

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50974/2023
(22) Anmeldetag: 05.12.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2025

(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:
US 2019360110 A1
DE 102021208137 A1
KR 102526672 B1
CN 113373457 A
DE 102020206447 A1

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

(72) Erfinder:
Kogler-Lichtenegger Markus Dipl.-Ing.
8511 St. Stefan ob Stainz (AT)
Goll Markus Dipl.-Ing. BSc
8010 Graz (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 (1000) zum Betreiben eines Elektrolysesystems (10), welches wenigstens einen Elektrolyseurstapel (100) mit einer Luftseite (120) und einer Reaktantenseite (130) sowie verschiedene Betriebssituationen aufweist. Das Verfahren (1000) weist ein Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10) und ein Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation auf. In dem Verfahren (1000) wird eine Betriebssituation des Elektrolysesystems (10) als Sonder-Betriebssituation erfasst, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems (10) zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus einem Reaktant. Für die erfasste Sonder-Betriebssituation wird wenigstens ein elektrischer Heizer (221, 222) zur Kontrolle der Lufttemperatur von der Luftseite (120)

zuführbarer Luft kontrolliert, um eine Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) zu kontrollieren. Ferner wird für die Sonder-Betriebssituation ein Heizgas zu der Reaktantenseite (130) geführt, welches wenigstens ein Schutzgas aufweist. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Computerprogrammprodukt und eine Kontrollvorrichtung (20) zur Ausführung des Verfahrens (1000). Ferner betrifft die Erfindung ein Elektrolysesystem (10) mit der Kontrollvorrichtung (20).

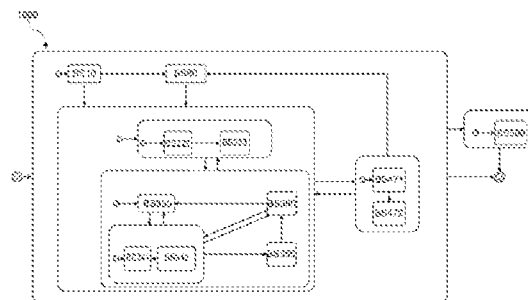


Fig. 1

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (1000) zum Betreiben eines Elektrolysesystems (10), welches wenigstens einen Elektrolyseurstapel (100) mit einer Luftseite (120) und einer Reaktantenseite (130) sowie verschiedene Betriebssituationen aufweist. Das Verfahren (1000) weist ein Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10) und ein Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation auf. In dem Verfahren (1000) wird eine Betriebssituation des Elektrolysesystems (10) als Sonder-Betriebssituation erfasst, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems (10) zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus einem Reaktant. Für die erfasste Sonder-Betriebssituation wird wenigstens ein elektrischer Heizer (221, 222) zur Kontrolle der Lufttemperatur von der Luftseite (120) zuführbarer Luft kontrolliert, um eine Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) zu kontrollieren. Ferner wird für die Sonder-Betriebssituation ein Heizgas zu der Reaktantenseite (130) geführt, welches wenigstens ein Schutzgas aufweist. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Computerprogrammprodukt und eine Kontrollvorrichtung (20) zur Ausführung des Verfahrens (1000). Ferner betrifft die Erfindung ein Elektrolysesystem (10) mit der Kontrollvorrichtung (20)

Fig. 1

Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben eines Elektrolysesystems

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Elektrolysesystems, sowie ein Computerprogrammprodukt und eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens. Die Erfindung betrifft ferner ein Elektrolysesystem mit der erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung.

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.

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

Dies erschwert es insbesondere, Temperaturgradienten beim Aufwärmen oder Abkühlen von Systembauteilen zuverlässig in zulässigen Bereichen zu halten. Dabei können die Bauteile des Elektrolysesystems relativ stark thermisch und mechanisch belastet werden.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Effizienz und Sicherheit von Hochtemperatur-Elektrolysesystemen sowie die Kontrolle von Anlauf- und Rücklaufvorgängen insbesondere hinsichtlich zulässiger Temperaturgradienten zu verbessern.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 13, eine Kontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 14 sowie durch ein Elektrolysesystem mit den Merkmalen des Anspruchs 15.

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 sowie dem erfindungsgemäßen Elektrolysesystem und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird und Bezug genommen werden kann.

Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Elektrolysesystems. Das Elektrolysesystem weist wenigstens einen Elektrolyseurstapel mit einer Luftseite und einer Reaktantenseite auf. Das Elektrolysesystem weist ferner verschiedene Betriebssituationen auf. Das Verfahren weist einen Schritt eines Erfassens einer Betriebssituation des Elektrolysesystems auf. Ferner weist das Verfahren ein Kontrollieren des Elektrolysesystems in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation auf. Eine Betriebssituation des Elektrolysesystems wird als Sonder-Betriebssituation erfasst, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus einem Reaktanten, der der Reaktantenseite über einen Reaktantenzuführpfad des Elektrolysesystems zuführbar ist. Für die erfasste Sonder-Betriebssituation wird das Elektrolysesystem kontrolliert,

wobei wenigstens ein elektrischer Heizer zur Kontrolle der Lufttemperatur von Luft, die der Luftseite über einen Luftzuführpfad des Elektrolysesystems zuführbar ist, kontrolliert wird, um eine Temperatur des Elektrolyseurstapels zu kontrollieren. Ferner wird ein Heizgas zu der Reaktantenseite über den Reaktantenzuführpfad zugeführt, welches wenigstens ein Schutzgas aufweist.

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

Dabei kann unter einem „Betreiben eines Systems“ bevorzugt ein Anleiten des Systems zum Arbeiten verstanden werden. Das Elektrolysesystem kann beispielsweise ein Brennstoffzellenelektrolyseursystem, ein Hochtemperatur-Brennstoffzellenelektrolyseur-system, ein SOEC- oder ein CO-SOEC-System sein. Ferner bevorzugt kann das Elektrolysesystem ein reversibles Brennstoffzellensystem, wie ein rSOC-System.

Das Elektrolysesystem weist wenigstens einen Elektrolyseurstapel mit einer Luftseite und einer Reaktantenseite auf. Das Elektrolysesystem weist verschiedene Betriebssituationen auf.

Im Rahmen der Erfindung kann eine „Betriebssituation“ insbesondere als eine Situation oder Umstände verstanden werden, die während des Betriebs des Elektrolysesystems auftreten. Eine Betriebssituation kann durch das momentane Beschaffenheit 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 auftretende Umstände des Elektrolysesystems nur einer Betriebssituation zuordenbar sind. Eine Betriebssituation kann im Rahmen der Erfindung auch zum Beispiel von außen vorgegeben werden. Somit ist im Rahmen der Erfindung unter Erfassen bevorzugt auch Vorgeben zu verstehen.

Gemäß der Erfindung wird eine Betriebssituation des Elektrolysesystems als Sonder-Betriebssituation erfasst, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem

Normalbetrieb des Elektrolysesystems. Dabei ist der Normalbetrieb zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus Reaktant, der der Reaktantenseite über einen Reaktantenzuführpfad des Elektrolysesystems zuführbar ist, vorgesehen.

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 „Pfad“ kann im Rahmen der Erfindung insbesondere ein Strömungsweg zwischen einem Anfangspunkt und wenigstens einem oder mehreren Endpunkten verstanden werden.

Als „Sonder-Betriebssituation“ kann im Rahmen der Erfindung insbesondere eine Betriebssituation verstanden werden, die abweicht von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems. Bei einer Sonder-Betriebssituation kann es sich somit insbesondere um Ruhe- und/oder Übergangszustände des Elektrolysesystems handeln, die beispielsweise vor und/oder nach einem Normalbetrieb auftreten.

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%, oder 50% Produktionskapazität) und/oder Volllast umfassen.

Im Rahmen der Erfindung kann unter einem „bestimmungsgemäßen Synthesegas“ 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. Ferner bevorzugt ist das Elektrolysesystem zu der Erzeugung dieses Synthesegases ausgelegt und/oder vorgesehen. Der Reaktant kann dabei über einen Reaktantenzuführpfad, wie eine Reaktantenzuführleitung, zugeführt werden. Als „Reaktant“ kann bevorzugt ein gasförmiges Gemisch verstanden werden, welches

insbesondere Wasser und Kohlenstoffdioxid aufweist. Dies wird bevorzugt auch als Reaktant-Gas-Kohlenstoffdioxid-Gemisch oder Reaktant-Gasgemisch bezeichnet.

Als Reaktant kann im Rahmen der Erfindung vorteilhaft auch Brennstoff verstanden werden.

Die Zusammensetzung des Reaktantes kann von der gewünschten Zusammensetzung des Synthesegases abhängig sein.

Gemäß der Erfindung wird das Elektrolysesystem in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation kontrolliert.

Im Rahmen der Erfindung kann unter einem „Kontrollieren“ insbesondere ein Steuern und/oder Regeln von Eingangsgrößen, Parametern und/oder Komponenten des Elektrolysesystems verstanden werden.

Für die erfasste Sonder-Betriebssituation wird wenigstens ein elektrischer Heizer zur Kontrolle der Lufttemperatur von Luft, welche der Luftseite über einen Luftzufuhrpfad des Elektrolysesystems zuführbar ist, kontrolliert, um eine Temperatur des Elektrolyseurstapels zu kontrollieren. Bevorzugt kann so für die erfasste Sonder-Betriebssituation eine Temperatur des Elektrolyseurstapels mittels wenigstens des elektrischen Heizers kontrolliert werden.

Bei der Temperatur des Elektrolyseurstapels kann es sich insbesondere um eine lokal am Elektrolyseurstapel messbare Temperatur oder gemittelte Temperatur, die aus lokal verschiedenen gemessenen Temperaturen berechnet wird, handeln. Der Luftzufuhrpfad kann beispielsweise als eine Luftzufuhrleitung vorgesehen sein.

