

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50975/2023
(22) Anmeldetag: 05.12.2023
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2025

(51) Int. Cl.: **C25B 15/00** (2006.01)
C25B 15/02 (2006.01)
C25B 15/021 (2021.01)
C25B 15/023 (2021.01)
C25B 15/027 (2021.01)
C25B 15/08 (2006.01)
H01M 8/04082 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102020208532 A1
AT 525898 B1
US 2019360110 A1
JP 2019112717 A
WO 2021077148 A1

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Goll Markus Dipl.-Ing. BSc
8010 Graz (AT)
Varga Zsolt Dipl.-Ing.
8051 Graz (AT)
Kogler-Lichtenegger Markus Dipl.-Ing.
8511 St. Stefan ob Stainz (AT)
Buchgraber Rene
8200 Gleisdorf (AT)
Mathé Jörg Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)
Tandl Manuel Dipl.-Ing.
8010 Graz (AT)
Gruber Christoph Dipl.-Ing.
8010 Graz (AT)

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

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben eines Elektrolysesystems

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Elektrolysesystems (10), welches wenigstens einen Elektrolyseurstapel (100) mit einer Luftseite (120) und einer Reaktantenseite (130) sowie verschiedene Betriebssituationen aufweist. Das Verfahren weist ein Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10) und ein Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation auf. In dem Verfahren wird Restgas (RG) mit einer Zusammensetzung wie aus einem Syntheseprozess, bei dem Synthesegas (SG) in einer Syntheseanlage (900) in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, zu einem Katalysator (411, 412) zum katalytischen Verbrennen des Restgases (RG) geführt. Dabei wird das Restgas (RG) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation wahlweise wenigstens aus einem Restgasreservoir (443) des Elektrolysesystems (10) oder aus der Syntheseanlage

(900) zugeführt. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Computerprogrammprodukt und eine Kontrollvorrichtung (20) zur Ausführung des Verfahrens. Ferner betrifft die Erfindung ein entsprechend ausgestaltetes Elektrolysesystem (10).

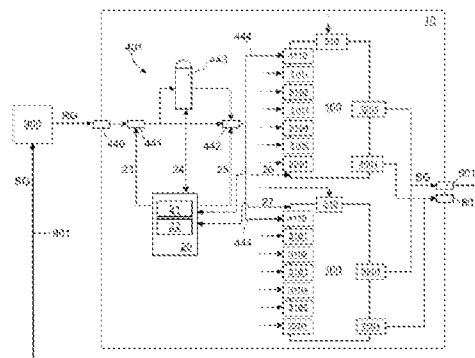


Fig. 1

Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BETREIBEN EINES ELEKTROLYSESYSTEMS

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Elektrolysesystems, ein Computerprogrammprodukt und eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens. Die Erfindung betrifft ferner ein Elektrolysesystem.

[0002] Die Substitution von Rohöl mit synthetisch hergestellten Kohlenwasserstoffen stellt eine Möglichkeit dar, Abhängigkeiten von fossilen Rohstoffvorkommen und Emissionen bei der Energieproduktion zu reduzieren. Synthetische Kohlenwasserstoffe können aus einem Synthesegas hergestellt werden, das in einer Brennstoffzelle durch Elektrolyse von Kohlenstoffdioxid und Wasser unter Zuführung von elektrischem Strom erzeugt wird. Das so erzeugte Synthesegas wird oft auch als „Syngas“ bezeichnet und weist insbesondere Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid auf. Aus dem Synthesegas werden in einem sich an die Elektrolyse anschließenden Syntheseprozess, wie dem Fischer-Tropsch-Prozess, die synthetischen Kohlenwasserstoffe erhalten. Bei der Elektrolyse findet bevorzugt die Hochtemperatur-Elektrolyse Anwendung, für die vorzugsweise Festoxid-Elektrolysezellen (kurz SOEC für Englisch "Solid Oxide Electrolyzer Cell") eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um Festoxid-Brennstoffzellen (kurz SOFC für Englisch "Solid Oxide Fuel Cell"), die im reversen Modus betrieben werden, um die Elektrolyse von Wasser und Kohlenstoffdioxid zu betreiben. Festoxid-Elektrolysezellen arbeiten, wie Festoxid-Brennstoffzellen, besonders effizient bei Temperaturen zwischen 500°C und 900°C.

[0003] Verfahren zum Betreiben eines Elektrolysesystems sind beispielsweise aus der DE 102020208532 A1, der AT 525898 B1, der US 2019360110 A1, der JP 2019112717 A und der WO 2021077148 A1 bekannt.

[0004] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, Elektrolysesysteme in verschiedenen Betriebszuständen zu betreiben, wie einem Ruhezustand oder einem aktiven Betriebszustand. Aufgrund der für die Hochtemperatur-Elektrolyse notwendigen hohen Temperaturen stellen gerade Zwischenzustände, die zwischen einem Ruhezustand und aktiven Betriebszustand auftreten, besondere technische Herausforderungen an eine Betriebsstrategie zur Kontrolle des Elektrolysesystems. Gerade Hochfahr- und Rückfahrvorgänge sind mit Rücksicht auf Temperatur-sensible Bauteile und Anlagensicherheit auszulegen. Nachteile existierender Betriebsstrategien sind, dass die darin umgesetzten Hochfahr- und Rückfahrvorgänge unflexibel sind, relativ lange dauern und einen hohen Energiebedarf haben. Auch werden die Bauteile des Elektrolysesystems relativ stark thermisch und mechanisch belastet.

[0005] Von der Anmelderin wurden Lösungen zur Verbesserung von Hochtemperatur-Elektrolysesystemen untersucht. Eine hierbei identifizierte Lösung verfolgt den Ansatz, Wärme, die für Hochfahr- und Rückfahrvorgänge benötigt wird, durch elektrische Luftheizer bereitzustellen. Im Vergleich dazu kann die Wärme während des aktiven Betriebs des Hochtemperatur-Elektrolysesystems aus einer Nutzung von Restgas, das bei Syntheseprozessen als Nebenprodukt entsteht, gewonnen werden. Ein solches Restgas wird im Englischen oft auch als „Tailgas“ bezeichnet.

[0006] Dieser Lösungsansatz stellt technische Herausforderungen an die Betriebsstrategie des Elektrolysesystems. So können die Luftheizer eine ausreichende Wärmemenge oft erst nach einer längeren Aufheizzeit zur Verfügung stellen. Dies kann zu Verzögerungen in den Betriebsabläufen führen. Insbesondere kann das Elektrolysesystem nicht flexibel auf eine plötzliche Aufforderung zur Unterbrechung oder Beendigung der Synthesegas-Produktion reagieren. Vielmehr ist nach einer solchen Aufforderung erst das Erreichen ausreichender Aufheiztemperaturen der Luftheizer abzuwarten, ehe Rückfahrvorgänge eingeleitet werden können. Dies macht den Betrieb des Elektrolysesystems nicht nur unflexibel, sondern kann auch mit einem relativ hohen Energieaufwand verbunden sein. Insgesamt kann dies zu einer Reduzierung der Effizienz des Elektrolysesystems führen. Zudem ist das Elektrolysesystem konstruktiv für diese Unterbrechungssituationen auszulegen. Dies führt zu einer Erhöhung der Komplexität und der Kosten des Elektrolysesystems. Auch können Anlauf- und Rücklaufvorgang des Brennstoffzellensystems oft nur unge-

nau gesteuert werden. Dies erschwert es, Temperaturgradienten von Systembauteilen beim Aufwärmen oder Abkühlen zuverlässig in zulässigen Bereichen zu halten.

[0007] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Kontrolle von Anlauf- und Rücklaufvorgängen eines Elektrolysesystems, insbesondere hinsichtlich zulässiger Temperaturgradienten, zu verbessern.

[0008] Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 11, ein Elektrolysesystem mit den Merkmalen des Anspruchs 12 und eine Kontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 15.

[0009] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt, mit der erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung und dem erfindungsgemäßen Elektrolysesystem und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise Bezug genommen werden kann.

[0010] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Elektrolysesystems. Das Elektrolysesystem weist wenigstens einen Elektrolyseurstapel mit einer Luftseite auf, welcher Luft über einen Luftzufuhrpfad zuführbar ist. Der Elektrolyseurstapel weist ferner eine Reaktantenseite auf, welcher ein Reaktant über einen Reaktantenzufuhrpfad zuführbar ist. Das Elektrolysesystem weist verschiedene Betriebssituationen auf, die wenigstens eine Ruhe-Betriebssituation, eine Normalbetrieb-Betriebssituation, eine Anlauf-Betriebssituation und eine Rücklauf-Betriebssituation aufweisen. In der Ruhe-Betriebssituation wird das Elektrolysesystem nicht betrieben. Die Normalbetrieb-Betriebssituation korrespondiert mit einem Normalbetrieb, in dem das Elektrolysesystem zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases betrieben wird. Die Anlauf-Betriebssituation ist zum Erreichen der Normalbetrieb-Betriebssituation aus der Ruhe-Betriebssituation vorgesehen. Die Rücklauf-Betriebssituation ist zum Erreichen der Ruhe-Betriebssituation aus der Normalbetrieb-Betriebssituation vorgesehen. In dem Verfahren wird eine Betriebssituation des Elektrolysesystems erfasst. In Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation wird Restgas wahlweise wenigstens aus einem Restgasreservoir oder aus einer Syntheseanlage einem Katalysator zum katalytischen Verbrennen des Restgases zugeführt.

[0011] Mit anderen Worten wird ein Verfahren zum Betreiben eines Elektrolysesystems bereitgestellt, mit dem beispielsweise eine Betriebsstrategie für das Elektrolysesystem implementiert werden kann.

[0012] Unter einem „Betreiben eines Systems“ kann dabei bevorzugt ein Anleiten des Systems zum Arbeiten verstanden werden. Das Elektrolysesystem kann beispielsweise ein Brennstoffzellenelektrolyseursystem, Hochtemperatur-Brennstoffzellenelektrolyseursystem, SOEC- oder CO-SOEC-System sein. Ferner bevorzugt kann das Elektrolysesystem ein reversibles Brennstoffzellensystem, wie beispielsweise ein rSOC-System sein. Das Elektrolysesystem weist wenigstens einen Elektrolyseurstapel mit einer Luftseite und einer Reaktantenseite auf. Das Elektrolysesystem weist Betriebssituationen auf.

[0013] Im Rahmen der Erfindung kann eine „Betriebssituation“ insbesondere als eine Situation oder als Umstände verstanden werden, die während des Betriebs des Elektrolysesystems auftreten. Eine Betriebssituation kann durch das momentane Beschaffensein und/oder einen Kontrollzustand des Elektrolysesystems definiert sein. Auch kann eine Betriebssituation beispielsweise durch physikalische Größen, wie Ist-Drücke oder Ist-Temperaturen, welche in dem Elektrolysesystem auftreten, und/oder durch einen Kontrollbefehl definiert sein. Das Elektrolysesystem weist eine Vielzahl unterschiedlicher Betriebssituationen auf. Bevorzugt kann das Elektrolysesystem zu einem Zeitpunkt stets nur eine Betriebssituation aufweisen. Eine Betriebssituation kann so definiert sein, dass Anforderungen an das Elektrolysesystem in einer bestimmten Betriebssitua-

tion eindeutig definiert sind und sich von anderen Betriebssituationen eindeutig unterscheiden lässt.

[0014] Gemäß der Erfindung weist das Elektrolysesystem wenigstens eine Ruhe-Betriebssituation, eine Normalbetrieb-Betriebssituation, eine Anlauf-Betriebssituation und eine Rücklauf-Betriebssituation auf.

[0015] Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter einer „Ruhe-Betriebssituation“ oder einem „Ruhezustand“ insbesondere eine Betriebssituation verstanden werden, in der das Elektrolysesystem beispielsweise in einem Schlummermodus ist oder abgeschaltet ist, und/oder in der durch das Elektrolysesystem keine Betriebsstoffe gefördert werden.

