuführabschnitt (112) gekoppelten Kathodenzuführanschluss (502) zum Zuführen von Kathodengas zum Kathodenabschnitt (110), und
 - einen mittels einer Kathodenabführverbindung (600) fluidtechnisch mit dem Kathodenabführabschnitt (114) gekoppelten Kathodenabführanschluss (612) zum Abführen von durch den Brennstoffzellenstapel (100) erzeugtem Synthesegas, undwobei das Synthesystem (20) aufweist
 - eine Syntheseanlage (900) welche mittels einer Synthesegaszuführverbindung (906) fluidtechnisch mit dem Kathodenabführanschluss (612) gekoppelt ist,
 - die Syntheseanlage (900) zur Synthese von synthetischen Kohlenwasserstoffen aus dem Brennstoffzellenstapel (100) im Elektrolysemodus erzeug-

tem und mittels der Synthesegaszuführverbindung (906) zugeführtem Synthesegas eingerichtet ist, und

die Syntheseanlage (900) mittels einer Restgasabführverbindung (910) zum Bereitstellen von Restgas fluidtechnisch mit einem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelt ist, wobei der Restgaszuführanschluss (402, 520) fluidkommunizierend mit wenigstens einer Restgasnutzungsvorrichtung des Brennstoffzellensystems (10) verbunden ist., wobei das Brennstoffzellensystem (10) als Restgasnutzungsvorrichtung aufweist:

- einen Rückführgasanschluss (520) zum Bereitstellen von Rückführgas, welches einem nachfolgenden Syntheseprozess zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen aus dem Brennstoffzellenstapel (100) erzeugten Synthesegas als Nebenprodukt entsteht, wobei der Rückführgasanschluss (520) mit der Kathodenzuführverbindung (500) fluidkommunizierend verbunden ist,
 - **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts des Rückführgasanschlusses (520) eine Reformervorrichtung (522) fluidkommunizierend mit dem Rückführgasanschluss (520) verbunden ist für ein wenigstens teilweises Reformieren der Nebenprodukte aus dem Syntheseprozess.
2. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reformervorrichtung (522) wenigstens eine der folgenden Ausbildungen aufweist:
- Steam-Reformer
 - Dry-Reformer
 - CPOX Reformer
3. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts des Rückführgasanschlusses (520) wenigstens ein kontrollierbarer Synthese-Rückführgasanschluss (530) angeordnet ist für ein wenigstens teilweises Rückführen des Rückführgases in den Syntheseprozess.

4. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Synthese-Rückführgasanschluss (530) stromaufwärts einer Reformervorrichtung (522) angeordnet ist.
5. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts des Rückführgasanschlusses (520) eine Rückführgas-Katalysatorvorrichtung (524) fluidkommunizierend mit dem Rückführgasanschluss (520) verbunden ist.
6. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rückführgasanschluss (520) in den Kathodenzuführanschluss (502) integriert ist.
7. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kathodenzuführanschluss (502) und der Rückführgasanschluss (520) jeweils wenigstens ein Kontrollventil aufweisen für eine Kontrolle des Volumenstroms an Rückführgas und an Kathodengas.
8. Brennstoffzellenanlage (30) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Brennstoffzellensystem (10) als Restgasnutzungsvorrichtung aufweist:
 - wenigstens einen mittels einer Restgaszuführverbindung (400) fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelten Katalysator (408, 418) zur katalytischen Verbrennung des Restgases,
 - zumindest einen Wärmetauscher (302, 304, 306, 310), der in der Restgaszuführverbindung (400) in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt (412, 418) angeordnet ist, und wärmeübertragend mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) verbunden ist,
 - wobei weiter die Restgaszuführverbindung (400) stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers (302, 304, 306, 310) mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) fluidkommunizierend verbunden ist für eine Rückführung des katalytisch verbrannten Restgases in die Anodenzuführverbindung (200) und/oder die Kathodenzuführverbindung (500).

9. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Restgaszuführverbindung (400) einen Restgasbypass (430) aufweist, welcher an dem zumindest einen Wärmetauscher (302, 304, 306, 310) vorbei fluidkommunizierend mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) verbunden ist.
10. Brennstoffzellenanlage (30) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Restgasbypass (430) ein Bypassventil aufweist für eine Kontrolle der direkten fluidkommunizierenden Verbindung an dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) vorbei.
11. Brennstoffzellenanlage (30) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Restgaszuführverbindung (400) wenigstens abschnittsweise die Anodenabführverbindung (300) ausbildet
12. Brennstoffzellenanlage (30) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers (304, 310, 314, 320) und stromaufwärts der fluidkommunizierenden Verbindung zu der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) ein Abzweigeabschnitt (440) vorgesehen ist, wobei die Anodenabführverbindung (300) stromabwärts des Wärmetauschers (224) abzweigt.