Für die erfasste Sonder-Betriebssituation wird ein Heizgas zu der Reaktantenseite über den Reaktantenzufuhrpfad zugeführt, welches wenigstens ein Schutzgas aufweist.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter einem „Heizgas“ insbesondere ein Gas oder Gasgemisch verstanden werden, das zum Wärmetransport fähig ist. Unter einem „Schutzgas“ kann im Rahmen der Erfindung insbesondere ein Gas oder Gasgemisch verstanden werden, das mit zu überströmenden Oberflächen und im System auftretenden Substanzen unter betriebsüblichen Bedingungen nicht reagiert und bevorzugt ferner zur Verdrängung reaktiver Substanzen, insbesondere von Gasen wie

Luft oder Sauerstoff, geeignet ist. Das Schutzgas kann beispielsweise ein Inertgas, wie Argon oder Stickstoff, sein.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird es möglich, Betriebssituationen, die nicht dem Normalbetrieb entsprechen, zu identifizieren und situationsspezifisch zu kontrollieren. Als besonderer Vorteil ergibt sich, dass in dem Verfahren die Kontrolle der Temperatur des Elektrolyseurstapels gerade in Betriebssituationen, die bei Übergängen zu und von dem Normalbetrieb auftreten, genau, schnell und effizient erfolgen kann, da die Temperatur von Luft mittels elektrischer Heizer relativ genau und schnell regulierbar ist. Dies ermöglicht auch das Einhalten von Temperaturgradienten, so dass die thermische Belastung für Bauteile des Elektrolysesystems bei Aufheiz- und Abkühlvorgängen reduziert werden kann. Ferner kann über die Lufttemperatur der Zeitpunkt für das Einsetzen chemischer Reaktionen in dem Elektrolyseurstapel kontrolliert werden. Die Versorgung der Reaktantenseite mit Heizgas in Sonder-Betriebssituationen erlaubt einen Wärmetransport in und aus dem Elektrolyseurstapel, so dass das Elektrolysesystem indirekt mit dem Heizgas geheizt oder gekühlt werden kann. Da das Heizgas für Sonder-Betriebssituationen mit Schutzgas versetzt ist, kann sichergestellt werden, dass nur vorgesehene Substanzen in dem Reaktantenleitungen auftreten und in dem Elektrolyseurstapel umgesetzt werden. Verunreinigung des Reaktantes durch etwaig zurückgebliebenes Gas in der Reaktantenversorgung und Reaktantenumsetzung können so verhindert werden. Entsprechend kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren der Energiebedarf und die Sicherheit beim Betrieb des Elektrolysesystems optimiert werden.

Bevorzugt kann der wenigstens eine elektrische Heizer gemäß einem Temperaturprofil für die aufgeheizte Luft kontrolliert werden. Hierzu kann beispielsweise ein Temperaturprofil vorgegeben werden. Ferner kann bevorzugt ein maximal zulässiger Temperaturgradient des Temperaturprofils das Minimum aus bauteilabhängigen maximalen Aufheiz- und/oder Abkühlgeschwindigkeiten sein. Im Rahmen der Erfindung kann der Heizer auch beispielsweise als Fackel mit Wärmetauscher ausgebildet sein. Es muss also nicht zwingend ein elektrischer Heizer sein.

Somit kann erreicht werden, dass Temperaturänderungen von Bauteilen zulässig schnell durchlaufen, um deren thermische Beanspruchungen zu reduzieren und Beschädigungen oder Fehlfunktionen der Bauteile zu vermeiden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine dem Normalbetrieb vorangehende erste Aufwärm-Betriebssituation erfasst werden, wenn eine Prozessaufforderung zum Aufwärmen des Elektrolyseurstapels auf eine Aufwärmtemperatur erfolgt. Die Sonder-Betriebssituation kann die erste Aufwärm-Betriebssituation aufweisen. Für die erfasste erste Aufwärm-Betriebssituation kann ein Kontrollieren des Elektrolysesystems bevorzugt ein Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases aufweisen, bei dem das Heizgas in einem ersten Zeitabschnitt nur das Schutzgas, bevorzugt Stickstoff, aufweist, und in einem zweiten Zeitabschnitt das Heizgas ein Gasgemisch aus Wasserstoff und dem Schutzgas aufweist. Bevorzugt kann das Gasgemisch hierbei eine Zusammensetzung von bis zu 95% Stickstoff als das Schutzgas und von bis zu 5% Wasserstoff aufweisen, um eine Oberfläche der Elektrode der Reaktantenseite bevorzugt innerhalb des zweiten Zeitabschnitts wenigstens teilweise zu reduzieren. Bevorzugt kann das Gasgemisch in einer Zusammensetzung von bis zu 95% Stickstoff als das Schutzgas und von bis zu 5% Wasserstoff als Gasgemisch, das beispielsweise auch unter dem Namen „Arcal F5“ vertrieben wird, bereitgestellt werden. Bevorzugt kann der zweite Zeitabschnitt begonnen werden, wenn der Elektrolyseurstapel eine Reduzierungstemperatur aufweist. Bevorzugt kann der zweite Zeitabschnitt wenigstens 10 Minuten andauern.

Vorteilhaft kann das Elektrolysesystem auch gleich von Beginn weg mit einem Gasgemisch in einer Zusammensetzung von bis zu 95% Stickstoff als das Schutzgas und von bis zu 5% Wasserstoff als Gasgemisch, sprich gleich mit Arcal F5 aufgeheizt werden. Alternativ ist es auch denkbar, dass das Elektrolysesystem nur mit Stickstoff als Gas aufgeheizt wird, wobei dieses dann kurz vor einem Start des Betriebes mit Wasserstoff reduziert wird.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter einer „Prozessaufforderung“ bevorzugt ein Kontrollbefehl, insbesondere ein Steuerungsbefehl durch beispielsweise einen Benutzer des Elektrolysesystems, verstanden werden. Ferner kann unter einem „Kontrollieren einer Zusammensetzung“ insbesondere ein Bereitstellen und Zusammenführen von Gaskomponenten zu einem Gasgemisch mit definierten Volumenanteilen der Gaskomponenten verstanden werden.

Damit wird es möglich, den Elektrolyseurstapel auf der Reaktantenseite zu Beginn eines Aufheizvorgangs zunächst für eine definierte Zeit mit einem Schutzgas zu spülen, um so beispielsweise zurückgebliebenen Restsauerstoff aus der

Reaktantenseite zu entfernen. In einem sich anschließenden Reduzierungsprozess kann die Elektrode der Reaktantenseite mittels des dem Heizgas beigemischten Wasserstoffs reduziert werden, wobei oxidierte Elektrodenoberflächenabschnitte mit dem Wasserstoff reagieren. Beispielsweise kann die Elektrodenoberfläche auf der Reaktantenseite vor der Überströmung mit dem Heizgas Nickeloxid aufweisen und nach erfolgter Reduktion allein Nickel aufweisen. Derart kann der Innenwiderstand der Elektrode reduziert und die Effizienz der Elektrolyse gesteigert werden. Zeitgleich kann die Luftseite mit Luft gespült und der Elektrolyseurstapel über die elektrisch geheizte Luft aufgeheizt werden. Dies ermöglicht es, das Elektrolysesystem einerseits stoffseitig in einen definierten Zustand zu versetzen und andererseits langsam aufzuheizen. Zugleich kann eine Druckdifferenz in dem Elektrolyseurstapel eingestellt werden. Mit diesen Schritten kann die Sicherheit und die Effizienz beim Betrieb des Elektrolysesystems erhöht werden.

Alternativ oder zusätzlich kann das Heizgas in einem Rezirkulationspfad des Elektrolysesystems rezirkuliert werden. Dabei kann der Rezirkulationspfad sich zwischen einem Synthesegasabschnitt der Reaktantenseite zum Abführen des Synthesegases und einem Reaktantenzuführabschnitt der Reaktantenseite zum Zuführen des Reaktantes erstrecken. Bevorzugt kann eine Rezirkulation von Heizgas oder Synthesegas für eine Sonder-Betriebssituation, wie der ersten Aufwärm-Betriebssituation, und/oder für den Normalbetrieb erfolgen.

Dies ermöglicht ein effizientes und effektives Aufwärmen der Reaktantenseite. Insbesondere kann das Heizgas in dem Elektrolyseurstapel Wärme aus der elektrisch geheizten Luft aufnehmen. Das so aufgewärmte Heizgas kann dann durch den Synthesegaspfad und über die Rezirkulation auch in wenigstens einen Teil des Reaktantenzuführpfads geleitet werden. Ferner wird das bereits aufgewärmte Heizgas mit dem neu zugeführten Heizgas aus dem Reaktantenzuführpfad vermischt, so dass die bereits zugeführte Wärmeenergie in dem Elektrolysesystem erhalten bleibt. Derart kann die Effizienz beim Betrieb des Elektrolysesystems erhöht werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine einem Normalbetrieb vorangehende zweite Aufwärm-Betriebssituation zum Aufwärmen des Elektrolysesystems erfasst werden, wenn das von der Reaktantenseite abgeführte Heizgas wenigstens eine Aufwärmtemperatur aufweist und/oder wenn eine Oberfläche der Elektrode der Reaktantenseite eine elektrische Mindestleitfähigkeit aufweist.

Bevorzugt kann hierzu der elektrische Widerstand des Elektrolyseurstapels gemessen werden. Ferner bevorzugt kann eine zweite Aufwärm-Betriebssituation auf eine erste Aufwärm-Betriebssituation folgen. Die Sonder-Betriebssituation kann die zweite Aufwärm-Betriebssituation aufweisen. Für die zweite Aufwärm-Betriebssituation kann ein Kontrollieren des Elektrolysesystems ein Zuführen von Wasserdampf zu der Reaktantenseite aufweisen. Ferner kann ein Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch erfolgen. Das Gasgemisch kann beispielsweise Wasserdampf, Schutzgas und Wasserstoff aufweisen. Bevorzugt kann das Gasgemisch eine Zusammensetzung mit wenigstens 3% Wasserstoff aufweisen. Die Aufwärmtemperatur kann bevorzugt wenigstens 110°C aufweisen.

Damit wird es möglich, die Kraftstoffseite mit Wasserdampf zu spülen und auf eine gewünschte Temperatur einzustellen. Zugleich kann ein Druckausgleich zwischen der Reaktantenseite und der Luftseite geschaffen werden. Ferner kann sich eine stabile Wasserdampfversorgung einstellen. So kann der Elektrolyseurstapel in der zweiten Aufwärm-Betriebssituation effizient für den aktiven Betrieb vorbereitet werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine dem Normalbetrieb vorangehende Bereithalte-Betriebssituation erfasst werden, wenn die Temperatur des Elektrolyseurstapels wenigstens eine Stapelmindesttemperatur und bevorzugt wenigstens eine Stapelbetriebstemperatur aufweist. Bevorzugt kann die Sonder-Betriebssituation die Bereithalte-Betriebssituation aufweisen. Ferner bevorzugt kann eine Bereithalte-Betriebssituation auf eine zweite Aufwärm-Betriebssituation folgen. Für die Bereithalte-Betriebssituation kann ein Kontrollieren des Elektrolysesystems ein Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch aufweisen. Das Gasgemisch kann dabei Wasserdampf, Schutzgas und Wasserstoff aufweisen. Bevorzugt kann das Gasgemisch eine Zusammensetzung mit wenigstens 3% Wasserstoff aufweisen. Ferner kann eine Durchflussrate der erhitzten Luft und/oder des Heizgases zu einem Minimum kontrolliert werden. Das Minimum kann einer Durchflussrate entsprechen, bei der die Temperatur des Elektrolyseurstapels zwischen der Stapelmindesttemperatur und der Stapelbetriebstemperatur gehalten wird. Bevorzugt kann die Stapelmindesttemperatur wenigstens 770°C aufweisen. Die Stapelbetriebstemperatur kann bevorzugt wenigstens 830°C aufweisen.