[0016] Als „Normalbetrieb“ kann im Rahmen der Erfindung insbesondere ein stationärer oder ein wenigstens teilstationärer Betrieb des Elektrolysesystems verstanden werden. Während des Normalbetriebs wird von dem Elektrolysesystem ein bestimmungsgemäßes Synthesegas aus Reaktant erzeugt. Bevorzugt kann ein Normalbetrieb ein Betrieb des Elektrolysesystems unter Teillast (bevorzugt wenigstens 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% oder 80% oder mehr Produktionskapazität) und/oder Volllast umfassen. Unter einem „bestimmungsgemäßen Synthesegas“ kann bevorzugt ein aus dem zugeführten Reaktant erzeugtes Gas oder Gasgemisch zur Weiterverarbeitung verstanden werden. Bevorzugt kann der Normalbetrieb zum Erzeugen eines Synthesegases als das bestimmungsgemäße Synthesegas vorgesehen sein. Das Elektrolysesystem kann zur Erzeugung dieses Synthesegases ausgelegt sein. Als Reaktant kann dabei bevorzugt ein gasförmiges Gemisch aus Wasser und Kohlenstoffdioxid verstanden werden. Dies wird bevorzugt auch als Reaktant-Gas-Kohlenstoffdioxid-Gemisch oder Reaktant-Gasgemisch bezeichnet.

[0017] Als Reaktant kann im Rahmen der Erfindung vorteilhaft auch Brennstoff verstanden werden. Das Synthesegas ist insbesondere ein Abgas aus dem Elektrolysestapel.

[0018] Bei der Anlauf-Betriebssituation und der Rücklauf-Betriebssituation kann es sich jeweils um eine „Sonder-Betriebssituation“ handeln, die insbesondere abweicht von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems. Die genannten Betriebssituationen können somit bevorzugt Ruhe- und/oder Übergangszustände des Elektrolysesystems sein, die beispielsweise vor und/oder nach einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems auftreten.

[0019] Gemäß der Erfindung wird eine Betriebssituation erfasst.

[0020] Im Rahmen der Erfindung kann unter einem „Erfassen einer Betriebssituation“ insbesondere ein Registrieren einer Betriebssituation verstanden werden. So kann ein Erfassen beispielsweise neben einem Aufnehmen und/oder Messen von zu Betriebssituationen gehörigen Informationen vorzugsweise auch ein Auswerten oder ein Klassifizieren dieser Informationen umfassen. So kann beispielsweise eine Betriebssituation aus den zu einer Betriebssituation aufgenommenen momentanen und/oder historischen Informationen ermittelt werden. Unter einem Erfassen einer Betriebssituation kann im Rahmen der Erfindung mit Vorteil auch eine Vorgabe einer zu erreichenden und/oder einzustellenden Betriebssituation verstanden werden. Dies kann beispielsweise von außen von einem Betreiber vorgegeben werden.

[0021] Gemäß der Erfindung wird einem Katalysator Restgas in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation wahlweise wenigstens aus einem Restgasreservoir des Elektrolysesystems oder aus einer Syntheseanlage zugeführt, um dieses katalytisch zu verbrennen. Das Restgas fällt dabei bevorzugt bei einem Syntheseprozess in der Syntheseanlage an.

[0022] Dem Katalysator kann Restgas natürlich auch wahlweise von anderen Gasquellen in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation zugeführt werden. Die Erfindung ist somit nicht auf die beiden angeführten Quellen von Restgas beschränkt. So kann wahlweise Restgas aus einem von drei, vier oder mehreren unterschiedlichen Gasquellen in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation dem Katalysator zugeführt werden, wobei in wenigstens einer erfassten Betriebssituation die Versorgung mit Restgas über die Syntheseanlage erfolgt und in wenigstens einer weiteren erfassten Betriebssituation die Versorgung mit Restgas über das Restgasreservoir erfolgt.

[0023] Ein „Syntheseprozess“ kann im Rahmen der Erfindung insbesondere als ein Prozess zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen aus einem Synthesegas verstanden werden. Bevorzugt kann eine Syntheseanlage oder ein Synthesesystem vorgesehen sein, um den Syntheseprozess umzusetzen. Bei dem Syntheseprozess kann typischerweise nicht das gesamte Synthesegas umgesetzt werden und/oder es entstehen kurzkettige Kohlenwasserstoffe, die abgeschieden werden. Dieser abgeschiedene Gasanteil kann im Rahmen der Erfindung beispielsweise als „Restgas“ bezeichnet werden. Natürlich ist die Erfindung nicht allein auf derartiges Gas beschränkt.

[0024] So kann unter „Restgas“ im Rahmen der Erfindung insbesondere ein Gasgemisch mit Kohlendioxid und/oder kurzkettigen Kohlenwasserstoffen verstanden werden. Das Restgas kann beispielsweise auch Methan oder Erdgas aufweisen. Das Restgas kann beispielsweise ein in einem Restgas, das aus einem Syntheseprozess ist, bei dem Synthesegas in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, funktionell gleichwertiges Gas oder Gasgemisch sein.

[0025] Unter einem „Restgasreservoir“ kann im Rahmen der Erfindung insbesondere eine Vorrichtung zum Abgeben und/oder Speichern von Restgas verstanden werden. So kann das Restgasreservoir beispielsweise ein Behälter oder ein Tank sein. Vorzugsweise kann das Restgasreservoir ein Fassungsvermögen aufweisen. Ferner ist es vorstellbar, dass das Restgasreservoir eine externe Gasversorgungsquelle ist, mit der ein dem Restgas funktionell gleichwertiges Gas oder Gasgemisch bereitgestellt werden kann. So kann das Restgasreservoir beispielsweise eine Gasversorgungsquelle zur Bereitstellung von Erdgas oder Methan sein.

[0026] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können Betriebssituationen identifiziert und somit situationsspezifisch kontrolliert werden. Als Vorteil ergibt sich, dass in dem Verfahren für die Versorgung des Elektrolysesystems mit Restgas zwischen der Syntheseanlage selbst und einer weiteren Restgasquelle gewählt werden kann. Entsprechend kann die Zuführung mit Restgas unabhängig von dem Syntheseprozess oder, im umgekehrten Fall, unabhängig von einem Versorgungszustand des Restgasreservoirs erfolgen. Dies ermöglicht es, das Elektrolysesystem flexibel betreiben zu können, da Wärme aus katalytischem Verbrennen des Restgases im Katalysator auch nach dem Beenden des Syntheseprozesses in der Syntheseanlage bereitgestellt werden kann. Somit kann kurzfristig auf eine Aufforderung zum Beenden des Syntheseprozesses reagiert werden, da Aufheizzeiten elektrischer Luftheizer mit dem Restgas aus dem Restgasreservoir überbrückt werden können. Entsprechend kann Wärme kontinuierlich bereitgestellt werden. Auch kann der Energieaufwand zum Betreiben des Elektrolysesystems reduziert werden, da elektrische Luftheizer nicht auf einer Mindesttemperatur vorgehalten werden müssen. Ferner lässt sich das Verfahren relativ einfach steuerungstechnisch und konstruktiv umsetzen.

[0027] Bevorzugt kann das Restgas aus dem Syntheseprozess, betreffend die Leitungsführung, unmittelbar oder direkt aus dem Syntheseprozess, einer Syntheseanlage oder einem Synthesesystem zur Umsetzung des Syntheseprozesses dem Katalysator zugeführt werden.

[0028] Somit kann sichergestellt werden, dass die Versorgung mit Restgas durch direkten Anschluss an die den Syntheseprozess umsetzende Anlage erfolgen kann. Somit können Druckverluste und Verzögerungen durch den Leitungstransport vermieden werden.

[0029] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann dem Katalysator das Restgas in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation zugeführt werden. So kann beispielsweise die Zuführung so kontrolliert werden, dass in einer Normalbetrieb-Betriebssituation und/oder in einer Rücklauf-Betriebssituation das Restgas wenigstens teilweise zugeführt wird. Alternativ oder zusätzlich kann die Kontrolle derart sein, dass dem Katalysator in einer Anlauf-Betriebssituation kein Restgas zugeführt wird.

[0030] Somit wird es möglich, in Abhängigkeit von der jeweils identifizierten Betriebssituation zu entscheiden, ob Restgas dem Elektrolysesystem zugeführt wird oder nicht. Gerade in Anlauf-Betriebssituationen kann noch keine ausreichende Menge an Restgas vorhanden sein oder dessen Einsatz wäre noch nicht vorteilhaft für den Betrieb des Elektrolysesystems. So kann eine situationsangepasste flexible Kontrolle des Elektrolysesystems erfolgen.

[0031] Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann das Restgas dem Katalysator in einer Rücklauf-Betriebssituation aus dem Restgasreservoir zugeführt werden.

[0032] Somit kann Restgas dem Elektrolysesystem in Betriebssituationen, in denen das Elektrolysesystem heruntergefahren wird, unabhängig von dem Tätigkeitszustand des Syntheseprozesses aus dem Restgasreservoir bereitgestellt werden. Derart kann die Flexibilität beim Betrieb erhöht werden, da auch bei Unterbrechungen, Ausfällen oder Beendigungen des Syntheseprozesses Restgas zuführbar ist.

[0033] Alternativ oder zusätzlich kann das Restgas dem Katalysator in einer Normalbetrieb-Betriebssituation bevorzugt direkt aus der Syntheseanlage zugeführt werden.

[0034] Somit kann das Restgas in Betriebssituationen mit üblicherweise ausreichender Produktion von Restgas unmittelbar aus der Syntheseanlage zugeführt werden.

[0035] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann eine Temperatur des Elektrolyseurstapels mittels des von dem Restgas gespeisten Katalysators in einer Normalbetrieb-Betriebssituation kontrolliert werden. Hierzu kann Wärme eines Katalysator-Abgasstroms, welcher aus der katalytischen Verbrennung des Restgases resultiert, mittels zumindest eines Wärmetauschers an die zuzuführende Luft und/oder den zuzuführenden Reaktant übertragen werden.

[0036] Dabei kann unter einem „Kontrollieren“ insbesondere ein Steuern und/oder Regeln von Eingangsgrößen, Parametern und/oder Komponenten des Elektrolysesystems verstanden werden. Die „Temperatur des Elektrolyseurstapels“ kann insbesondere eine lokal am Elektrolyseurstapel messbare Temperatur oder gemittelte Temperatur, die aus lokal verschiedenen gemessenen Temperaturen berechnet wird, sein.

[0037] Somit wird es möglich, während eines Normalbetriebs Wärme in dem Elektrolysesystem aus katalytischem Verbrennen des Restgases zu erzeugen und derart ein Nebenprodukt des Syntheseprozesses energetisch vorteilhaft zu nutzen. Somit lässt sich der Gesamtwirkungsgrad einer Anlage mit einem derart kontrollierten Elektrolysesystem erhöhen.

[0038] Ferner kann eine Temperatur des Elektrolyseurstapels mittels des von dem Restgas gespeisten Katalysators wenigstens teilweise in einer Rücklauf-Betriebssituation kontrolliert werden. Hierzu kann Wärme eines Katalysator-Abgasstroms, welcher aus der katalytischen Verbrennung des Restgases resultiert, mittels zumindest eines Wärmetauschers an die zuzuführende Luft und/oder den zuzuführenden Reaktant übertragen werden.

[0039] Dadurch ist das Elektrolysesystem wenigstens vorübergehend von der Einsatzfähigkeit elektrischer Heizer unabhängig, da das Restgas auch in einer Rücklauf-Betriebssituation genutzt werden kann, um Wärme bereitzustellen. Derart können zulässige Temperaturgradienten beim Abkühlen eingehalten werden und Abkühlprozesse rasch eingeleitet werden.

[0040] Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann ein oder können wenigstens zwei elektrische Heizer auf eine jeweilige Heizertemperatur in einer Rücklauf-Betriebssituation aufgeheizt werden. Die Heizer sind dabei in dem Luftzufuhrpfad vorgesehen. In der Rücklauf-Betriebssituation kann zudem das Restgas aus dem Restgasreservoir bis zum Erreichen der Heizertemperatur von wenigstens einem oder zwei der aufheizenden elektrischen Heizer zugeführt werden.

[0041] Grundsätzlich muss der zumindest eine Heizer im Rahmen der Erfindung nicht zwingend als elektrischer Heizer ausgebildet sein. Die Heizer können beispielsweise auch durch eine Fackel und einem Wärmetauscher gebildet sein. Es sind auch mögliche andere Heizer denkbar.

[0042] Somit wird es möglich, notwendige Aufheizzeiten der elektrischen Heizer zu überbrücken, indem auf Restgas in dem Restgasreservoir zugegriffen wird. Zugleich kann ein Aufheizvorgang der Heizer initiiert werden. Die beiden Heizer können einander beim Aufheizen sowie beim Heizen des Elektrolysesystems unterstützen. Mit den Heizern kann ein Rückfahren des Elektrolysesystems auf einen Ruhezustand effizient erreicht werden.

[0043] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann das Verfahren ein Aufheizen jedes der elektrischen Heizer auf eine jeweilige Heizertemperatur in einer Rücklauf-Betriebssituation auf-

weisen. Zudem kann wenigstens einer der elektrischen Heizer bei Erreichen jeder der Heizertemperaturen abgeschaltet werden. Bevorzugt kann dabei aus den aufzuheizenden elektrischen Heizern der elektrische Heizer mit der geringsten Wärmeleistung abgeschaltet werden, sobald der elektrische Heizer mit der höchsten Wärmeleistung die Heizertemperatur erreicht. Ferner bevorzugt kann in dem Verfahren in einer Rücklauf-Betriebssituation das Restgas aus dem Restgasreservoir bis zum Erreichen der Heizertemperaturen jedes der aufzuheizenden elektrischen Heizer zugeführt werden.

[0044] Hierdurch kann erreicht werden, dass nur die minimal notwendige Anzahl an Heizern während einer Rücklauf-Betriebssituation betrieben wird. Derart kann der Energiebedarf des Elektrolysesystems während dieser Betriebssituation reduziert werden.

[0045] Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann das Restgas aus der Syntheseanlage an das Restgasreservoir in einer Anlauf-Betriebssituation und/oder in einer Normalbetrieb-Betriebssituation zugeführt werden, bis das Restgasreservoir einen Mindestfüllstand an dem Restgas erreicht hat. Bevorzugt kann eine Temperatur des Elektrolyseurstapels in einer Anlauf-Betriebssituation und/oder in einer Normalbetrieb-Betriebssituation kontrolliert werden, indem wenigstens ein elektrischer Heizer zur Kontrolle der Lufttemperatur von Luft, die der Luftseite über den Luftzuführpfad zuführbar ist, kontrolliert wird, bis das Restgasreservoir einen Mindestfüllstand an dem Restgas erreicht hat. Alternativ oder zusätzlich kann das Restgas aus der Syntheseanlage an den Katalysator in der Normalbetrieb-Betriebssituation zugeführt werden, sobald das Restgasreservoir einen Mindestfüllstand an dem Restgas erreicht hat. Bevorzugt kann eine Temperatur des Elektrolyseurstapels in der Normalbetrieb-Betriebssituation kontrolliert werden, indem ein Massenstrom des Restgases aus der Syntheseanlage eingestellt wird, sobald dem Katalysator das Restgas aus dem Syntheseprozess zugeführt wird oder sobald das Restgasreservoir den Mindestfüllstand an dem Restgas erreicht hat.

[0046] Derart wird es möglich, Restgas unmittelbar vor und/oder mit Aufnahme des aktiven Betriebs des Elektrolysesystems unter Teillast oder Vollast in dem Restgasreservoir zu speichern. Ein Normalbetrieb mit stationärer Produktion von Synthesegas wird von einer Syntheseanlage oftmals erst nach einer gewissen Anlaufzeit erreicht. Während dieser Anlaufzeit steht Restgas zwar zur Verfügung, ist jedoch oftmals nicht ausreichend, um den vollen Wärmebedarf des Elektrolysesystems zu decken. Daher kann es besonders von Vorteil sein, das während dieser Anlaufzeit produzierte Restgas in dem Restgasreservoir zu speichern. Das so gespeicherte Restgas oder gegebenenfalls von anderen Gasquellen wahlweise zuführbare Restgas kann dann während eines Rückfahrvorgangs des Elektrolysesystems genutzt werden.

[0047] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann eine Temperatur des Elektrolyseurstapels in einer Anlauf-Betriebssituation mittels eines ersten elektrischen Heizers und bevorzugt mittels eines zweiten elektrischen Heizers kontrolliert werden. Die Heizer können dabei in zwei zueinander parallelen und miteinander fluidtechnisch verbundenen Luftwärmepfaden des Luftzuführpfads angeordnet sein. Bevorzugt kann die Luft durch den ersten elektrischen Heizer auf eine erste Lufttemperatur aufgeheizt werden und die Luft durch den zweiten elektrischen Heizer auf eine zweite Lufttemperatur aufgeheizt werden, wobei ferner bevorzugt die erste Lufttemperatur und die zweite Lufttemperatur verschieden sind.

[0048] Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann eine Temperatur des Elektrolyseurstapels in einer Rücklauf-Betriebssituation mittels wenigstens eines zweiten elektrischen Heizers und eines dritten elektrischen Heizers kontrolliert werden. Dabei ist der erste elektrische Heizer in einem Luftwärmepfad des Luftzuführpfads und der dritte elektrische Heizer in einem zu dem Luftwärmepfad parallelen Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad vorgesehen, welcher mit einem Luftabgasabfuhrpfad zum Abführen des in der Luftseite erzeugten Luftabgases fluidtechnisch verbunden ist.

[0049] Mit den elektrischen Heizern kann ein Anlauf- und Rücklaufvorgang des Elektrolysesystems genau, effizient und flexibel durchgeführt werden. Insbesondere können Temperaturgradienten, die beim Aufwärmen oder Abkühlen von Systembauteilen maximal zulässig sind, kontrolliert und eingehalten werden.

[0050] Bevorzugt kann eine Ruhe-Betriebssituation auf eine Anlauf-Betriebssituation übergehen, wenn beispielsweise ein Aufheizkommando durch den Benutzer erfolgt. Ferner bevorzugt kann eine Anlauf-Betriebssituation auf eine Normalbetrieb-Betriebssituation übergehen, wenn beispielsweise ein Lastkommando durch den Benutzer vorliegt und zugleich das Elektrolysesystem in einem für den Normalbetrieb geeigneten Betriebszustand (Temperaturen, Drücke, Betriebsstoffe) ist. Ferner bevorzugt kann eine Normalbetrieb-Betriebssituation auf eine Rücklauf-Betriebssituation übergehen, wenn beispielsweise das ein Kommando zum Rückfahren und/oder Beenden des Betriebs des Elektrolyseurstapels erfolgt. Ferner bevorzugt kann eine Rücklauf-Betriebssituation auf eine Ruhe-Betriebssituation übergehen, wenn das Elektrolysesystem in einem für ein Ausschalten des Elektrolysesystems geeigneten Betriebszustand (Temperaturen, Drücke, Betriebsstoffe) ist. Hierzu können in dem Verfahren entsprechend Schritte zum Erfassen der Betriebssituation durchgeführt werden.

[0051] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Computerprogrammprodukt, welches Befehle aufweist, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das zuvor beschriebene Verfahren auszuführen.

[0052] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Elektrolysesystem. Das Elektrolysesystem weist wenigstens einen Elektrolyseurstapel mit einer Luftseite und einer Reaktantenseite auf. Ferner weist das Elektrolysesystem einen Luftzuführpfad auf, um Luft zu einem Luftzuführabschnitt der Luftseite zu führen. Der Luftzuführpfad weist einen primären Luftzuführpfad und einen sekundären Luftzuführpfad auf, der zu dem primären Luftzuführpfad parallel vorgesehen ist. Der sekundäre Luftzuführpfad weist zwei parallele Luftwärmepfade auf, in denen ein erster elektrischer Heizer und ein zweiter elektrischer Heizer vorgesehen ist. Das Elektrolysesystem weist ferner einen Luftabgasabführpfad auf, um das erzeugte Luftabgas von einem Luftabgasabschnitt der Luftseite abzuführen. Zudem weist das Elektrolysesystem einen Reaktantenzuführpfad, um Reaktant zu einem Reaktantenzuführabschnitt der Reaktantenseite zu führen. Ein Synthesegasabführpfad ist ferner in dem Elektrolysesystem vorgesehen, um auf der Reaktantenseite erzeugtes Synthesegas von einem Synthesegasabschnitt der Reaktantenseite abzuführen. Ein Restgasanschlussabschnitt zum Bereitstellen von Restgas an das Elektrolysesystem ist ferner in dem Elektrolysesystem vorgesehen. Das Restgas wird bevorzugt bei einer Synthese des von dem Elektrolyseurstapel erzeugten Synthesegases in einer Syntheseanlage abgeschieden. Der Restgasanschlussabschnitt ist dabei derart in dem Elektrolysesystem vorgesehen, dass dieser wahlweise wenigstens mit einem Restgasreservoir oder mit einer Syntheseanlage fluidtechnisch koppelbar ist. Das Elektrolysesystem weist ferner einen Katalysator zur katalytischen Verbrennung des Restgases auf. Der Katalysator ist dabei in dem Luftabgasabführpfad angeordnet und ist stromaufwärts eines Katalysatoreingangsabschnitts fluidtechnisch mit dem Restgasanschlussabschnitt über eine Restgaszuleitung gekoppelt. Das Elektrolysesystem weist ferner einen Reaktant-Wärmetauscher, der wärmeübertragend mit dem Reaktantenzuführpfad verbunden ist und stromabwärts des Katalysators in dem Luftabgasabführpfad angeordnet ist. Zudem weist das Elektrolysesystem einen Luft-Wärmetauscher auf, der wärmeübertragend mit dem primären Luftzuführpfad verbunden ist und stromabwärts des Katalysators in dem Luftabgasabführpfad angeordnet ist. Auch weist das Elektrolysesystem einen Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad auf, in welchem ein dritter elektrischer Heizer vorgesehen ist. Der dritte elektrische Heizer ist fluidtechnisch mit dem Luftzuführpfad und Luftabgasabführ-Leitungsabschnitten des Luftabgasabführpfads gekoppelt. Die Luftabgasabführ-Leitungsabschnitten sind dabei stromabwärts des Reaktant-Wärmetauschers und stromaufwärts des Luft-Wärmetauschers vorgesehen.

[0053] Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter einer „fluidtechnischen Kopplung“ insbesondere eine fluidkommunizierende Verbindung verstanden werden. Unter einem „Pfad“ kann im Rahmen der Erfindung insbesondere ein Strömungsweg von einem Anfangspunkt zu einem oder mehreren Endpunkten verstanden werden.

[0054] Bevorzugt kann es sich bei dem Elektrolysesystem um ein SOEC- oder CO-SOEC-System handeln. Ferner bevorzugt können die Luftabgasabführ-Leitungsabschnitte des Luftabgasabführpfads einen zweiten Katalysator zur katalytischen Verbrennung des Restgases aufweisen. Der zweite Katalysator kann dabei stromabwärts des dritten elektrischen Heizers vorgesehen

sein. Ferner bevorzugt kann der Luftabgasabfuhrpfad stromabwärts der Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitte und stromaufwärts des zweiten Katalysators fluidtechnisch mit der Restgaszuleitung gekoppelt sein. Die elektrischen Heizer können vorzugsweise wenigstens teilweise unterschiedliche Heizkapazitäten aufweisen.

[0055] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine Kontrollvorrichtung zum Betreiben eines Elektrolysesystems. Die Kontrollvorrichtung weist hierzu ein Erfassungsmodul zum Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems auf. Ferner weist die Kontrollvorrichtung ein Situationskontrollmodul zum Kontrollieren des Elektrolysesystems in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation auf. Das Situationskontrollmodul ist dazu eingerichtet, Restgas in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation wahlweise wenigstens aus einem Restgasreservoir oder aus einer Syntheseanlage zu einem Katalysator des Elektrolysesystems zum katalytischen Verbrennen des Restgases zu führen. Das Restgas kann dabei bevorzugt bei einem Syntheseprozess in einer Syntheseanlage, bei dem das Synthesegas in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, abgeschieden werden.

[0056] Die Kontrollvorrichtung kann insbesondere dazu eingerichtet sein, die Schritte des zuvor beschriebenen Verfahrens umzusetzen oder wenigstens die Umsetzung dieser Schritte zu veranlassen.

[0057] Mit den zuvor genannten Computerprogrammprodukt, Elektrolysesystem und Kontrollvorrichtung können jeweils sämtliche Vorteile erreicht werden, die für das erfindungsgemäße Verfahren bereits erläutert wurden.

[0058] Nachfolgend sind zur Unterscheidung von Komponenten oder Elementen gleicher Art oder gleichen Typs voneinander, wie beispielsweise von Wärmetauschern, Absperrorganen, Teilpfaden oder Bypasspfaden, Komponenten oder Elemente gleicher Art oder gleichen Typs durchnummeriert und werden als erste Komponente, zweite Komponente, dritte Komponente usw. bezeichnet, also beispielsweise erster Wärmetauscher, zweiter Wärmetauscher usw. Diese Bezeichnung anhand der Nummerierung dient allein zur Unterscheidung von Komponenten oder Elementen gleicher Art oder gleichen Typs, stellt jedoch keine Einschränkung hinsichtlich deren Beschaffenheit dar.