Somit wird es möglich, das Elektrolysesystem in einem Bereithalte-Zustand vorhalten zu können, von dem aus es beispielsweise in einen aktiven Betrieb versetzt werden kann. Die Ressourcen, die für das Aufrechterhalten dieses Zustands notwendig sind, können dabei auf das hierzu notwendige Minimum reduziert werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine dem Normalbetrieb vorangehende Anfahr-Betriebssituation zur Inbetriebnahme des Elektrolysesystems erfasst werden, wenn eine Prozessaufforderung zum Erzeugen des bestimmungsgemäßen Synthesegases erfolgt. Bevorzugt kann die Sonder-Betriebssituation eine Anfahr-Betriebssituation aufweisen. Ferner bevorzugt kann eine Anfahr-Betriebssituation auf eine Bereithalte-Betriebssituation folgen. Für die Anfahr-Betriebssituation kann ein Kontrollieren des Elektrolysesystems ein Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch aufweisen. Bevorzugt kann das Gasgemisch Wasserdampf, Wasserstoff und Schutzgas aufweisen. Eine Durchflussrate des Heizgases durch den Reaktantenzuführpfad kann kontrolliert werden. Bevorzugt kann die Durchflussrate in Abhängigkeit einer Soll-Durchflussrate kontrolliert werden. Die Soll-Durchflussrate kann dabei gemäß einer Vorgabefunktion oder als eine Mindestdurchflussrate vorgegeben werden. Die Vorgabefunktion kann beispielsweise eine mit der Zeit ansteigende Rampe aufweisen.

Somit kann das Elektrolysesystem in einer Betriebssituation kontrolliert werden, von der aus auf einen aktiven Betrieb hochgefahren werden soll. Hierbei ermöglicht die Regelung der Durchflussraten, endotherme Betriebsbereiche möglichst schnell zu durchfahren und derart den Energiebedarf für den Betrieb zu reduzieren.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine dem Normalbetrieb vorangehende Niedrigleistung-Betriebssituation zur Inbetriebnahme des Elektrolysesystems erfasst werden, wenn das Heizgas eine Durchflussrate durch den Reaktantenzuführpfad aufweist, welche für einen Ladungsaustausch zwischen den Elektroden der mittels geschlossener elektrischer Verbindung verbundenen Reaktantenseite und Luftseite wenigstens erforderlich ist. Bevorzugt kann die Sonder-Betriebssituation die Niedrigleistung-Betriebssituation aufweisen. Ferner bevorzugt kann die Niedrigleistung-Betriebssituation der Anfahr-Betriebssituation folgen. Für die Niedrigleistung-Betriebssituation kann ein Kontrollieren des Elektrolysesystems ein Zuführen von Kohlenstoffdioxid zu der Reaktantenseite aufweisen. Ferner kann eine Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch kontrolliert werden. Bevorzugt

kann das Gasgemisch das Schutzgas, Wasserdampf, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid aufweisen. Eine Zugabemenge für das Kohlenstoffdioxid kann dabei bevorzugt einer Zugabekurve folgen. Das Gasgemisch kann ferner bevorzugt ein Heizgasabgas aufweisen, welches über den Rezirkulationspfad rezirkuliert wurde. Ferner kann dem Elektrolyseurstapel elektrischer Strom zugeführt werden. Der elektrische Strom kann dabei bevorzugt gemäß einer Leistungskurve zugegeben werden. Die Zugabekurve für die Zugabemenge an Kohlenstoffdioxid kann beispielsweise linear mit einem Verbrauch des Reaktantes und/oder des zugeführten elektrischen Stroms korreliert sein.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter einer „Zugabekurve“ beispielsweise ein vorgegebener Verlauf einer Konzentration verstanden werden. Der Verlauf kann dabei beispielsweise von einer anderen Größe, wie Zeit, Temperatur oder Konzentrationen anderer Stoffe, abhängen.

Die erfindungsgemäße Kontrolle des Elektrolysesystems ermöglicht es, den Elektrolyseurstapel zu schützen und endotherme Betriebsbereiche zu vermeiden. Ferner kann eine Stromrampe mit relativ starkem Anstieg durchlaufen werden, so dass auch ein Reaktant-Nutzungsgrad schnell gesteigert werden kann.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation erfasst werden, wenn der Elektrolyseurstapel wenigstens einen elektrischen Mindeststapelstrom aufweist und bevorzugt das Synthesegas eine Mindestbetriebstemperatur aufweist. Bevorzugt kann dabei eine Normalbetrieb-Betriebssituation auf eine Niedrigleistung-Betriebssituation folgen. Der elektrische Mindeststapelstrom kann beispielsweise wenigstens 63,5 A sein. Ferner bevorzugt kann eine Normalbetrieb-Betriebssituation erfasst werden, wenn alternativ oder zusätzlich eine Prozessaufforderung mit einer Prozessmengenangabe erfolgt. Bevorzugt kann die Prozessaufforderung eine Aufforderung zum Betrieb des Elektrolysesystems unter Volllast oder Teillast (bevorzugt wenigstens 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, oder 50% des Volllastbetriebs) aufweisen.

Für eine mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation kann ein Kontrollieren des Elektrolysesystems ein Zuführen von Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf zu der Reaktantenseite als den Reaktanten aufweisen. Ferner kann eine Zusammensetzung des Reaktantes als ein Gasgemisch kontrolliert werden.

Bevorzugt kann das Gasgemisch Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und bevorzugt über den Rezirkulationspfad rezirkuliertes Synthesegas aufweisen.

Das Kontrollieren in einer Normalbetrieb-Betriebssituation kann ferner ein Kontrollieren der Temperatur des Elektrolyseurstapels mittels katalytischen Heizens aufweisen. Das Kontrollieren der Temperatur kann dabei ein Zuführen von Restgas aus einem Syntheseprozess, bei dem Synthesegas in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, zu einem Katalysator des Elektrolysesystems sowie ein katalytisches Verbrennen des Restgases mittels des Katalysators aufweisen. Wärme eines Katalysator-Abgasstroms aus der katalytischen Verbrennung kann dann mittels zumindest eines Wärmetauschers an die zuzuführende Luft und/oder den zuzuführenden Reaktanten übertragen werden.

Für eine mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation kann ein Kontrollieren des Elektrolysesystems ferner ein Zuführen von Luft, Reaktant und elektrischem Strom zu dem Elektrolyseurstapel aufweisen. Aus der zugeführten Luft, dem Reaktanten und dem elektrischen Strom kann ein Synthesegas, bevorzugt ein Synthesegas, mittels des Elektrolyseurstapels erzeugt werden. Der wenigstens eine elektrische Heizer kann in einer Normalbetrieb-Betriebssituation deaktiviert sein.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter „katalytischem Heizen“ insbesondere ein Wärmeeintrag in das Elektrolysesystem mittels Wärmeerzeugung in einem Katalysator verstanden werden. Ein „Syntheseprozess“ kann insbesondere als ein Prozess zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen aus einem Synthesegas verstanden werden. Bei diesem 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 (im Englischen auch als sog. „Tailgas“ bekannt). Natürlich ist die Erfindung nicht allein auf ein derartiges Gas beschränkt.

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 funktionell gleichwertiges Gas oder Gasgemisch zu einem Restgas sein, das beispielsweise aus einem Syntheseprozess stammt, bei dem Synthesegas in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird.

Ferner kann unter einem „Deaktivieren des elektrischen Heizers“ insbesondere ein Unterbrechen der Leistungsversorgung des elektrischen Heizers verstanden werden.

Somit wird es durch diese Ausgestaltung des Verfahrens möglich, im aktiven Betrieb des Elektrolysesystems das bestimmungsgemäße Synthesegas in dem Elektrolyseurstapel in relevantem Umfang zu erzeugen und dabei den relativ hohen Heizwert des Restgases zur Wärmebereitstellung in der Hochtemperatur-Elektrolyse zu nutzen. Derart kann die Effizienz des Elektrolysesystems erhöht werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine einem Normalbetrieb folgende Rückfahr-Betriebssituation erfasst werden, wenn der Elektrolyseurstapel einen elektrischen Stapelstrom kleiner als ein Mindeststapelstrom aufweist oder eine Prozessaufforderung zum Beenden des Betriebes des Elektrolyseurstapels erfolgt. Der elektrische Mindeststapelstrom kann beispielsweise wenigstens 63,5 A sein. Bevorzugt kann die Sonder-Betriebssituation eine Rückfahr-Betriebssituation aufweisen. Der elektrischen Stapelstrom kleiner als ein Mindeststapelstrom ist in der Regel ein Eingabewert des Bedieners.

Ein Kontrollieren des Elektrolysesystems für eine Rückfahr-Betriebssituation kann dabei als Schritt ein Kontrollieren der Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch aufweisen. Bevorzugt kann das Gasgemisch Schutzgas, Kohlenstoffdioxid, und Wasserdampf aufweisen. Ferner bevorzugt kann das Gasgemisch zusätzlich auch über den Rezirkulationspfad rezirkuliertes Heizgasabgas aufweisen. Bevorzugt können Anteile von Kohlenstoffdioxid und von Wasserdampf in dem Heizgas verringert werden, insbesondere werden die Anteile von Kohlenstoffdioxid schnell auf zumindest annähernd Null und die Anteile von Wasserdampf auf einen Minimalwert (ähnlich jenem vom Hot-Standby) gesetzt. Bevorzugt kann das Verringern des jeweiligen Bestandteils gemäß einer diesem jeweils zugehörigen Abnahmekurve erfolgen. Auch Durchflussraten der Luft und des Heizgases sowie des zu dem Elektrolyseurstapel zugeführten elektrischen Stroms können verringert werden. Der elektrische Strom kann bevorzugt gemäß einer Leistungsverringerungskurve verringert werden, bis kein Strom mehr zugeführt wird. Ferner kann in der Rückfahr-Betriebssituation bevorzugt ein zusätzliches Kontrollieren der Lufttemperatur mittels eines in dem Luftzufuhrpfad angeordneten weiteren elektrischen Heizers zum Erhitzen der Luft erfolgen.

Somit kann in dem Verfahren eine Betriebssituation vorgesehen werden, in der der Elektrolyseurstapel und andere temperatursensible Bauteile hinreichend langsam heruntergekühlt werden. Ferner kann eine Balance zwischen der thermischen Trägheit des Elektrolysesystems und der Einstellung der Massenströme in dem Elektrolysesystem erfolgen.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine einem Normalbetrieb folgende erste Abkühl-Betriebssituation zum Abkühlen des Elektrolysesystems erfasst werden, wenn die elektrische Verbindung für einen Ladungsaustausch zwischen den Elektroden der Reaktantenseite und der Luftseite geöffnet ist. Bevorzugt kann die Sonder-Betriebssituation eine erste Abkühl-Betriebssituation aufweisen. Ferner bevorzugt kann eine erste Abkühl-Betriebssituation auf eine Rückfahr-Betriebssituation folgen.

Ein Kontrollieren des Elektrolysesystems für eine erste Abkühl-Betriebssituation kann als Schritt ein Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch aufweisen. Das Gasgemisch kann ein Schutzgas und Wasserstoff aufweisen. Ferner bevorzugt kann ein zusätzliches Kontrollieren der Lufttemperatur mittels eines im Luftzufuhrpfad angeordneten weiteren elektrischen Heizers erfolgen.