[0059] 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 strömungsbeeinflussende Vorrichtungen angeordnet sein, wie Absperrorgane.

[0060] 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.

[0061] Die vorgenannten 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. Hierzu können die Absperrorgane entsprechend eine Kontrollelektronik und Sensorik aufweisen. Das Absperrorgan kann unterschiedlich ausgeführt werden, beispielsweise als Ventil, Absperrschieber, Absperrhahn oder Absperrklappe.

[0062] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung. In der Beschreibung werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Figuren beschrieben. Es zeigen schematisch:

[0063] Fig. 1 eine Ausführungsform des Elektrolysesystems und der Kontrollvorrichtung gemäß der Erfindung,

- [0064]** Fig. 2 eine weitere Ausführungsform des Elektrolysesystems gemäß der Erfindung,
[0065] Fig. 3 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer Anlauf-Betriebssituation,
[0066] Fig. 4 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer Normalbetrieb-Betriebssituation, und
[0067] Fig. 5 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer Rücklauf-Betriebssituation.

[0068] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Elektrolysesystems. Bei dem Verfahren kann es sich beispielsweise um eine Betriebsstrategie handeln.

[0069] Die Figuren 1 bis 5 zeigen Beispiele für ein Elektrolysesystem 10, das mit dem Verfahren betrieben werden kann. Mit dem Verfahren kann insbesondere ein CO-SOEC-Elektrolysesystem betrieben werden, wobei die Erfindung darauf nicht beschränkt ist.

[0070] Das in den Figuren beispielhaft gezeigte Elektrolysesystem 10 weist wenigstens einen Elektrolyseurstapel 100 auf. Die Figuren 2 bis 5 sind besonders geeignet, Details zu der Ausgestaltung des dargestellten Elektrolysesystems 10 zu entnehmen.

[0071] Der Elektrolyseurstapel 100 weist eine Luftseite 120 auf, an der eine Elektrode über einen Luftzuführabschnitt 122 mit Luft versorgt werden kann. Eine solche Lufterlektrode ist in den Figuren der Übersicht halber nicht dargestellt. Der Elektrolyseurstapel 100 weist ferner eine Reaktantenseite 130 auf, an der eine weitere Elektrode über einen Reaktantenzuführabschnitt 131 mit Reaktant versorgt werden kann. Eine solche (Brennstoff)-Elektrode ist in den Figuren der Übersicht wegen nicht dargestellt. Je nach Betriebsart als Elektrolysezelle oder Brennstoffzelle können die Elektroden des Elektrolyseurstapels 100 einmal als Anode und im umgekehrten Fall als Kathode fungieren. Im Falle des Betriebs als Elektrolysezelle kann beispielsweise die Luftseite 120 die Lufterlektrode als Anode und die Reaktantenseite 130 die Elektrode als Kathode aufweisen.

[0072] Bevorzugt kann das Elektrolysesystem 10 auch mehr als einen Elektrolyseurstapel 100. Dies ist beispielhaft in Figur 1 gezeigt. Bevorzugt kann das Elektrolysesystem 10 zwei Elektrolysemodule mit jeweils zwei Elektrolyseurstapel 100 aufweisen.

[0073] Der Elektrolyseurstapel 100 kann mit einer Stromversorgungsquelle 510 durch eine elektrische Verbindung 511 über einen Elektrodenanschluss 512 verbunden werden. Die elektrische Verbindung 511 kann dabei ein Relay 514 aufweisen. Zur Vereinfachung der Darstellung sind in den Figuren die negativen und positiven Potentialverbindungen mit der elektrischen Verbindung 511 als eine gemeinsame Verbindung dargestellt.

[0074] Die Luft kann in das Elektrolysesystem 10 durch einen Lufteinlassabschnitt 2201 beispielsweise aus der Umwelt eingeführt werden. Die Luft wird dann über einen Luftzuführpfad 2200 zu dem Luftzuführabschnitt 122 geführt. Der Luftzuführpfad 2200 kann verschiedene Abschnitte und Verzweigungen aufweisen. Beispielsweise können in einem Luftzuführ-Leitungsabschnitt 2202 ein erster Vorlaufheizer 201 und ein zweiter Vorlaufheizer 202 sowie ein Luftfilter 203 vorgesehen sein. Von einem Luftbläser 204 kann die gefilterte und vorgewärmte Luft entlang des Luftzuführpfads 2200 gefördert werden.

[0075] Weiter weist der Luftzuführpfad 2200 einen primären Luftzuführpfad 2210 auf. In dem primären Luftzuführpfad 2210 ist wenigstens ein oder sind bevorzugt zwei Luft-Wärmetauscher 421, 422 angeordnet, welche wärmeübertragend mit diesem Leitungsabschnitt des primären Luftzuführpfads 2210 gekoppelt sind.

[0076] Wie in den Figuren 2 bis 5 ferner ersichtlich, weist der Luftzuführpfad 2200 einen zusätzlichen sekundären Luftzuführpfad 2220 auf, der parallel zu dem primären Luftzuführpfad 2210 verläuft. Der sekundäre Luftzuführpfad 2220 weist selbst wieder zwei parallele Luftwärmepfade 2221, 2222 auf. In jedem der Luftwärmepfade 2221, 2222 ist ein elektrischer Heizer zum Aufheizen der Luft vorgesehen, nämlich ein erster Heizer 221 in dem Luftwärmepfad 2221 und in dem

Luftwärmepfad 2222 ein zweiter Heizer 222. Die elektrischen Heizer 221, 222 können identische oder unterschiedliche Heizkapazitäten aufweisen. Die Volumenströme aus den Luftwärmepfaden 2221, 2222 können an einer Verbindungsstelle 226 wieder zusammengeführt werden.

[0077] Die Volumenströme aus dem primären Luftzufuhrpfad 2210 und dem sekundären Luftzufuhrpfad 2220 können an einem Mischabschnitt 213 zusammengeführt werden. Derart kann Luft mit einer ersten Temperatur aus dem primären Luftzufuhrpfad 2210 und Luft mit einer zweiten Temperatur aus dem sekundären Luftzufuhrpfad 2220 miteinander vermischt werden, so dass die Luft eine Mischtemperatur erhalten kann. Die so temperierte Luft kann über einen Luftzuleitungsabschnitt 2212 dem Luftzufuhrabschnitt 122 zugeführt werden.

[0078] Die Aufteilung der Luft in den primären und den sekundären Luftzufuhrpfad 2210, 2220 kann an einer Verzweigungsstelle 207 erfolgen. Stromabwärts der Verzweigungsstelle 207 kann hierzu in den jeweiligen Zweigen jeweils ein Absperrorgan 215, 224, 225 vorgesehen sein, um beispielsweise die Volumenströme der Luft in den jeweiligen Zweigen zu regulieren.

[0079] Die in dem Elektrolyseurstapel 10 verbrauchte Luft wird als Luftabgas über einen Luftabgasabschnitt 125 entlang eines Luftabgasabfuhrpfads 2500 von der Luftseite 120 weggeführt werden. Hierzu kann der Luftabgasabfuhrpfad 2500 einen Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitt 2510 aufweisen. Das Luftabgas kann durch einen weiteren Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitt 2520 geführt werden, in dem ein später noch genauer beschriebener Katalysator 412 zur katalytischen Verbrennung des Luftabgas angeordnet ist.

[0080] Das Luftabgas kann entlang des Luftabgasabfuhrpfads 2500 mit verschiedenen Gaskomponenten versetzt werden, um das Luftabgas beispielsweise in dem Elektrolysesystem 10 weiter nutzbar umsetzen zu können. So kann dem Luftabgas beispielsweise ein Restgas RG zugeführt werden, welches eine katalytische Verbrennung in einem oder mehreren im Weiteren noch genauer beschriebenen Katalysatoren 411, 412 ermöglicht. Auch kann dem Luftabgas beispielsweise zur genauen Einstellung von stöchiometrischen Verhältnissen und/oder von Temperaturen vorgeheizte Luft aus dem Luftzufuhrpfad 2200 zugeführt werden.

[0081] So kann das Luftabgas bevorzugt mit warmer Luft aus dem Luftzufuhrpfad 2200 angereichert werden. Hierzu ist in dem Elektrolysesystem 10 ein Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad 2550 vorgesehen, in welchem ein dritter elektrischer Heizer 241 zum Erhitzen von Luft angeordnet ist. Der Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad 2550 ist fluidtechnisch mit dem Luftzufuhrpfad 2200 und Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitten 2540, 2560 des Luftabgasabfuhrpfads 2500 gekoppelt. Hierzu kann der Luftzufuhrpfad 2200 stromaufwärts der Verzweigungsstelle 207 eine Verzweigungsstelle 205 aufweisen, um die Luft in den Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad 2550 zu führen. Zwischen der Verzweigungsstelle 205 und dem dritten Heizer 241 kann ein Absperrorgan 245 vorgesehen sein. Der dritte elektrische Heizer 241 kann ferner beispielsweise in einem Aufwärmprozess des Elektrolysesystems 10 verwendet werden, um den Katalysator 411 aufzuheizen.

[0082] Ferner kann der Luftzufuhrpfad 2200 stromaufwärts der Verzweigungsstelle 207 eine Verzweigungsstelle 206 aufweisen, um Luft entlang eines weiteren Zusatz-Lufterhitzerwärmepfads 2530 bis zu einer in dem Luftabgasabfuhrpfad 2500 angeordneten Verzweigungsstelle 233 zu führen. Dies kann beispielsweise dazu vorgesehen sein, um den Katalysator 412 zur katalytischen Verbrennung eines mit Restgas RG angereicherten Luftabgases zusätzlich mit erhitzter Luft zu versorgen. Entsprechend kann auch in dem weiteren Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad 2530 ein weiterer elektrischer Heizer 231 vorgesehen sein. Der weitere elektrische Heizer 231 kann somit fluidtechnisch mit dem Luftzufuhrpfad 2200 und einem Abschnitt des Luftabgasabfuhrpfads 2500 gekoppelt sein. Auch kann zwischen dem weiteren elektrischen Heizer 231 und der Verzweigungsstelle 206 ein regulierbares Absperrorgan 235 angeordnet sein.

[0083] Das Luftabgas kann ferner mit Restgas RG angereichert werden, welches beispielsweise bei einer Synthese eines Synthesegases SG in einer Syntheseanlage 900 abgeschieden wird. Alternativ oder zusätzlich kann das Restgas RG auch Gas, wie beispielsweise Erdgas oder Methan, aus einer anderen externen Gasquelle sein. Das Elektrolysesystem 10 weist dabei einen Restgasanschlussabschnitt 401 auf, um das Restgas RG bereitzustellen. Das Restgas RG wird

dann über eine Restgaszuleitung 4110 in dem Elektrolysesystem 10 geführt. Insbesondere kann der Luftabgasabfuhrpfad 2500 eine Verbindungsstelle 251 aufweisen, zu der das Restgas RG entlang der Restgaszuleitung 4110 und bevorzugt eines Restgasleitungsverzweigungsabschnitts 4112 geführt werden kann. Bevorzugt kann die Verbindungsstelle 251 zwischen dem Luftabgasabschnitt 125 und dem Katalysator 412 angeordnet sein. Ferner bevorzugt kann die Verbindungsstelle 251 stromabwärts der Verbindungsstelle 233 angeordnet sein.

[0084] Das Elektrolysesystem 10 weist ferner einen Reaktant-Wärmetauscher 420 auf, der wärmeübertragend verbunden ist mit einem Leitungsabschnitt für den Transport des Reaktantes zu der Reaktantenseite 130. Der Reaktant-Wärmetauscher 420 ist ferner stromabwärts des Katalysators 412 in dem Luftabgasabfuhrpfad 2500 angeordnet. Somit kann von dem Reaktant-Wärmetauscher 420 der zuzuführende Reaktant mit dem Abgas aus dem Katalysator 412 geheizt werden. Bevorzugt über die Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitte 2540 und 2560 wird das Luftabgas zu dem weiteren Katalysator 411 geführt.

[0085] Der weitere Katalysator 411 ist in dem Luftabgasabfuhrpfad 2500 angeordnet und weist einen Katalysatoreingangsabschnitt 4113 auf. Der weitere Katalysator 411 ist stromaufwärts des Katalysatoreingangsabschnitts 4113 fluidtechnisch mit dem Restgasanschlussabschnitt 401 über die Restgaszuleitung 4110, 4111 gekoppelt. Selbiges kann auch für den Katalysator 412 gelten, der ebenfalls in dem Luftabgasabfuhrpfad 2500 angeordnet sein kann und einen Katalysatoreingangsabschnitt 414 aufweisen kann. Wie in den Figuren 2 bis 5 gezeigt, ist der weitere Katalysator 412 stromaufwärts des Katalysatoreingangsabschnitts 414 fluidtechnisch mit dem Restgasanschlussabschnitt 401 über die Restgaszuleitung 4112 gekoppelt.