Somit kann insbesondere der Elektrolyseurstapel sicher und mit geringem Risiko einer Oxidation der Elektrodenoberfläche abgekühlt werden, indem das Heizgas eine Komposition von Schutzgas und Wasserstoff aufweist.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine einem Normalbetrieb folgende zweite Abkühl-Betriebssituation zum Abkühlen des Elektrolysesystems erfasst werden, wenn die Temperatur des Elektrolyseurstapels zwischen einer ersten Stapeltemperatur und einer zweiten Stapeltemperatur ist. Bevorzugt kann die Sonder-Betriebssituation eine zweite Abkühl-Betriebssituation aufweisen. Ferner bevorzugt kann eine zweite Abkühl-Betriebssituation auf eine erste Abkühl-Betriebssituation folgen. Die erste Stapeltemperatur kann beispielsweise eine Temperatur von 650°C und die zweite Stapeltemperatur eine Temperatur von 50°C aufweisen.

Ein Kontrollieren des Elektrolysesystems für eine zweite Abkühl-Betriebssituation kann dabei als Schritt ein Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases aufweisen, so dass das Heizgas nur Schutzgas aufweist. Dies wird insbesondere bis zum

Erreichen einer Zieltemperatur durchgeführt, sodass das System sicher in den Cold Standby oder abgeschaltet werden kann.

Somit kann der Elektrolyseurstapel sicher weiter abgekühlt werden und zugleich der Ablauf von chemischen Reaktionen im Reaktantenpfad beendet werden, indem das Heizgas nur Schutzgas zum Verdrängen anderer gasförmiger Substanzen aufweist.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine Sicherheitsabschalt-Betriebssituation erfasst werden, wenn das Elektrolysesystem einen kritischen Zustand einnimmt.

Ein Kontrollieren des Elektrolysesystems für eine Sicherheitsabschalt-Betriebssituation kann als Schritt ein Zuführen von Schutzgas, bevorzugt Stickstoff, durch den Reaktantenzuführpfad aufweisen. Dies dient zum Druckausgleich im Reaktantenpfad, wenn alles abgedichtet ist und das System abkühlt. Bevorzugt kann der Reaktantenzuführpfad hierzu mit einem unter Druck stehenden Schutzgasspeicher verbunden werden. Ferner kann eine Zuführung von Luft an die Luftseite unterbunden und der wenigstens eine elektrische Heizer deaktiviert werden. Hierbei werden bevorzugt auch ein Zufluss und ein Abfluss auf der Reaktantenseite geschlossen. Zudem kann eine Zuführung von elektrischem Strom zu dem Elektrolyseurstapel unterbrochen werden. Bevorzugt kann eine passive Druckregelung des in dem Elektrolyseurstapels auftretenden Drucks durchgeführt werden, um einen durch Abkühlen verursachten Unterdruck in dem Elektrolyseurstapel auszugleichen.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter einem „kritischen Zustand“ insbesondere ein Auftreten von Bauteilversagen, Leckagen oder von Temperaturen, Drücken oder Reaktionsprodukten außerhalb der Betriebsgrenzen des Elektrolysesystems verstanden werden.

Somit wird es möglich, das Elektrolysesystem in einen sicheren Betriebsbereich zu versetzen, wenn in dem Elektrolysesystem Umstände eintreten, die potenziell gefährliche Konsequenzen für die Anlage und/oder Menschen führen können. Hierbei ist insbesondere von Vorteil, dass durch das Schutzgas Reaktionsgase sowohl verdrängt als auch das Elektrolysesystem abgekühlt werden kann. Derart kann die Sicherheit beim Betrieb des Elektrolysesystems weiter erhöht werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann in dem Verfahren eine Überprüfung-Betriebssituation erfasst werden, wenn eine Prozessaufforderung zum

Überprüfen der Funktionsfähigkeit des Elektrolyseurstapels erfolgt. Bevorzugt kann eine Überprüfung-Betriebssituation einer Sonder-Betriebssituation und einer Normalbetrieb-Betriebssituation vorangehen.

Ein Kontrollieren des Elektrolysesystems für eine Überprüfung-Betriebssituation kann als Schritt wenigstens ein Überprüfen von Ist-Betriebsparametern des Elektrolyseurstapels hinsichtlich deren Operationsgrenzen aufweisen. Bevorzugt können die Ist-Betriebsparameter wenigstens eine Ist-Temperatur des Elektrolyseurstapels und/oder einen in dem Elektrolyseurstapel auftretenden Ist-Druck aufweisen.

Weiter ist es günstig, wenn auch kontrolliert und/oder überprüft wird, ob alle Aktuatoren ansteuerbar sind, ob alle Sensoren (richtige) Werte liefern, ob der Lock-Out wieder gelöst wurde. Es kann auch vorteilhaft sein, wenn eine Aktivierung von Heizbändern um die Aktuatoren durchgeführt wird, falls diese eingefroren und nicht bewegbar sind.

Somit ist es möglich, das Elektrolysesystem in regelmäßigen Zeitabschnitten und insbesondere vor Inbetriebnahme hinsichtlich dessen Funktionsfähigkeit und dessen ordnungsgemäßer Verfassung zu überprüfen. Derart kann die Sicherheit beim Betrieb des Elektrolysesystems weiter erhöht werden.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Verwendung des vorgenannten Verfahrens, um strombasiert synthetische Kraftstoffe zu erzeugen.

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.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Kontrollvorrichtung zum Betreiben eines Elektrolysesystems. Das von der Kontrollvorrichtung betreibbare Elektrolysesystem weist dabei wenigstens einen Elektrolyseurstapel mit einer Luftseite und einer Reaktantenseite auf. Ferner weist das Elektrolysesystem einen Luftzufuhrpfad auf, um Luft zu der Luftseite zu führen. In dem Luftzufuhrpfad ist wenigstens ein elektrischer Heizer zum Kontrollieren der Lufttemperatur angeordnet. Auch weist das Elektrolysesystem einen Reaktantenzufuhrpfad auf, um Reaktanten zu der Reaktantenseite zu führen. Auch weist das Elektrolysesystem verschiedene Betriebssituationen auf. Die Kontrollvorrichtung zum Betreiben eines

Elektrolysesystems weist ein Erfassungsmodul zum Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems auf. Das Erfassungsmodul ist dazu eingerichtet, eine Betriebssituation als Sonder-Betriebssituation zu erfassen, wenn die erfasste Betriebssituation von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus dem Reaktanten abweicht. Ferner weist die Kontrollvorrichtung ein Situationskontrollmodul zum Kontrollieren des Elektrolysesystems in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation auf. Das Situationskontrollmodul ist für die erfasste Sonder-Betriebssituation dazu eingerichtet, wenigstens den elektrischen Heizer zu kontrollieren, um eine Temperatur des Elektrolyseurstapels zu kontrollieren, und der Reaktantenseite über den Reaktantenzuführpfad ein Heizgas zuzuführen, welches wenigstens ein Schutzgas aufweist.

Ein weiterer Aspekt der 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 der Luftseite zu führen. Dabei ist in dem Luftzuführpfad wenigstens ein elektrischer Heizer zum Kontrollieren der Lufttemperatur angeordnet. Auch weist das Elektrolysesystem einen Reaktantenzuführpfad auf, um Reaktanten zu der Reaktantenseite zu führen. Das Elektrolysesystem weist verschiedene Betriebssituationen auf, welche wenigstens eine Normalbetrieb-Betriebssituation, welche mit einem Normalbetrieb korrespondiert, und wenigstens eine Sonder-Betriebssituation, welche von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus dem Reaktanten abweicht, aufweisen. Das Elektrolysesystem weist ferner die zuvor beschriebene erfindungsgemäße Kontrollvorrichtung auf.

Mit der zuvor beschriebenen Verwendung, dem Computerprogrammprodukt sowie der zuvor beschriebenen Vorrichtung und dem System können sämtliche Vorteile erreicht werden, welche bereits für das erfindungsgemäße Verfahren erläutert wurden.

Bevorzugt kann das Elektrolysesystem ein Brennstoffzellenelektrolyseursystem sein. So kann es sich um ein Hochtemperatur- Brennstoffzellenelektrolyseursystem, wie ein SOEC- oder CO-SOEC-System, handeln. Bevorzugt kann die Elektrolyse von Wasser bei Temperaturen um 900 Grad Celsius ablaufen.

Durch die Bereitstellung der hohen thermischen Energie kann der Strombedarf für die Durchführung der Elektrolyse gesenkt werden und der Wirkungsgrad erhöht werden.

Das Elektrolysesystem kann wenigstens zwei Elektrolysezellenpackungen mit jeweils zwei Elektrolyseurstapeln aufweisen. Das Elektrolysesystem kann zur Erzeugung von strombasierten synthetischen Kraftstoffen eingerichtet sein.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann der Luftzuführpfad einen primären Luftzuführpfad mit einem oder mehreren Luft-Wärmetauschern aufweisen, um die zuzuführende Luft aufzuwärmen. Ferner kann der Luftzuführpfad einen sekundären Luftzuführpfad aufweisen und der wenigstens eine elektrische Heizer in dem sekundären Luftzuführpfad vorgesehen sein. Der primäre Luftzuführpfad und der sekundäre Luftzuführpfad können dabei über einen Mischabschnitt miteinander fluidtechnisch verbunden sein. Die Lufttemperatur kann durch Mischen von kalter Luft aus dem primären Luftzuführpfad und erhitzter Luft aus dem sekundären Luftzuführpfad an einem Mischabschnitt des Luftzuführpfads kontrolliert werden.

Somit kann die Temperatur des Elektrolyseurstapels schnell, effizient und sicher kontrolliert werden.

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 einzig und allein der Unterscheidung der Komponenten oder Elemente gleicher Art oder gleichen Typs, stellt jedoch in keiner Weise eine Einschränkung hinsichtlich deren Beschaffenheit dar.

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, wie 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.

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 eine entsprechende Kontrollelektronik und Sensorik aufweisen. Es ist möglich, das Absperrorgan in unterschiedlichster Weise auszuführen, beispielsweise als Ventil, Absperrschieber, Absperrhahn oder Absperrklappe.

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 im Einzelnen beschrieben. Es zeigen schematisch:

- Fig. 1 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 2 eine Ausführungsform des Elektrolysesystems gemäß der Erfindung und dessen Betrieb in einer Überprüfung-Betriebssituation gemäß der Erfindung,
- Fig. 3 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer ersten Aufwärm-Betriebssituation gemäß der Erfindung,
- Fig. 4 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer zweiten Aufwärm-Betriebssituation, in einer Bereithalte-Betriebssituation und in einer Anfahr-Betriebssituation jeweils gemäß der Erfindung,
- Fig. 5 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer Niedrigleistung-Betriebssituation gemäß der Erfindung,
- Fig. 6 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer Normalbetrieb-Betriebssituation gemäß der Erfindung,

- Fig. 7 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer Rückfahr-Betriebssituation gemäß der Erfindung,
- Fig. 8 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer ersten Abkühl-Betriebssituation gemäß der Erfindung,
- Fig. 9 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer zweiten Abkühl-Betriebssituation gemäß der Erfindung,
- Fig. 10 das Elektrolysesystem aus Figur 2 bei einem Betrieb in einer Sicherheitsabschalt-Betriebssituation gemäß der Erfindung.

Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren 1000 zum Betreiben eines Elektrolysesystems. Bei dem Verfahren 1000 kann es sich beispielsweise um eine Implementierung einer Betriebsstrategie handeln.

Die Figuren 2 bis 10 zeigen beispielhaft ein Elektrolysesystem 10, welches mit dem Verfahren 1000 betrieben werden kann. Ein mit dem Verfahren 1000 betreibbares und beispielhaft in Figuren 2 bis 10 gezeigtes Elektrolysesystem kann ein CO-SOEC-System sein, wobei die Erfindung darauf nicht beschränkt ist.

Das in den Figuren beispielhaft gezeigte Elektrolysesystem 10 weist wenigstens einen Elektrolyseurstapel 100 auf. Der Elektrolyseurstapel 100 weist eine Luftseite 120 auf, an der eine Elektrode über einen Luftzuführabschnitt 122 mit Luft versorgt werden kann. Eine solche Luftelektrode 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 Reaktanten versorgt werden kann. Eine solche Reaktantenelektrode ist in den Figuren der Übersicht wegen nicht dargestellt. Je nach Betriebsart als Elektrolysezelle oder Brennstoffzelle können die Elektroden einmal als Anode und im umgekehrten Fall als Kathode fungieren. Im Falle des Betriebs als Elektrolysezelle kann beispielsweise die Luftseite 120 die Luftelektrode als Anode und die Reaktantenseite 130 die Reaktantenelektrode als Kathode aufweisen.

Bevorzugt kann das Elektrolysesystem 10 auch mehr als einen Elektrolyseurstapel 100, bevorzugt zwei Elektrolysemodule mit jeweils zwei Elektrolyseurstapel aufweisen.

Der Elektrolyseurstapel 100 kann mit einer Stromversorgungsquelle 510 durch eine elektrische Verbindung 511 über einen Elektrodenanschluss 512 verbunden sein. Die

elektrische Verbindung 511 kann 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.

Die Luft kann in das Elektrolysesystem 10 von einem Lufteinlassabschnitt 2201 beispielsweise aus der Umwelt eingeführt werden. Die Luft wird über einen Luftzufuhrpfad 2200 zu der Luftseite 120 geführt. Der Luftzufuhrpfad 2200 kann verschiedene Abschnitte aufweisen. Beispielsweise können in einem Luftzufuhr-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 Luftzufuhrpfads 2200 gefördert werden. Die Luft kann an einer Verzweigungsstelle 207 wahlweise in einen primären Luftzufuhrpfad 2210 und/oder in einen sekundären Luftzufuhrpfad 2220 geleitet werden. In dem primären Luftzufuhrpfad 2210 können zwei Luft-Wärmetauscher 421, 422 angeordnet sein, welche wärmeübertragend mit diesem Leitungsabschnitt gekoppelt sein können. Stromaufwärts der Luft-Wärmetauscher 421, 422 kann ein Absperrorgan 215 vorgesehen sein, um beispielsweise die von der Verzweigungsstelle 207 abzuleitende Menge an Luft zu regulieren. In dem Luftzufuhrpfad 2200 ist wenigstens ein elektrischer Heizer vorgesehen. In den Figuren 2 bis 10 sind in dem sekundären Luftzufuhrpfad 2220 zwei elektrische Heizer 221, 222 zum Aufheizen der Luft in paralleler Anordnung vorgesehen. Die elektrischen Heizer 221, 222 können identische oder unterschiedliche Heizkapazitäten aufweisen. Jedem der Heizer 221, 222 kann nach einer Verzweigungsstelle 223 stromabwärts der Verzweigungsstelle 207 ein Absperrorgan 224, 225 vorgeschaltet sein, um beispielsweise die Menge an Luft, die dem jeweiligen Heizer 221, 222 zugeführt werden soll, zu regulieren. Die Volumenströme können an einer Verbindungsstelle 226 wieder zusammengeführt werden. Luft aus dem primären Luftzufuhrpfad 2210 und dem sekundären Luftzufuhrpfad 2220 können an einem Mischabschnitt 213 zusammengeführt werden. Derart kann beispielsweise 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.

Die in dem Elektrolyseurstapel 100 verbrauchte Luft kann als Luftabgas über einen Luftabgasabschnitt 125 von der Luftseite 120 entlang eines Luftabgasabfuhrpfads 2500 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 Katalysator 412 zur katalytischen Verbrennung des Luftabgas angeordnet ist.

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 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 oder auch ungeheizte Luft aus dem Luftzufuhrpfad 2200 zugeführt werden.

So kann das Luftabgas bevorzugt mit warmer Luft aus dem Luftzufuhrpfad 2200 angereichert werden. Hierzu kann der Luftzufuhrpfad 2200 stromaufwärts der Verzweigungsstelle 207 eine Verzweigungsstelle 206 aufweisen, um von dort Luft entlang eines Zusatz-Lufterhitzerwärmepfads 2530 bis zu einer in dem Luftabgasabfuhrpfad 2500 angeordneten Verzweigungsstelle 233 zu führen. In dem Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad 2530 kann 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 werden. Auch kann zwischen dem weiteren elektrischen Heizer 231 und der Verzweigungsstelle 206 ein regulierbares Absperrorgan 235 angeordnet sein. Das Luftabgas kann ferner mit einem Restgas angereichert werden. Hierzu kann der Luftabgasabfuhrpfad 2500 eine Verbindungsstelle 251 aufweisen, zu der von einem Restgasanschlussabschnitt 401 das Restgas entlang einer 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.

Der Luftabgasabschnitt 125 kann ferner stromabwärts des Katalysators 412 einen Reaktant-Wärmetauscher 420 aufweisen, um zuzuführenden Reaktant mit dem Abgas

aus dem Katalysator 412 zu heizen. Über Luftabgasabführ-Leitungsabschnitte 2540 und 2560 kann das Luftabgas zu einem weiteren Katalysator 411 geführt werden.

Stromabwärts des weiteren Katalysators 411 können die beiden Luft-Wärmetauscher 421, 422 vorgesehen sein. Das Abgas aus dem Katalysator 411 kann so zum Heizen der Luft in dem primären Luftzuführpfad 2210 genutzt werden. Bevorzugt kann das Luftabgas stromaufwärts des weiteren Katalysators 411 mit Luft aus dem Luftzuführpfad 2200 versetzt werden. Hierzu kann das Elektrolysesystem 10 einen Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad 2550 aufweisen, in dem ein weiterer elektrischer Heizer 241 vorgesehen ist. Hierzu kann eine Verzweigungsstelle 205 stromaufwärts der Verzweigungsstellen 206, 207 vorgesehen sein. Zwischen der Verzweigungsstelle 206 und dem weiteren Heizer 241 kann ein Absperrorgan 245 vorgesehen sein.

In einem sich daran anschließenden Luftabgasabführ-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 Luftabgasabführ-Leitungsabschnitt 2580 geführt und schließlich über einen Luftabgasauslassabschnitt 2501 an die Umgebung abgegeben werden.

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 zugeführt werden. Auch kann das Erdgas insbesondere in einem Teillastbetrieb zugeführt werden. Auch kann dem Luftabgas Restgas über Restgasverzweigungsabschnitte 4111, 4112 stromaufwärts der Katalysatoren 411, 412 zugesetzt werden.

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

Zur Erzeugung von Synthesegas 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. Über eine CO₂-Zuleitung 3110 kann das CO₂ dann zu dem Reaktantenzuführabschnitt 131 des Elektrolyseurstapels 100 geführt werden. Das Elektrolysesystem 10 weist hierzu einen Reaktantenzuführpfad 3100 auf. 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.

In dem Elektrolyseurstapel 100 kann in der Reaktantenseite 130 aus dem Reaktanten ein Synthesegas erzeugt werden. Das Synthesegas kann bevorzugt ein Synthesegas sein. Das Synthesegas kann von einem Synthesegasabschnitt 132 der Reaktantenseite 130 über einen Synthesegasabführpfad 3200 zu einem Synthesegasauslassabschnitt 3201 geführt werden, welcher bevorzugt mit einer Syntheseanlage fluidkommunizierend verbunden sein kann. 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 Reaktanten 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.

Das Elektrolysesystem 10 weist verschiedene Betriebssituationen auf. Figur 1 zeigt beispielhaft einige solcher Betriebssituationen und deren Relationen zueinander.

In dem Verfahren 1000 wird eine Betriebssituation erfasst und das Elektrolysesystem 10 in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation kontrolliert.

Eine Betriebssituation wird als Sonder-Betriebssituation erfasst, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht vom Normalbetrieb des Elektrolysesystems 10. Für den Fall, dass eine derartige Sonder-Betriebssituation erfasst wird, wird wenigstens einer der elektrischen Heizer 221, 222 zur Kontrolle der Lufttemperatur von Luft in dem Luftzuführpfad 2200 kontrolliert, um eine Temperatur des Elektrolyseurstapels 100 zu kontrollieren. Ferner wird ein Heizgas, das wenigstens ein Schutzgas aufweist, über den Reaktantenzuführpfad 3100 zu der Reaktantenseite 130 geführt.

Die Figuren 2 bis 10 zeigen beispielhaft, wie das Elektrolysesystem 10 für verschiedene Betriebssituationen kontrolliert werden kann. In derartigen Situationen jeweils inaktive Bauteile des Elektrolysesystems 10 sind ausgegraut dargestellt.