[0086] Der oder die Luft-Wärmetauscher 421, 422 sind dabei stromabwärts wenigstens eines, bevorzugt beider der Katalysatoren 411, 412 in dem Luftabgasabfuhrpfad 2500 angeordnet. Aus den Figuren 2 bis 5 wird ferner erkenntlich, dass die Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitte 2540, 2560 stromabwärts des Reaktant-Wärmetauschers 420 und stromaufwärts des wenigstens einen Luft-Wärmetauschers 421, 422 vorgesehen sind. Entsprechend kann das Abgas aus dem Katalysator 411 zum Heizen der Luft in dem primären Luftzufuhrpfad 2210 genutzt werden. Das im Reaktant-Wärmetauscher 420 abgekühlte Luftabgas kann so in dem Katalysator 411 wieder in seiner Temperatur erhöht werden.

[0087] In einem sich daran anschließenden Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitt 2570 können zwei weitere Wärmetauscher 423, 424, nämlich ein Dampf-Wärmetauscher 423 und ein Kohlenstoffdioxid-Wärmetauscher 424, vorgesehen sein. Das Abgas aus dem Katalysator 411 kann so nochmals zur Wärmeübertragung genutzt werden. Der Wärmetauscher 424 kann auch beispielsweise bei Inbetriebnahme des Elektrolysesystems 10 zur Vorwärmung eines Inertgases anstelle von Kohlenstoffdioxid genutzt werden. Stromabwärts der Wärmetauscher 423, 424 kann das Luftabgas in Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitt 2580 geführt und schließlich über einen Luftabgasauslassabschnitt 2501 an die Umgebung oder nachgelagerte Systemkomponenten abgegeben werden. Für den Fall, dass mehrere Elektrolysezellen 100 vorgesehen sind, kann das Luftabgas auch über einen gemeinsamen Luftabgasauslass 602 des Elektrolysesystems 10 ausgelassen werden, wie in Figur 1 beispielhaft gezeigt.

[0088] Aus den Figuren ist ferner erkennbar, dass dem Luftabgas stromaufwärts der Katalysatoren 411, 412 optional auch Erdgas zugeführt werden kann. Dazu kann Erdgas über einen Erdgasabschnitt 402 eingeleitet und in einer zugehörigen Erdgaszuleitung 4210 geführt werden. Das Erdgas kann beispielsweise als Ersatzgas oder Überbrückungsgas für das Restgas RG zugeführt werden. Auch kann das Erdgas insbesondere im Teillastbetrieb zugeführt werden. Auch kann dem Luftabgas auch Restgas RG über Restgasverzweigungsabschnitte 4111, 4112 stromaufwärts der Katalysatoren 411, 412 zugesetzt werden.

[0089] Die Zusammensetzung des Reaktantes für den Elektrolyseurstapel 100 kann je nach Betriebssituation unterschiedlich vorgesehen werden.

[0090] Das Elektrolysesystem 10 weist hierzu generell einen Reaktantenzufuhrpfad 3100 auf, um Reaktant zu dem Reaktantenzufuhrabschnitt 131 zu führen. Zur Erzeugung von Synthesegas SG

wird in den Figuren beispielhaft Kohlenstoffdioxid (im Folgenden kurz: CO₂) und Wasserdampf als Reaktant verwendet. CO₂ kann hierzu über einen CO₂-Zuführabschnitt 3101 in das Elektrolysesystem 10 eingeleitet werden.

[0091] Über eine CO₂-Zuleitung 3110 kann das CO₂ dann über einen Reaktantenzuführpfad 3100 zu dem Reaktantenzuführabschnitt 131 des Elektrolyseurstapels 100 geführt werden. Wasserdampf kann in das Elektrolysesystem 10 über einen Dampfeinleitungsabschnitt 3105 eingeleitet werden. Über Dampfzuleitungen 3151, 3152 kann der Wasserdampf über eine Verbindungsstelle 307 in den Reaktantenzuführpfad 3100 geführt werden. Hierzu kann der Wasserdampf durch den zuvor beschriebenen Dampf-Wärmetauscher 423 geführt und weiter erhitzt werden. Die Dampfzuleitung 3151 kann ein Absperrorgan 355 aufweisen. Ferner kann in den Reaktantenzuführpfad 3100 Schutzgas aus einem ersten, zweiten und dritten Schutzgaszuführabschnitt 3102, 3103, 3104 zugeführt werden. Hierzu können entsprechende Zuleitungen, wie eine erste Schutzgaszuleitung 3112, eine zweite Schutzgaszuleitung 3113 und eine dritte Schutzgaszuleitung 3114 vorgesehen sein, die an Verbindungsstellen 305, 306 in den Reaktantenzuführpfad 3100 münden. In dem Reaktantenzuführpfad 3100 kann ferner ein Wärmetauscher 320 und ein Ejektor 372 vorgesehen sein.

[0092] In dem Elektrolyseurstapel 100 kann in der Reaktantenseite 130 aus dem Reaktant ein Synthesegas erzeugt werden. Das Synthesegas kann bevorzugt ein Synthesegas SG sein. Zum Abtransport des Synthesegases weist das Elektrolysesystem 10 einen Synthesegasabführpfad 3200 auf, mittels dessen auf der Reaktantenseite 130 erzeugtes Synthesegas von einem Synthesegasabschnitt 132 der Reaktantenseite 130 abgeführt werden kann. Das Synthesegas kann dabei zu einem Synthesegasauslassabschnitt 3201 geführt werden, welcher bevorzugt mit einer Syntheseanlage 900 fluidkommunizierend verbunden sein kann. Dies ist exemplarisch in Figur 1 gezeigt. Die Syntheseanlage 900 kann so beispielsweise über einen Synthesegasauslass 601 aus dem Elektrolysesystem 10 in eine Synthesegasleitung 901 gefördert werden.

[0093] Vor dem Verlassen des Elektrolysesystems 10 kann das Synthesegas durch einen Synthesegas-Kühler 321 geleitet werden. Der Synthesegas-Kühler 321 kann von einem Kühlmittel durchströmt werden, das über einen Kühlmittelzuführabschnitt 801 eingeleitet und stromabwärts des Synthesegas-Kühlers 321 über einen Kühlmittelabführabschnitt 801 wieder ausgeleitet werden kann. Der Synthesegasabführpfad 3200 kann ferner den Wärmetauscher 320 aufweisen, um Wärme aus dem Synthesegas auf den Reaktant zu übertragen. Das Elektrolysesystem 10 kann ferner einen Rezirkulationspfad 3700 aufweisen, um Synthesegas von dem Synthesegasabschnitt 132 zurück zu dem Reaktantenzuführabschnitt 131 über den Ejektor 372 zu führen. Anstelle des beispielhaft dargestellten Ejektors 372 können natürlich auch andere entsprechend geeignete Bauteile vorgesehen sein. So könnte beispielsweise eine Gasbläservorrichtung vorgesehen werden. In dem Rezirkulationspfad 3700 kann ferner ein Absperrorgan 371 vorgesehen sein.

[0094] Der Restgasanschlussabschnitt 401 ist in besonderer Weise vorgesehen, wie insbesondere aus Figur 1 hervorgeht. So ist der Restgasanschlussabschnitt 401 derart vorgesehen, dass dieser wahlweise wenigstens mit einem Restgasreservoir 443 oder mit der Syntheseanlage 900 fluidtechnisch koppelbar ist. Das Restgasreservoir 443 kann beispielsweise ein Puffertank sein. Alternativ ist es auch vorstellbar, dass anstelle der Ausbildung als Puffertank das Restgasreservoir 443 ein Leitungsende einer externen Gasversorgungsquelle aufweist. Das Elektrolysesystem 10 kann beispielsweise einen Restgasanschluss 440 aufweisen, über den dem Elektrolysesystem 10 das Restgas RG zugeführt werden kann. Eine kontrollierbare Verzweigungsstelle 441 kann vorgesehen sein, um das Restgas RG wahlweise unmittelbar zu der Restgaszuleitung 4110 zu führen, oder, alternativ, zu dem Restgasreservoir 443 zu führen. Das Restgas RG aus dem Restgasreservoir 443 kann über eine kontrollierbare Verbindungsstelle 442 zu der Restgaszuleitung 4110 geführt werden. Es ist auch weiterhin vorstellbar, dass eine oder mehrere weitere Gasquellen, wie beispielsweise ein Erdgasspeicher oder eine Erdgaszuleitung, über den Restgasanschlussabschnitt 401 und insbesondere die kontrollierbare Verbindungsstelle 442 fluidtechnisch mit der Restgaszuleitung 4110 koppelbar ist. Derart kann beispielsweise eine Versorgung des Elektrolysesystems 10 mit Restgas RG aus mehr als nur dem Restgasreservoir 443 und der Syn-

theseanlage 900 gewählt werden.

[0095] Das Elektrolysesystem 10 weist verschiedene Betriebssituationen auf. So weist das Elektrolysesystem 10 unter anderem eine Ruhe-Betriebssituation, in der das Elektrolysesystem nicht betrieben wird, eine mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation, in der das Elektrolysesystem zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases betrieben wird, eine Anlauf-Betriebssituation zum Erreichen der Normalbetrieb-Betriebssituation aus der Ruhe-Betriebssituation, und eine Rücklauf-Betriebssituation zum Erreichen der Ruhe-Betriebssituation aus der Normalbetrieb-Betriebssituation auf.

[0096] In dem Verfahren wird eine Betriebssituation erfasst und das Elektrolysesystem 10 wird in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation derart kontrolliert, dass abhängig von der erfassten Betriebssituation Restgas RG wahlweise wenigstens aus dem Restgasreservoir 443 oder aus der Syntheseanlage 900 zu wenigstens einem der Katalysatoren 411, 412 geführt wird, um dieses dort katalytisch zu verbrennen. Dabei ist es auch vorstellbar, dass auch noch andere Gasquellen, wie beispielsweise eine Erdgasleitung oder ein Methanspeicher, das Restgas RG bereitstellen können und entsprechend in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation das Restgas RG auch aus einer dieser anderen Gasquellen zugeführt werden kann. Ferner ist es auch bevorzugt vorstellbar, dass das Restgasreservoir 443 selber auch derart kontrollierbar vorgesehen ist, dass Restgas RG in Abhängigkeit von der Betriebssituation wahlweise aus dem Puffertank oder einer externen Gaszuleitung zugeführt werden kann.

[0097] Die Figuren 3 bis 5 zeigen nun exemplarisch, wie das Elektrolysesystem 10 für die Betriebssituationen kontrolliert wird. Nicht aktive Bestandteile des Elektrolysesystems sind dabei ausgegraut dargestellt. Entsprechend wird die Ruhe-Betriebssituation vorliegend nicht als Figur gezeigt, da in dieser Betriebssituation das Elektrolysesystem 10 überwiegend bis vollständig inaktiv ist. Figur 3 zeigt einen Betrieb für eine Anlauf-Betriebssituation. Figur 4 zeigt einen Betrieb für eine Normalbetrieb -Betriebssituation. Figur 5 zeigt einen Betrieb für eine Rücklauf-Betriebssituation.

[0098] Figur 3 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des Verfahrens für eine Anlauf-Betriebssituation. Diese Betriebssituation tritt ein, wenn beispielsweise das Elektrolysesystem 10 oder eine darin vorgesehene Kontrollvorrichtung 20 eine Aufforderung durch den Bediener zur Elektrolyse erhält. Mit Eintritt der vorgenannten Bedingung wird begonnen, der Reaktantenseite 130 neben Schutzgas und Wasserdampf auch CO₂ zuzuführen. Um die zuzuführende Menge an CO₂ einzustellen, kann bevorzugt eine Zugabekurve herangezogen werden. Eine Zugabekurve kann beispielsweise ein vorgegebener Verlauf einer Konzentration sein, der beispielsweise von einer anderen Größe, wie Zeit, Temperatur oder Konzentrationen anderer Stoffe, abhängt. Die Menge an Schutzgas kann zugleich verringert werden. Bei Rezirkulation des Reaktantes ergibt sich ein Gasgemisch mit einer Zusammensetzung mit Schutzgas, CO₂, Wasserdampf, Wasserstoff und Rezirkulat. Ferner kann dem Elektrolyseurstapel 100 elektrischer Strom zugeführt werden. Hierzu kann eine Leistungskurve zur Strommengenregelung durchfahren werden. Das Synthesegas, das während dieses Betriebs in dem Elektrolyseurstapel 100 als Synthesegas erzeugt wird, kann an eine Syntheseanlage 900 zur Weiterverarbeitung abgeführt werden. Da noch keine oder nur unzureichende Mengen an Restgas RG zu diesem Zeitpunkt vorliegen können, findet in der Niedrigleistung-Betriebssituation noch kein katalytisches Heizen mit den Katalysatoren 411, 412 statt. Die Luftseite 120 wird daher weiterhin mit elektrisch geheizter Luft über den ersten und den zweiten elektrischen Heizer 221, 222 versorgt. Bevorzugt kann während der Anlauf-Betriebssituation mit dem Befüllen des Restgasreservoirs 443 begonnen werden.

[0099] Figur 4 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des Verfahrens für eine Normalbetrieb-Betriebssituation. Die Normalbetrieb-Betriebssituation wird beispielsweise erfasst, sobald der Elektrolyseurstapel 100 einen elektrischen Mindeststapelstrom (bspw. 63,5 A) aufweist und das Synthesegas eine Mindestbetriebstemperatur (bspw. 800°C) aufweist. In der Normalbetrieb-Betriebssituation wird der Reaktantenseite 130 kein Schutzgas mehr zugeführt. Luft, Reaktant und elektrischer Strom werden zu dem Elektrolyseurstapel 100 geführt und daraus wird das bestimmungsgemäße Synthesegas erzeugt. Der Reaktant weist dabei Kohlenstoffdioxid und Was-

serdampf sowie rezirkuliertes Synthesegas auf. Der Betrieb kann unter Volllast oder Teillast erfolgen. Ferner kann vorgesehen sein, dass das Restgas RG aus der Syntheseanlage 900 so lange an das Restgasreservoir 443 zugeführt wird, bis das Restgasreservoir 443 einen Mindestfüllstand an Restgas RG erreicht hat. Während der Füllzeit kann dabei vorgesehen sein, dass die Temperatur des Elektrolyseurstapels 100 durch Kontrollieren des ersten und des zweiten elektrischen Heizers 221, 222 kontrolliert wird. Sobald der Mindestfüllstand erreicht ist, kann die Temperatur des Elektrolyseurstapels 100 über katalytisches Heizen kontrolliert werden. Hierbei wird das Restgas RG direkt von der Syntheseanlage 900 zu den Katalysatoren 411, 412 geführt, um ein katalytisches Heizen der zuzuführenden Luft und/oder des zuzuführenden Reaktantes zu ermöglichen.

[00100] Figur 5 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des Verfahrens für eine Rücklauf-Betriebssituation. Die Rücklauf-Betriebssituation wird erfasst, wenn das Elektrolysesystem 10 oder eine darin vorgesehene Kontrollvorrichtung beispielsweise eine Prozessaufforderung zum Beenden des Betriebes des Elektrolyseurstapels 100 erhält. Dem Reaktant wird nun wieder zunehmend Arcal F5 als Schutzgas zugeführt, um dieses zum Kühlen des Elektrolyseurstapels 100 einzusetzen. Zugleich werden die Anteile von Kohlenstoffdioxid und von Wasserdampf gemäß entsprechender Abnahmekurven bis auf „Null“ verringert. Ferner werden die Durchflussraten dieses Gasgemisches und der Luft sowie die zugeführte Menge an elektrischem Strom verringert. Die Stromreduktion erfolgt dabei so lange, bis kein Strom mehr zugeführt wird, die Stromstärke also „Null“ ist. In der Rücklauf-Betriebssituation kann nun den Katalysatoren 411, 412 das Restgas RG aus dem Restgasreservoir 443 zugeführt werden, um auch in dieser Betriebssituation katalytisches Heizen zu ermöglichen. Zeitgleich kann veranlasst werden, dass ein oder mehrere der elektrischen Heizer 221, 222, 231, 241 jeweils auf eine Heizertemperatur aufgeheizt werden. In Figur 5 sind dabei beispielsweise dargestellt, dass hierzu der erste, zweite und dritte elektrische Heizer 221, 222, 241 vorgesehen sein können. Bis die Heizertemperatur von wenigstens einem oder zwei der aufheizenden elektrischen Heizer 221, 222, 241 jeweils erreicht ist, kann das Restgas RG aus dem Restgasreservoir 443 zum Heizen verwendet werden. Es kann ferner vorgesehen sein, dass wenigstens einer der elektrischen Heizer 221, 222, 241 bei Erreichen jeder der Heizertemperaturen abgeschaltet wird. Bevorzugt wird dann der elektrische Heizer 221, 222, 241 mit der geringsten Wärmeleistung abgeschaltet. Mit Erreichen der Aufheiztemperaturen kann neben dem elektrischen Heizer 221 auch der weitere elektrische Heizer 241 dazu eingesetzt werden, die Temperatur des Elektrolyseurstapels 100 zu kontrollieren. Dabei wird die Kontrolle bevorzugt derart ausgeführt, dass bauteilabhängige maximale Temperaturgradienten nicht überschritten werden.

[00101] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Kontrollvorrichtung 20 zum Betreiben eines Elektrolysesystems. Figuren 1 bis 5 zeigen die Kontrollvorrichtung 20 exemplarisch. Die Kontrollvorrichtung 20 ist insbesondere zur Ausführung des zuvor beschriebenen Verfahrens ausgebildet. Die Kontrollvorrichtung 20 weist ein Erfassungsmodul 21 zum Erfassen der Betriebssituationen auf. Ferner weist sie ein Situationskontrollmodul 22 auf, um das Elektrolysesystem 10 abhängig von der erfassten Betriebssituation zu kontrollieren. Die Kontrollvorrichtung 20 kann signaltechnisch mit Komponenten des Elektrolysesystems 10 verbunden sein. Hierzu können in dem Elektrolysesystem 10 entsprechende Kontrollleitungen 23, 24, 25, 26, 27 vorgesehen sein, um beispielsweise eine Kontrolle der Elektrolyseurstapel 100 zu ermöglichen. Auch kann die kontrollierbare Verzweigungsstelle 441 oder die kontrollierbare Verbindungsstelle 442 in Abhängigkeit von der Betriebssituation kontrolliert werden. Das Restgasreservoir 443 kann zu seinem Füllstand befragt werden.

[00102] Die voranstehende Erläuterung der Ausführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen. Selbstverständlich können einzelne Merkmale der Ausführungsformen, sofern technisch sinnvoll, frei miteinander kombiniert werden, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

BEZUGSZEICHENLISTE

10	Elektrolysesystem
20	Kontrollvorrichtung
21	Erfassungsmodul
22	Situationskontrollmodul
23 bis 27	Kontrollleitungen
100	Elektrolyseurstapel
120	Luftseite
122	Luftzuführabschnitt
125	Luftabgasabschnitt
130	Reaktantenseite
131	Reaktantenzuführabschnitt
132	Synthesegasabschnitt
201	erster Vorlaufluftheizer
202	zweiter Vorlaufluftheizer
203	Luftfilter
204	Luftbläser
205	Verzweigungsstelle
206	Verzweigungsstelle
207	Verzweigungsstelle
213	Mischabschnitt
215	Absperrorgan
221	erster elektrischer Heizer
222	zweiter elektrischer Heizer
224	Absperrorgan
225	Absperrorgan
226	Verbindungsstelle
231	weiterer elektrischer Heizer
233	Verbindungsstelle
235	Absperrorgan
241	weiterer elektrischer Heizer
245	Absperrorgan
251	Verbindungsstelle
305	Verbindungsstelle
306	Verbindungsstelle
307	Verbindungsstelle
320	Wärmetauscher

- 321 Synthesegas-Kühler
- 333 Verbindungsstelle
- 353 Verbindungsstelle
- 355 Absperrorgan
- 371 Absperrorgan
- 372 Ejektor
- 401 Restgasanschlussabschnitt
- 402 Erdgasabschnitt
- 411 Katalysator
- 412 Katalysator
- 413, 414 Katalysatoreingangsabschnitt
- 420 Reaktant-Wärmetauscher
- 421 Luft-Wärmetauscher
- 422 Luft-Wärmetauscher
- 423 Dampf-Wärmetauscher
- 424 CO₂-Wärmetauscher
- 440 Restgasanschluss
- 441 kontrollierbare Verzweigungsstelle
- 442 kontrollierbare Verbindungsstelle
- 443 Restgasreservoir
- 444 Restgaszuführleitung
- 510 Stromversorgungsquelle
- 511 elektrischer Verbindung
- 512 Elektrodenanschluss
- 514 Relay
- 601 Synthesegasauslass
- 602 Luftabgasauslass
- 801 Kühlmittelzuführabschnitt
- 802 Kühlmittelabführabschnitt
- 900 Syntheseanlage
- 901 Synthesegasleitung
- 2200 Luftzuführpfad
- 2201 Lufteinlassabschnitt
- 2202 Luftzuführ-Leitungsabschnitt
- 2210 primärer Luftzuführungspfad
- 2212 Luftzuleitungsabschnitt
- 2220 sekundärer Luftzuführungspfad

2221, 2222 Luftwärmepfad
2500 Luftabgasabfuhrpfad
2501 Luftabgasauslassabschnitt
2510 Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitt
2520 Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitt
2530 weiterer Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad
2540 Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitt
2550 Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad
2560 Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitt
2570 Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitt
2580 Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitt
3100 Reaktantenzufuhrpfad
3101 CO₂-Zufuhrabschnitt
3102 erster Schutzgaszufuhrabschnitt
3103 zweiter Schutzgaszufuhrabschnitt
3104 dritter Schutzgaszufuhrabschnitt
3105 Dampfeinleitungsabschnitt
3110 CO₂-Zuleitung
3112 erste Schutzgaszuleitung
3113 zweite Schutzgaszuleitung
3114 dritte Schutzgaszuleitung
3115 Verzweigungsleitung
3151 Dampfzuleitung
3152 Dampfzuleitung
3200 Synthesegasabfuhrpfad
3201 Synthesegasauslassabschnitt
3700 Rezirkulationspfad
4110 Restgaszuleitung
4111 Restgasleitungsverzweigungsabschnitt
4112 Restgasleitungsverzweigungsabschnitt
4210 Erdgaszuleitung
SG Synthesegas
RG Restgas

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Elektrolysesystems (10), wobei das Elektrolysesystem (10) wenigstens einen Elektrolyseurstapel (100) mit einer Luftseite (120), welcher Luft über einen Luftzufuhrpfad (2200) zuführbar ist, und einer Reaktantenseite (130), welcher Reaktant über einen Reaktantenzufuhrpfad (3100) zuführbar ist, aufweist, und wobei das Elektrolysesystem (10) verschiedene Betriebssituationen aufweist, welche wenigstens aufweisen:
 - eine Ruhe-Betriebssituation, in der das Elektrolysesystem (10) nicht betrieben wird,
 - eine mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation, in der das Elektrolysesystem (10) zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases (SG) betrieben wird,
 - eine Anlauf-Betriebssituation zum Erreichen der Normalbetrieb-Betriebssituation aus der Ruhe-Betriebssituation, und
 - eine Rücklauf-Betriebssituation zum Erreichen der Ruhe-Betriebssituation aus der Normalbetrieb-Betriebssituation,
- gekennzeichnet durch**
 - Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10), und
 - Zuführen von Restgas (RG) zu einem Katalysator (411, 412) zum katalytischen Verbrennen des Restgases (RG), wobei das Restgas (RG) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation wahlweise wenigstens aus einem Restgasreservoir (443) oder aus einer Syntheseanlage (900) zugeführt wird.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, dass das Restgas (RG) aus einem Syntheseprozess ist, bei dem Synthesegas (SG) in der Syntheseanlage (900) in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, **gekennzeichnet dadurch**, dass in einer Rücklauf-Betriebssituation das Restgas (RG) dem Katalysator (411, 412) aus dem Restgasreservoir (443) zugeführt wird, und/oder in einer Normalbetrieb-Betriebssituation das Restgas (RG) dem Katalysator (411, 412) bevorzugt direkt aus der Syntheseanlage (900) zugeführt wird.
4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Kontrollieren der Zuführung des Restgases (RG) zu dem Katalysator (411, 412) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation, so dass dem Katalysator (411, 412) Restgas (RG) in einer Normalbetrieb-Betriebssituation und/oder in einer Rücklauf-Betriebssituation wenigstens teilweise zugeführt wird, und/oder so dass dem Katalysator (411, 412) in einer Anlauf-Betriebssituation kein Restgas (RG) zugeführt wird.
5. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**
 - Kontrollieren einer Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) mittels des von dem Restgas (RG) gespeisten Katalysators (411, 412) in einer Normalbetrieb-Betriebssituation und wenigstens teilweise in einer Rücklauf-Betriebssituation, indem Wärme eines aus der katalytischen Verbrennung des Restgases (RG) resultierenden Katalysator-Abgasstroms mittels zumindest eines Wärmetauschers (420, 421, 422, 423, 424) an die zuzuführende Luft und/oder an den zuzuführenden Reaktant übertragen wird.
6. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**
 - Aufheizen von wenigstens einem elektrischen Heizer (221, 222, 231, 241) jeweils auf eine Heizertemperatur in einer Rücklauf-Betriebssituation, wobei die Heizer (221, 222, 231, 241) in dem Luftzufuhrpfad (2200) vorgesehen sind; und
 - Zuführen des Restgases (RG) aus dem Restgasreservoir (443) in der Rücklauf-Betriebssituation bis die Heizertemperatur von wenigstens einem der aufheizenden elektrischen Heizer (221, 222, 231, 241) jeweils erreicht ist.