Figur 3 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung für Sonder-Betriebssituationen exemplarisch anhand einer ersten Aufwärm-Betriebssituation BS222, die in dem Verfahren 1000 erfasst wird, sobald beispielsweise von dem Bediener des Elektrolysesystems 10 eine Prozessaufforderung zum Aufwärmen des Elektrolyseurstapels 100 auf eine Aufwärmtemperatur erfolgt. Der elektrische Heizer 221 wird eingeschaltet und Luft aus dem Luftzuführpfad 2200 in dem sekundären Luftzuführpfad 2220 erhitzt. Hierbei kann eine vorgebbare Aufheizkurve durchlaufen werden, um maximal zulässige Temperaturgradienten nicht zu überschreiten. Auch kann an dem Mischabschnitt 213 ein Mischen der erhitzten mit Luft aus dem primären Luftzuführpfad 2210 erfolgen, um die Lufttemperatur noch genauer einzustellen. Der Elektrolyseurstapel 100 wird derart von der Luft aufgeheizt. Zugleich wird der Reaktantenseite 130 ein Heizgas zum Spülen der Reaktantenseite 130 zugeführt, welches über den Rezirkulationspfad 3700 zur Beschleunigung des Aufwärmens der Reaktantenseite 130 rezirkuliert wird. Innerhalb eines ersten Zeitabschnitts besteht das Heizgas allein aus Schutzgas (z.B. Stickstoff). In Figur 3 wird das Schutzgas aus dem zweiten Schutzgaszuführabschnitt 3103 zugeführt. Daran anschließend kann in

einem zweiten Zeitabschnitt die Zusammensetzung des Heizgases dahin geändert werden, dass es eine Mischung aus Schutzgas und Wasserstoff aufweist, um die Elektrodenoberfläche auf der Reaktantenseite 130 zu reduzieren. Beispielsweise kann hierzu aus dem dritten Schutzgaszuführabschnitt 3104 über Verbindungsstelle 333 „Arcal F5“ in den Reaktantenzuführpfad 3100 eingeleitet werden. Das Heizgas kann so einerseits die Reaktantenseite 130 und Reaktantenleitungen von Fremdsubstanzen reinigen und andererseits Wärme aus dem Elektrolyseurstapel 100 und den entlang des Luftabgasabfuhrpfades 2500 angeordneten Wärmetauschern 420 bis 424 aufnehmen. Derart kann auch der den Reaktant betreffende Teil des Elektrolysesystems 10 aufgewärmt werden. Verzweigungsleitung 3115, welche eine Verbindungsstelle 353 zu dem Dampfeinleitungsabschnitt 3105 aufweist, kann ein Aufheizen des den Dampf betreffenden Teils des Elektrolysesystems 10 ermöglicht werden.

Figur 4 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung für Sonder-Betriebssituationen exemplarisch anhand einer zweiten Aufwärm-Betriebssituation BS223, die in dem Verfahren 1000 erfasst wird, sobald beispielsweise das von der Reaktantenseite 130 abgeführte Heizgas wenigstens die Aufwärmtemperatur aufweist und die Oberfläche der Elektrode der Reaktantenseite 130 eine elektrische Mindestleitfähigkeit aufweist. Luft wird weiterhin mittels wenigstens des elektrischen Heizers 221 dem Elektrolyseurstapel 100 zugeführt. Eine Versorgung mit Wasserdampf wird eingeleitet, so dass neben dem zuvor beschriebenen Arcal F5 auch Wasserdampf zu der Reaktantenseite 130 geführt wird.

Figur 4 zeigt zudem auch eine erfindungsgemäße Ausgestaltung für eine Bereithalte-Betriebssituation BS330, die eintritt, wenn die Temperatur des Elektrolyseurstapels 100 zumindest eine Stapelmindesttemperatur und Stapelbetriebstemperatur aufweist. In dieser Betriebssituation wird üblicherweise auf eine Aufforderung des Bedieners zur Produktion des Synthesegases, also auf die Aufforderung zum Übergang zum Normalbetrieb, gewartet. Neben den elektrischen Heizer 221 wird der Reaktantenseite gerade genug Heizgas in der vorgenannten Zusammensetzung zugeführt, dass die Temperatur des Elektrolyseurstapels 100 gehalten werden kann.

Figur 4 zeigt ferner auch eine erfindungsgemäße Ausgestaltung für eine Anfahr-Betriebssituation BS341 zur Inbetriebnahme des Elektrolysesystems 10. Diese Betriebssituation tritt ein, wenn die vorgenannte Prozessaufforderung zum Erzeugen

des bestimmungsgemäßen Synthesegases mit einer bestimmten Menge erfolgt. Die Durchflussmenge des Heizgases wird zunehmend erhöht, so dass ein elektrischer Betrieb mit dem Elektrolyseurstapel 100 möglich wird. Hierzu kann eine Vorgabefunktion für die Flussraten vorgegeben werden. Die Luftseite 120 wird weiterhin mit von durch den elektrischen Heizer 221 erhitzte Luft versorgt.

Figur 5 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des Verfahrens 1000 für eine Niedrigleistung-Betriebssituation BS342. Diese Betriebssituation tritt beispielsweise ein, wenn das Heizgas eine Mindest-Durchflussrate durch den Reaktantenzuführpfad 3100 aufweist, die für einen Ladungsaustausch zwischen den Elektroden der mittels geschlossener elektrischer Verbindung verbundenen Reaktantenseite 130 und Luftseite 120 erforderlich ist. Mit Eintritt der vorgenannten Bedingung wird begonnen neben Schutzgas und Wasserdampf auch CO₂ der Reaktantenseite 130 zuzuführen. Hierzu kann bevorzugt eine Zugabekurve verwendet werden, um die zuzuführende Menge an CO₂ einzustellen. Zugleich kann die Menge an Schutzgas in dem Heizgas reduziert werden. Wird das Heizgas rezirkuliert, ergibt sich das Heizgas als ein Gasgemisch mit einer Zusammensetzung mit Schutzgas, CO₂, Wasserdampf, Wasserstoff und rezirkuliertem Heizgasabgas. Ferner kann dem Elektrolyseurstapel 100 elektrischen Strom zugeführt werden. Hierzu kann eine Leistungskurve zur Strommengenregelung durchfahren werden. Das während dieses Betriebs in dem Elektrolyseurstapel 100 erzeugte Synthesegas als Synthesegas kann an eine Syntheseanlage zur Weiterverarbeitung abgegeben werden. Da noch kein oder nur unzureichende Mengen an Restgas zu diesem Zeitpunkt vorliegen können, findet in der Niedrigleistung-Betriebssituation BS342 noch kein katalytisches Heizen mit den Katalysatoren 411, 412 statt. Die Luftseite 120 wird daher weiterhin mit elektrisch geheizter Luft versorgt.

Figur 6 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des Verfahrens 1000 für eine Normalbetrieb-Betriebssituation BS350. Hierbei handelt es sich um keine Sonder-Betriebssituation, da die Normalbetrieb-Betriebssituation BS350 dem Normalbetrieb entspricht. Die Normalbetrieb-Betriebssituation BS350 wird erfasst, sobald der Elektrolyseurstapel 100 einen elektrischen Mindeststapelstrom aufweist und das Synthesegas eine Mindestbetriebstemperatur aufweist. In der Normalbetrieb-Betriebssituation BS350 wird der Reaktantenseite 130 kein Schutzgas mehr zugeführt und es wird auch keine elektrisch geheizte Luft an die Luftseite 120 geführt. Vielmehr

wird Restgas aus dem Syntheseprozess zu den Katalysatoren 411, 412 geführt, um ein katalytisches Heizen zu ermöglichen. Hierzu kann das Luftabgas mit dem Restgas versetzt werden. Entsprechend kann der sekundäre Luftzufuhrpfad 2200 zur Förderung von kalter Luft zu dem Mischabschnitt 213 verwendet werden. Dabei kann jeweils die Wärme eines Katalysator-Abgasstroms aus den Katalysatoren 411, 412 mittels der Wärmetauscher 420, 421, 422 an die zuzuführende Luft und/oder den zuzuführenden Reaktant übertragen werden. Luft, Reaktant und elektrischer Strom werden zu dem Elektrolyseurstapel 100 geführt und damit das bestimmungsgemäße Synthesegas erzeugt. Der Reaktant weist dabei Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf sowie rezirkuliertes Synthesegas auf. Der Betrieb kann unter Volllast oder Teillast erfolgen.

Figur 7 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des Verfahrens 1000 für eine Rückfahr-Betriebssituation BS360. Die Rückfahr-Betriebssituation BS360 ist eine Sonder-Betriebssituation und wird erfasst, wenn beispielsweise eine Prozessaufforderung zum Beenden des Betriebes des Elektrolyseurstapels 100 erfolgt. Dem Reaktant wird nun wieder zunehmend Arcal F5 als Schutzgas zugeführt, um dieses als Heizgas in dem Elektrolysesystem 10 auch zum Kühlen des Elektrolyseurstapels 100 einzusetzen. Zugleich werden die Anteile von Kohlenstoffdioxid und von Wasserdampf in dem Heizgas gemäß entsprechender Abnahmekurven bis auf „Null“ verringert. Ferner werden die Durchflussraten der Luft und des Heizgases sowie die zugeführte Menge an elektrischem Strom reduziert. Die Stromreduktion erfolgt dabei so lange, bis kein Strom mehr zugeführt wird, die Stromstärke also „Null“ ist. Neben dem elektrischen Heizer 221 wird in Figur 7 der weitere elektrische Heizer 241 dazu eingesetzt, die Temperatur des Elektrolyseurstapels 100 zu kontrollieren. Dabei werden bevorzugt bauteilabhängige maximale Temperaturgradienten nicht überschritten. Der dritte elektrische Heizer 241 kann beispielsweise in einem Aufwärm- oder Abkühlprozess des Elektrolysesystems 10 verwendet werden, um den Katalysator 411 aufzuheizen.

Figur 8 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des Verfahrens 1000 für eine erste Abkühl-Betriebssituation BS471 zum Abkühlen des Elektrolysesystems 10. Diese Sonder-Betriebssituation wird erfasst, wenn beispielsweise nach der Prozessaufforderung zum Beenden die elektrische Verbindung 511 unterbrochen worden ist. Das Heizgas wird für diese Betriebssituation derart in seiner

Zusammensetzung angepasst, dass es allein Arcal F5 aufweist. Die Temperatur des Elektrolyseurstapels 100 wird mittels des elektrischen Heizers 221 und des Weiteren elektrischen Heizers 241 kontrolliert.

Figur 9 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des Verfahrens 1000 für eine zweite Abkühl-Betriebssituation BS472. Diese Sonder-Betriebssituation wird erfasst, wenn beispielsweise die Temperatur des Elektrolyseurstapels 100 zwischen einer ersten und einer zweiten Stapeltemperatur liegt. In dieser Betriebssituation wird der Reaktantenseite 130 allein ein Schutzgas, wie Stickstoff, zugeführt. Zugleich wird die Erwärmung von Luft mit den elektrischen Heizern 221 und 241 zunehmend reduziert. Mit Erreichen von zulässigen Temperaturen des Elektrolyseurstapels 100 kann die Heizgasversorgung und Luftversorgung unterbrochen werden.

Figur 1, Figur 2 und Figur 10 zeigen weitere spezielle Betriebssituationen, die bevorzugt nicht als Sonder-Betriebssituation anzusehen sind.

Beispielsweise zeigt Figur 1 eine Kalt-Standby-Betriebssituation BS80, in der sich das Elektrolysesystem 10 in einem Ruhezustand befindet. In dem Ruhezustand kann das Elektrolysesystem 10 beispielsweise in einem Schlummermodus oder abgeschaltet sein, so dass bspw. keine Betriebsstoffe durch das Elektrolysesystem 10 gefördert werden.