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, **gekennzeichnet durch**
 - bevorzugt Aufheizen jedes der elektrischen Heizer (221, 222, 231, 241) auf eine jeweilige Heizertemperatur in einer Rücklauf-Betriebssituation,
 - Abschalten wenigstens eines der elektrischen Heizer (221, 222, 231, 241) bei Erreichen jeder der Heizertemperaturen, wobei bevorzugt aus den aufzuheizenden elektrischen Heizern (221, 222, 231, 241) der elektrische Heizer (221, 222, 231, 241) mit der geringsten Wärmeleistung abgeschaltet wird, sobald der elektrische Heizer (221, 222, 231, 241) mit der höchsten Wärmeleistung die ihm zugehörige Heizertemperatur erreicht, und
 - bevorzugt Zuführen des Restgases (RG) aus dem Restgasreservoir (443) in einer Rücklauf-Betriebssituation bis zum Erreichen der Heizertemperaturen jedes der aufzuheizenden elektrischen Heizer (221, 222, 231, 241).
8. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**
 - Zuführen des Restgases (RG) aus der Synthesanlage (900) an das Restgasreservoir (443) in einer Anlauf-Betriebssituation und/oder in einer Normalbetrieb-Betriebssituation bis das Restgasreservoir (443) einen Mindestfüllstand an dem Restgas (RG) erreicht hat;
 - Kontrollieren einer Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) in einer Anlauf-Betriebssituation und/oder in einer Normalbetrieb-Betriebssituation durch Kontrollieren wenigstens eines elektrischen Heizers (221, 222, 231, 241) zur Kontrolle der Lufttemperatur von Luft, die der Luftseite (120) über den Luftzuführpfad (2200) zuführbar ist, bis das Restgasreservoir (443) einen Mindestfüllstand an dem Restgas (RG) erreicht hat;
 - Zuführen des Restgases (RG) aus der Synthesanlage (900) an den Katalysator (411, 412) in der Normalbetrieb-Betriebssituation, sobald das Restgasreservoir (443) den Mindestfüllstand an dem Restgas (RG) erreicht hat; und
 - Kontrollieren einer Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) in der Normalbetrieb-Betriebssituation durch Einstellen eines Massenstroms des Restgases (RG) aus der Synthesanlage (900), sobald das Restgasreservoir (443) den Mindestfüllstand an dem Restgas (RG) erreicht hat.
9. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**
 - Kontrollieren einer Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) in einer Anlauf-Betriebssituation mittels eines ersten elektrischen Heizers (221) und bevorzugt mittels eines zweiten elektrischen Heizers (222), welche in zwei zueinander parallelen und miteinander fluidtechnisch verbundenen Luftwärmepfaden (2221, 2222) des Luftzuführpfads (2200) angeordnet sind.
10. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**
 - Kontrollieren einer Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) in einer Rücklauf-Betriebssituation mittels wenigstens eines zweiten elektrischen Heizers (222) und eines dritten elektrischen Heizers (241), wobei der zweite elektrische Heizer (222) in einem Luftwärmepfad (2222) des Luftzuführpfads (2200) und der dritte elektrische Heizer (241) in einem zu dem Luftwärmepfad (2221) parallelen Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad (2550) vorgesehen ist, welcher mit einem Luftabgasabfuhrpfad (2500) zum Abführen des in der Luftseite (120) erzeugten Luftabgases (SG) fluidtechnisch verbunden ist.
11. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, ein Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 10 auszuführen.
12. Elektrolysesystem (10), bevorzugt ein SOEC- oder CO-SOEC-System, aufweisend:
 - wenigstens einen Elektrolyseurstapel (100) mit einer Luftseite (120) und einer Reaktantenseite (130),
 - einen Luftzuführpfad (2200), um Luft zu einem Luftzuführabschnitt (122) der Luftseite (120) zu führen, aufweisend
 - o einen primären Luftzuführpfad (2210), und

- einen zu dem primären Luftzuführpfad (2210) parallelen sekundären Luftzuführpfad (2220) mit zwei parallelen Luftwärmepfaden (2221, 2222), wobei in einem der Luftwärmepfade (2221) ein erster elektrischer Heizer (221) und in dem anderen Luftwärmepfad (2222) ein zweiter elektrischer Heizer (222) vorgesehen ist,
- einen Luftabgasabfuhrpfad (2500), um das erzeugte Luftabgas von einem Luftabgasabschnitt (125) der Luftseite (120) abzuführen,
- einen Reaktantenzuführpfad (3100), um Reaktant zu einem Reaktantenzuführabschnitt (131) der Reaktantenseite (130) zu führen,
- einen Synthesegasabfuhrpfad (3200), um auf der Reaktantenseite (130) erzeugtes Synthesegas (SG) von einem Synthesegasabschnitt (132) der Reaktantenseite (130) abzuführen,
- einen Restgasanschlussabschnitt (401) zum Bereitstellen von Restgas (RG) an das Elektrolysesystem (10),
- einen Katalysator (411, 412) zur katalytischen Verbrennung des Restgases (RG), wobei der Katalysator (411, 412) in dem Luftabgasabfuhrpfad (2500) angeordnet ist und stromaufwärts eines Katalysatoreingangsabschnitts (4111, 4121) fluidtechnisch mit dem Restgasanschlussabschnitt (401) über eine Restgaszuleitung (4110) gekoppelt ist,
- einen Reaktant-Wärmetauscher (420, 423, 424), welcher wärmeübertragend mit dem Reaktantenzuführpfad (3100) verbunden ist und stromabwärts des Katalysators (411, 412) in dem Luftabgasabfuhrpfad (2500) angeordnet ist,
- einen Luft-Wärmetauscher (421, 422), welcher wärmeübertragend mit dem primären Luftzuführpfad (2210) verbunden ist und stromabwärts des Katalysators (411, 412) in dem Luftabgasabfuhrpfad (2500) angeordnet ist,
- einen Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad (2550), in welchem ein dritter elektrischer Heizer (241) vorgesehen ist, welcher fluidtechnisch mit dem Luftzuführpfad (2200) und Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitten (2540, 2560) des Luftabgasabfuhrpfads (2500) gekoppelt ist, wobei die Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitte (2540, 2560) stromabwärts des Reaktant-Wärmetauschers (420, 423, 424) und stromaufwärts des Luft-Wärmetauschers (421, 422) vorgesehen sind,

gekennzeichnet dadurch, dass

- der Restgasanschlussabschnitt (401) wahlweise wenigstens mit einem Restgasreservoir (443) oder mit einer Syntheseanlage (900), in der das Restgas (RG) in einem Syntheseprozess, bei dem Synthesegas (SG) in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, abscheidbar ist, fluidtechnisch koppelbar vorgesehen ist.
13. Elektrolysesystem (10) gemäß Anspruch 12, **gekennzeichnet dadurch, dass** die Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitte (2540, 2560) einen zweiten Katalysator (411, 412) zur katalytischen Verbrennung des Restgases (RG) aufweisen, welcher stromabwärts des dritten elektrischen Heizers (241) vorgesehen ist, wobei bevorzugt der Luftabgasabfuhrpfad (2500) stromabwärts der Luftabgasabfuhr-Leitungsabschnitte (2540, 2560) und stromaufwärts des zweiten Katalysators (411, 412) fluidtechnisch mit der Restgaszuleitung (4110) gekoppelt ist.
 14. Elektrolysesystem (10) gemäß Anspruch 12 oder Anspruch 13, **gekennzeichnet dadurch, dass** die elektrischen Heizer (221, 222, 231, 241) wenigstens teilweise unterschiedliche Heizkapazitäten aufweisen.
 15. Kontrollvorrichtung (20) zum Betreiben eines Elektrolysesystems (10) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, das Elektrolysesystems (10) aufweisend
 - ein Erfassungsmodul (21) zum Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10),

- ein Situationskontrollmodul (22) zum Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation,

gekennzeichnet dadurch, dass

das Situationskontrollmodul (22) dazu eingerichtet ist, Restgas (RG) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation wahlweise wenigstens aus einem Restgasreservoir (443) oder aus einer Syntheseanlage (900) zu einem Katalysator (411, 412) des Elektrolysesystems (10) zum katalytischen Verbrennen des Restgases (RG) zu führen.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

1/5

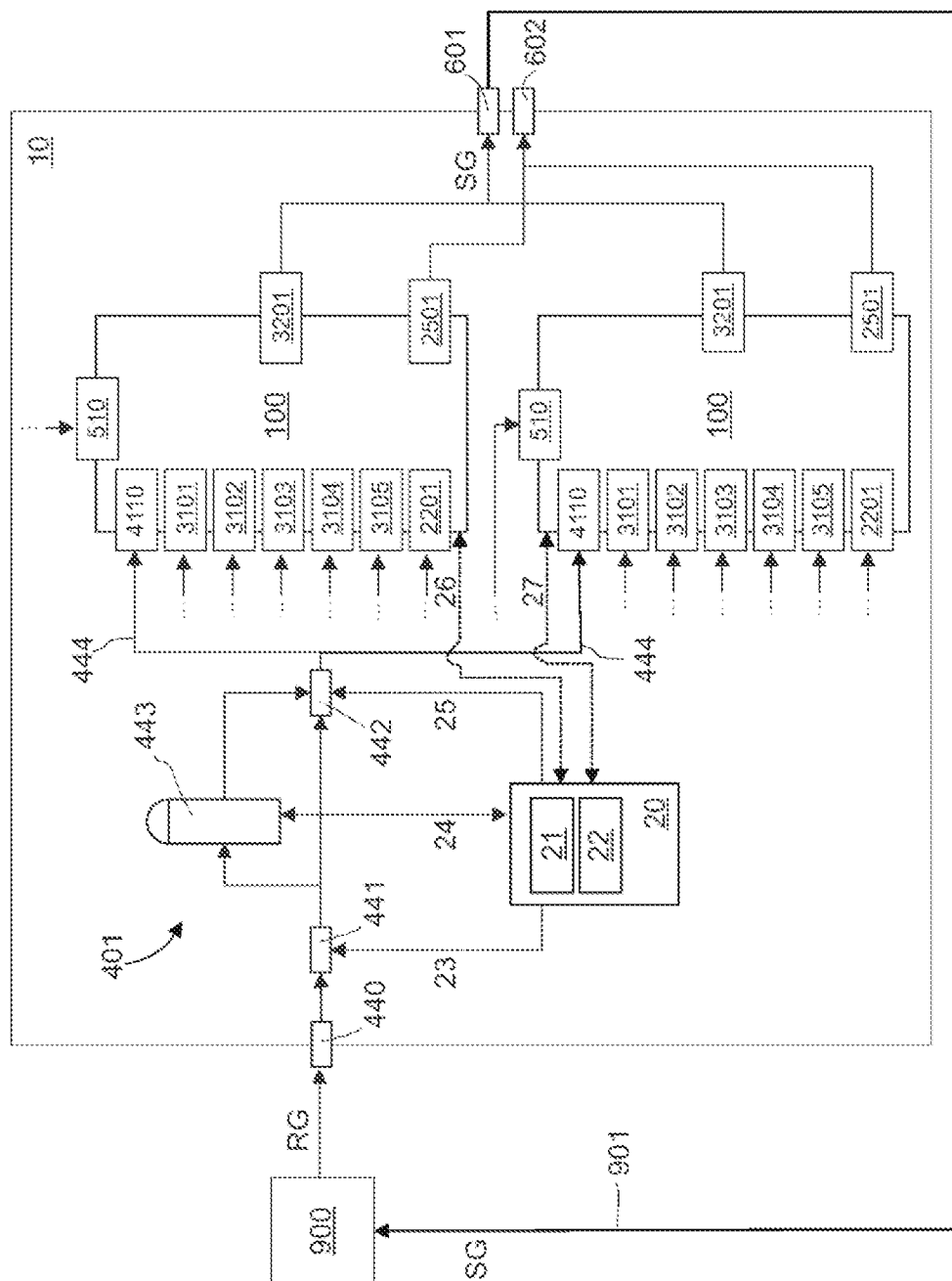


Fig. 1

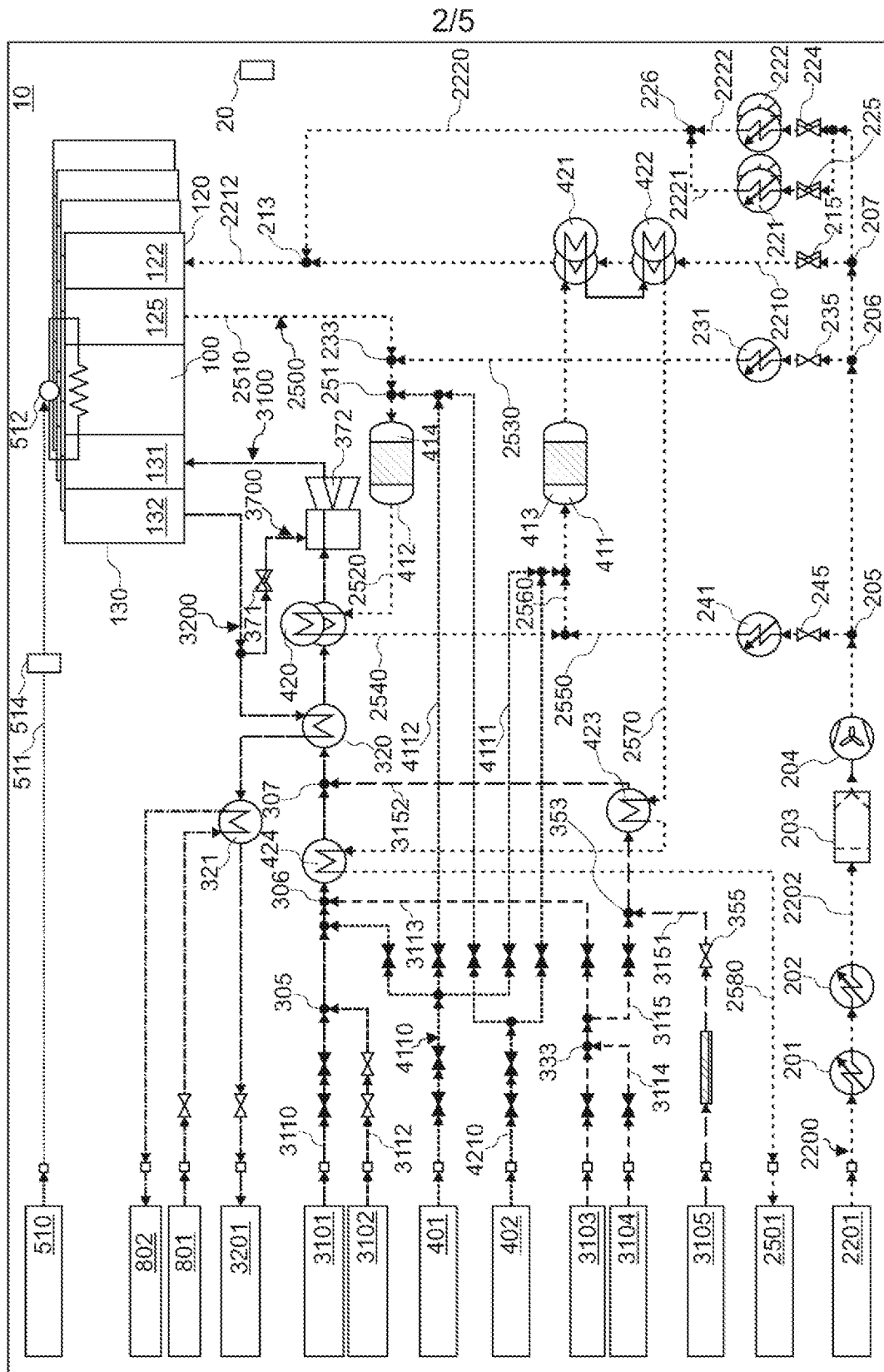
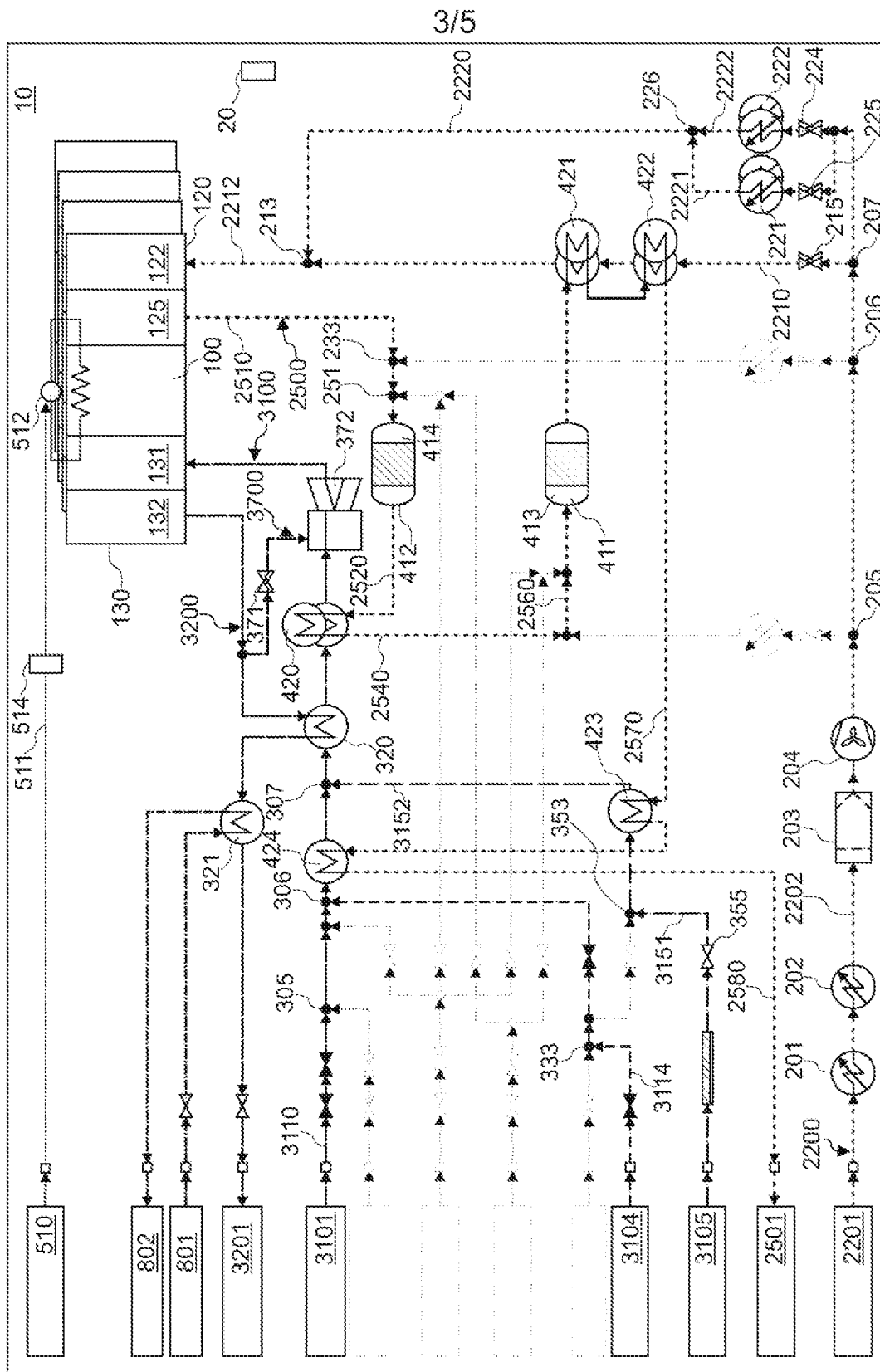


Fig. 2



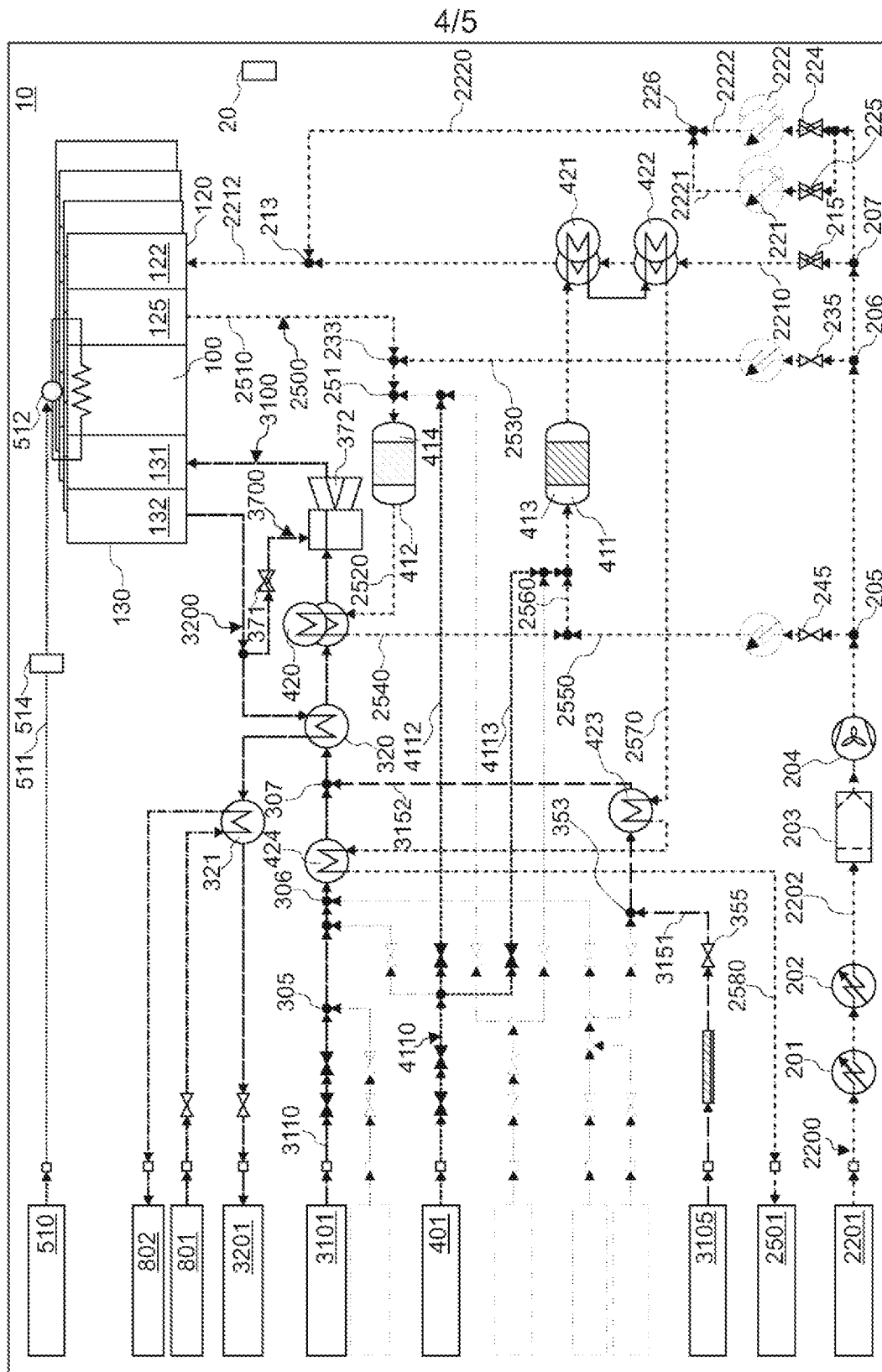


Fig. 4