Figur 2 zeigt eine Überprüfung-Betriebssituation BS10, welche auftritt, wenn beispielsweise eine Prozessaufforderung zum Überprüfen der Funktionsfähigkeit des Elektrolyseurstapels 100 und der Komponenten des Elektrolysesystems 10 (wie Klappen, Sensoren, etc) erfolgt. In dieser Betriebssituation werden daraufhin Ist-Betriebsparametern des Elektrolyseurstapels 100, wie Ist-Temperaturen oder auftretende Ist-Drücke, erfasst, mit abgespeicherten Operationsgrenzen verglichen und entsprechend ausgewertet. Diese Überprüfung kann bevorzugt in regelmäßigen Zeitabständen erfolgen.

Figur 10 zeigt eine Sicherheitsabschalt-Betriebssituation BS500, die auftritt, wenn das Elektrolysesystem 10 einen kritischen Zustand einnimmt. In dieser Betriebssituation wird unter Druck stehendes Schutzgas, bevorzugt Stickstoff, durch den Reaktantenzuführpfad 3100 aus dem ersten Schutzgaszuführabschnitt 3102 geleitet. Ferner werden eine Luftzuführung und Stromzuführung unterbunden und die elektrischen Heizer 221, 222, 241 deaktiviert. Eine aktive Druckregelung kann

durchgeführt werden, um zu verhindern, dass durch das plötzliche Abkühlen und Unterbrechen des Betriebes unzulässige Druckunterschiede in dem Elektrolyseurstapel 100 auftreten.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Kontrollvorrichtung 20 zum Betreiben eines Elektrolysesystems. Diese ist exemplarisch in den Figuren 2 bis 10 dargestellt. Die Kontrollvorrichtung 20 ist insbesondere zur Ausführung des zuvor beschriebenen Verfahrens 1000 ausgebildet. Die Kontrollvorrichtung 20 kann signaltechnisch mit den Komponenten des Elektrolysesystems 10 verbunden sein.

Ebenfalls dargestellt in den Figuren 2 bis 10 ist ein Ausführungsbeispiel für das erfindungsgemäße Elektrolysesystem 10.

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
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
223	Verzweigungsstelle
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
420 Reaktant-Wärmetauscher
421 Luft-Wärmetauscher
422 Luft-Wärmetauscher
423 Dampf-Wärmetauscher
424 CO₂-Wärmetauscher
510 Stromversorgungsquelle
511 elektrischer Verbindung
512 Elektrodenanschluss
514 Relay
801 Kühlmittelzuführabschnitt
802 Kühlmittelabführabschnitt
1000 Verfahren
2200 Luftzuführpfad
2201 Lufteinlassabschnitt
2202 Luftzuführ-Leitungsabschnitt
2210 primärer Luftzuführungspfad
2212 Luftzuleitungsabschnitt
2220 sekundärer Luftzuführungspfad
2500 Luftabgasabführpfad
2501 Luftabgasauslassabschnitt
2510 Luftabgasabführ-Leitungsabschnitt
2520 Luftabgasabführ-Leitungsabschnitt
2530 Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad

2540 Luftabgasabführ-Leitungsabschnitt
2550 Zusatz-Lufterhitzerwärmepfad
2560 Luftabgasabführ-Leitungsabschnitt
2570 Luftabgasabführ-Leitungsabschnitt
2580 Luftabgasabführ-Leitungsabschnitt
3100 Reaktantenzuführpfad
3101 CO₂-Zuführabschnitt
3102 erster Schutzgaszuführabschnitt
3103 zweiter Schutzgaszuführabschnitt
3104 dritter Schutzgaszuführabschnitt
3105 Dampfeinleitungsabschnitt
3110 CO₂-Zuleitung
3112 erste Schutzgaszuleitung
3113 zweite Schutzgaszuleitung
3114 dritte Schutzgaszuleitung
3115 Verzweigungsleitung
3151 Dampfzuleitung
3152 Dampfzuleitung
3200 Synthesegasabführpfad
3201 Synthesegasauslassabschnitt
3700 Rezirkulationspfad
4110 Restgaszuleitung
4111 Restgasleitungsverzweigungsabschnitt
4112 Restgasleitungsverzweigungsabschnitt
4210 Erdgaszuleitung
BS10 Überprüfung-Betriebssituation
BS80 Kalt-Standby-Betriebssituation
BS222 erste Aufwärm-Betriebssituation
BS223 zweite Aufwärm-Betriebssituation
BS330 Bereithalte-Betriebssituation
BS341 Anfahr-Betriebssituation
BS342 Niedrigleistung-Betriebssituation
BS350 Normalbetrieb-Betriebssituation
BS360 Rückfahr-Betriebssituation

BS471	erste Abkühl-Betriebssituation
BS472	zweite Abkühl-Betriebssituation
BS500	Sicherheitsabschalt-Betriebssituation

Patentansprüche

1. Verfahren (1000) zum Betreiben eines Elektrolysesystems (10), welches wenigstens einen Elektrolyseurstapel (100) mit einer Luftseite (120) und einer Reaktantenseite (130) sowie verschiedene Betriebssituationen aufweist, aufweisend die Schritte:

- Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10),
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation,

gekennzeichnet durch die Schritte:

- Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10) als Sonder-Betriebssituation, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems (10) zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus einem Reaktant, welcher der Reaktantenseite (130) über einen Reaktantenzuführpfad (3100) des Elektrolysesystems (10) zuführbar ist, und
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die erfasste Sonder-Betriebssituation, aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren wenigstens eines elektrischen Heizers (221, 222) zur Kontrolle der Lufttemperatur von Luft, welche der Luftseite (120) über einen Luftzuführpfad (2200) des Elektrolysesystems (10) zuführbar ist, um eine Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) zu kontrollieren; und
 - o Zuführen eines Heizgases zu der Reaktantenseite (130) über den Reaktantenzuführpfad (3100), welches wenigstens ein Schutzgas aufweist.

2. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 1, **gekennzeichnet durch**

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb vorangehenden ersten Aufwärm-Betriebssituation (BS222), wenn eine Prozessaufforderung zum Aufwärmen des Elektrolyseurstapels (100) auf eine Aufwärmtemperatur erfolgt;

- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die erste Aufwärm-Betriebssituation (BS222), aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases, so dass das Heizgas in einem ersten Zeitabschnitt nur das Schutzgas, bevorzugt Stickstoff, aufweist und in einem zweiten Zeitabschnitt ein Gasgemisch aus Wasserstoff und dem Schutzgas aufweist, wobei das Gasgemisch bevorzugt eine Zusammensetzung von bis zu 95% Stickstoff als das Schutzgas und von bis zu 5% Wasserstoff aufweist, um eine Oberfläche der Elektrode der Reaktantenseite (130) bevorzugt innerhalb des zweiten Zeitabschnitts wenigstens teilweise zu reduzieren; und/oder
 - Rezirkulieren des Heizgases in einem Rezirkulationspfad (3700) des Elektrolysesystems (10), welcher sich zwischen einem Synthesegasabschnitt (132) der Reaktantenseite (130) zum Abführen des Synthesegases und einem Reaktantenzuführabschnitt (131) der Reaktantenseite (130) zum Zuführen des Reaktantes erstreckt.
- 3. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, **gekennzeichnet durch****
- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb vorangehenden zweiten Aufwärm-Betriebssituation (BS223) zum Aufwärmen des Elektrolysesystems (10), welche bevorzugt der ersten Aufwärm-Betriebssituation (BS222) folgt, wenn das von der Reaktantenseite (130) abgeführte Heizgas wenigstens eine Aufwärmtemperatur aufweist, und/oder eine Oberfläche der Elektrode der Reaktantenseite (130) eine elektrische Mindestleitfähigkeit aufweist;
 - Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die zweite Aufwärm-Betriebssituation (BS223), aufweisend die Schritte:
 - o Zuführen von Wasserdampf zu der Reaktantenseite (130); und
 - o Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch, welches Wasserdampf, Schutzgas und Wasserstoff

aufweist, bevorzugt ein Gasgemisch mit einer Zusammensetzung mit wenigstens 3% Wasserstoff.

4. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb vorangehenden Bereithalte-Betriebssituation (BS330), welche bevorzugt der zweiten Aufwärm-Betriebssituation (BS223) folgt, wenn die Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) wenigstens eine Stapelmindesttemperatur und bevorzugt wenigstens eine Stapelbetriebstemperatur aufweist;
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Bereithalte-Betriebssituation (BS330), aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch, welches Wasserdampf, Schutzgas und Wasserstoff aufweist, bevorzugt in einer Zusammensetzung mit wenigstens 3% Wasserstoff; und
 - o Kontrollieren einer Durchflussrate der erhitzten Luft und/oder des Heizgases zu einem Minimum, an dem die Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) zwischen der Stapelmindesttemperatur und der Stapelbetriebstemperatur gehalten wird.

5. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb vorangehenden Anfahr-Betriebssituation (BS341) zur Inbetriebnahme des Elektrolysesystems (10), welche bevorzugt der Bereithalte-Betriebssituation (BS330) folgt, wenn eine Prozessaufforderung zum Erzeugen des bestimmungsgemäßen Synthesegases erfolgt;
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Anfahr-Betriebssituation (BS341), aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch, welches Wasserdampf, Wasserstoff und Schutzgas aufweist; und

- Kontrollieren einer Durchflussrate des Heizgases durch den Reaktantenzuführpfad (3100), wobei bevorzugt die Durchflussrate in Abhängigkeit einer Soll-Durchflussrate kontrolliert ist, welche gemäß einer Vorgabefunktion oder als eine Mindestdurchflussrate vorgegeben ist.
- 6. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch**
- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb vorangehenden Niedrigleistung-Betriebssituation (BS342) zur Inbetriebnahme des Elektrolysesystems (10), welche bevorzugt der Anfahr-Betriebssituation (BS341) folgt, wenn das Heizgas eine Durchflussrate durch den Reaktantenzuführpfad (3100) aufweist, welche für einen Ladungsaustausch zwischen den Elektroden der mittels geschlossener elektrischer Verbindung verbundenen Reaktantenseite (130) und Luftseite (120) wenigstens erforderlich ist;
 - Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Niedrigleistung-Betriebssituation (BS341), aufweisend die Schritte:
 - Zuführen von Kohlenstoffdioxid zu der Reaktantenseite (130);
 - Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch, welches Schutzgas, Kohlenstoffdioxid in bevorzugt einer gemäß einer Zugabekurve folgenden Menge, Wasserdampf, Wasserstoff und bevorzugt über einen Rezirkulationspfad (3700) rezirkuliertes Heizgasabgas aufweist; und
 - Zuführen elektrischen Stroms zu dem Elektrolyseurstapel (100) bevorzugt gemäß einer Leistungskurve.
- 7. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch**
- Erfassen einer mit einem Normalbetrieb korrespondierender Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350), welche bevorzugt der Niedrigleistung-Betriebssituation (BS341) folgt, wenn der Elektrolyseurstapel (100) wenigstens einen elektrischen

Mindeststapelstrom aufweist und bevorzugt das Synthesegas eine Mindestbetriebstemperatur aufweist; und/oder

- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350), aufweisend die Schritte:
 - Zuführen von Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf als den Reaktant zu der Reaktantenseite (130);
 - Kontrollieren einer Zusammensetzung des Reaktantes als ein Gasgemisch, welches Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und bevorzugt über einen Rezirkulationspfad (3700) rezirkuliertes Synthesegas aufweist;
 - Kontrollieren der Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) im Normalbetrieb mittels katalytischen Heizens, umfassend:
 - Zuführen von Restgas aus einem Syntheseprozess, bei dem Synthesegas in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, zu einem Katalysator (411, 412) des Elektrolysesystems (10);
 - katalytisches Verbrennen des Restgases mittels des Katalysators (411, 412);
 - Übertragen von Wärme eines Katalysator-Abgasstroms der katalytischen Verbrennung mittels zumindest eines Wärmetauschers (420, 421, 422) an die zuzuführende Luft und/oder den zuzuführenden Reaktant;
 - Zuführen der Luft, des Reaktantes und von elektrischem Strom zu dem Elektrolyseurstapel (100);
 - Erzeugen des Synthesegases, bevorzugt Synthesegases, mittels des Elektrolyseurstapels (100) aus der zugeführten Luft, dem Reaktant und dem elektrischen Strom, und
 - bevorzugt Deaktivieren des elektrischen Heizers (221, 222).

8. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb folgenden Rückfahr-Betriebssituation (BS360), wenn der Elektrolyseurstapel (100) einen elektrischen Stapelstrom kleiner als ein Mindeststapelstrom aufweist oder eine Prozessaufforderung zum Beenden des Betriebes des Elektrolyseurstapels (100) erfolgt;
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Rückfahr-Betriebssituation (BS360), aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch, welches Schutzgas, Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und bevorzugt über einen Rezirkulationspfad (3700) rezirkuliertes Heizgasabgas, aufweist;
 - o bevorzugt Verringern der Anteile von Kohlenstoffdioxid und von Wasserdampf in dem Heizgas bevorzugt gemäß Abnahmekurven;
 - o Verringern von Durchflussraten der Luft und des Heizgases;
 - o Verringern des zu dem Elektrolyseurstapel (100) zugeführten elektrischen Stroms bevorzugt gemäß einer Leistungsverringerungskurve bis kein Strom mehr zugeführt wird;
 - o bevorzugt zusätzliches Kontrollieren der Lufttemperatur mittels eines in dem Luftzuführpfad (2200) angeordneten weiteren elektrischen Heizers (231) zum Erhitzen der Luft.

9. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb folgenden ersten Abkühl-Betriebssituation (BS471) zum Abkühlen des Elektrolysesystems (10), welche bevorzugt der Rückfahr-Betriebssituation (BS360) folgt, wenn eine elektrische Verbindung (511) für einen Ladungsaustausch zwischen den Elektroden der Reaktantenseite (130) und der Luftseite (120) geöffnet ist; und
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die erste Abkühl-Betriebssituation (BS471), aufweisend die Schritte:

- Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasmisch, welches Schutzgas und Wasserstoff aufweist;
 - bevorzugt zusätzliches Kontrollieren der Lufttemperatur mittels eines im Luftzufuhrpfad (2200) angeordneten weiteren elektrischen Heizers (231).
- 10. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch**
- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb folgenden zweiten Abkühl-Betriebssituation (BS472) zum Abkühlen des Elektrolysesystems (10), welche bevorzugt der ersten Abkühl-Betriebssituation (BS471) folgt, wenn die Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) zwischen einer ersten Stapeltemperatur und einer zweiten Stapeltemperatur ist; und
 - Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die zweite Abkühl-Betriebssituation (BS472), aufweisend:
 - Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases derart, dass es nur Schutzgas aufweist.
- 11. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch**
- Erfassen einer Sicherheitsabschalt-Betriebssituation (BS500), wenn das Elektrolysesystem (10) einen kritischen Zustand einnimmt;
 - Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Sicherheitsabschalt-Betriebssituation, aufweisend:
 - Zuführen von Schutzgas, bevorzugt Stickstoff, durch den Reaktantenzufuhrpfad (3100);
 - Unterbinden der Zuführung von Luft an die Luftseite (120);
 - Deaktivieren des elektrischen Heizers (221, 222, 231); und
 - Unterbinden einer Zuführung von elektrischem Strom zu dem Elektrolyseurstapel (100).

- 12.** Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch
- Erfassen einer Überprüfung-Betriebssituation (BS10), welche bevorzugt einer Sonder-Betriebssituation und einer Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350) vorangeht, wenn eine Prozessaufforderung zum Überprüfen der Funktionsfähigkeit des Elektrolyseurstapels (100) erfolgt;
 - Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Überprüfung-Betriebssituation, aufweisend:
 - o Überprüfen von Ist-Betriebsparametern des Elektrolyseurstapels (100), wenigstens dessen Ist-Temperatur und/oder der auftretende Ist-Druck, bezüglich Operationsgrenzen.
- 13.** Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, ein Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 12 auszuführen.
- 14.** Kontrollvorrichtung (20) zum Betreiben eines Elektrolysesystems (10) mit wenigstens einem Elektrolyseurstapel (100), welcher eine Luftseite (120) und eine Reaktantenseite (130) aufweist, mit einem Luftzufuhrpfad (2200), um Luft zu der Luftseite (120) zu führen, wobei in dem Luftzufuhrpfad (2200) wenigstens ein elektrischer Heizer (221, 222) zum Kontrollieren der Lufttemperatur angeordnet ist, und mit einem Reaktantenzufuhrpfad (3100), um Reaktant zu der Reaktantenseite (130) zu führen, wobei das Elektrolysesystem (10) verschiedene Betriebssituationen aufweist,
gekennzeichnet durch
- ein Erfassungsmodul (21) zum Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10), wobei das Erfassungsmodul (21) dazu eingerichtet ist, eine Betriebssituation als Sonder-Betriebssituation zu erfassen, wenn die erfasste Betriebssituation von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems (10) zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus dem Reaktant abweicht; und
 - ein Situationskontrollmodul (22) zum Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation,

wobei das Situationskontrollmodul (22) für die erfasste Sonder-Betriebssituation dazu eingerichtet ist, wenigstens den elektrischen Heizer (221, 222) zur Kontrolle einer Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) zu kontrollieren, und ferner der Reaktantenseite (130) über den Reaktantenzuführpfad (3100) ein Heizgas zuzuführen, welches wenigstens ein Schutzgas aufweist.

15. Elektrolysesystem (10), bevorzugt ein SOEC- oder CO-SOEC-System, aufweisend:

- wenigstens einen Elektrolyseurstapel (100), welcher eine Luftseite (120) und eine Reaktantenseite (130) aufweist,
- einen Luftzuführpfad (2200), um Luft zu der Luftseite (120) zu führen, wobei in dem Luftzuführpfad (2200) wenigstens ein elektrischer Heizer (221, 222, 241) zum Kontrollieren der Lufttemperatur angeordnet ist,
- einen Reaktantenzuführpfad (3100), um Reaktant zu der Reaktantenseite (130) zu führen, und
- verschiedene Betriebssituationen, aufweisend wenigstens eine mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350), und wenigstens eine Sonder-Betriebssituation, welche von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems (10) zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus dem Reaktant abweicht,

gekennzeichnet durch

- eine Kontrollvorrichtung (20) gemäß Anspruch 14.

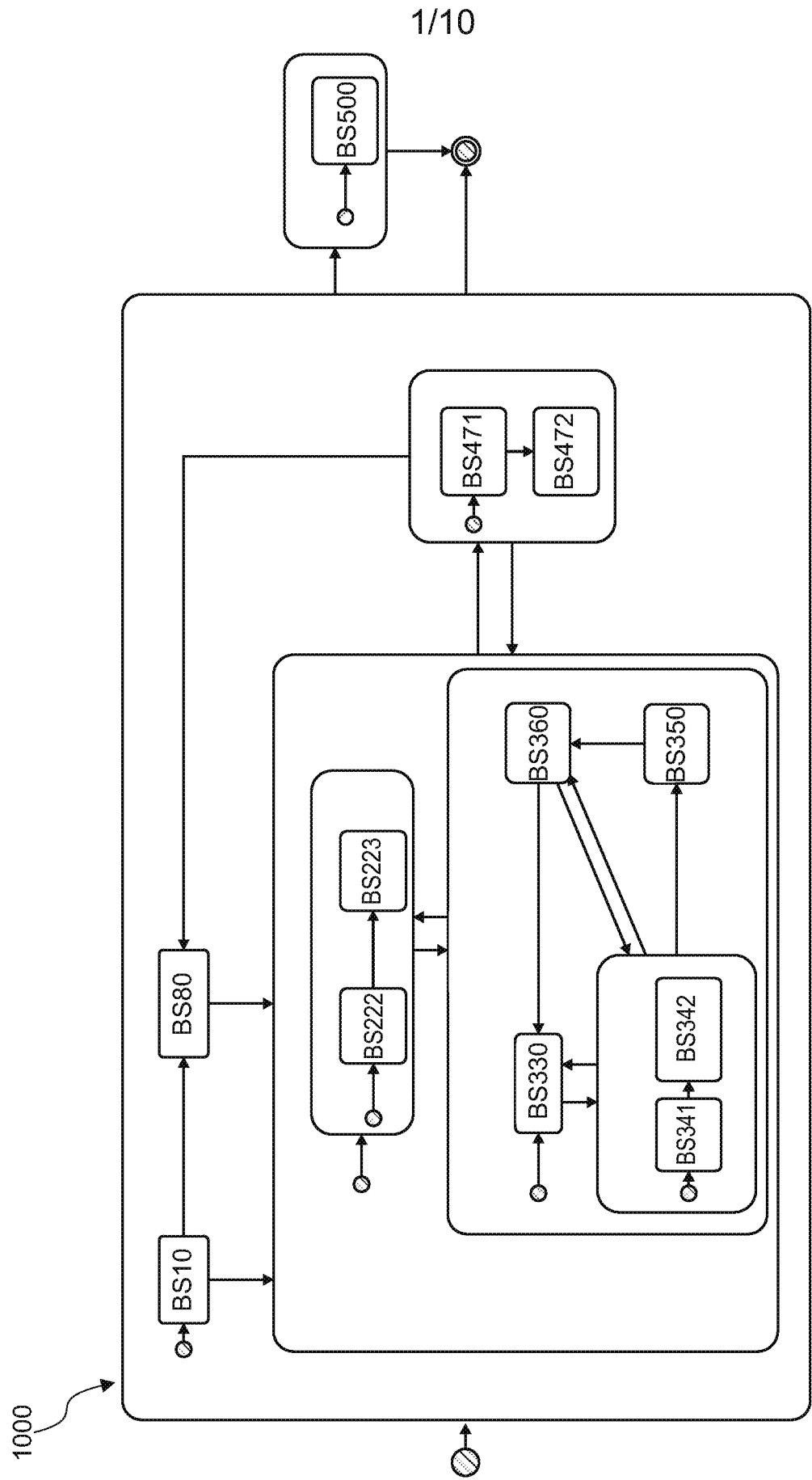


Fig. 1

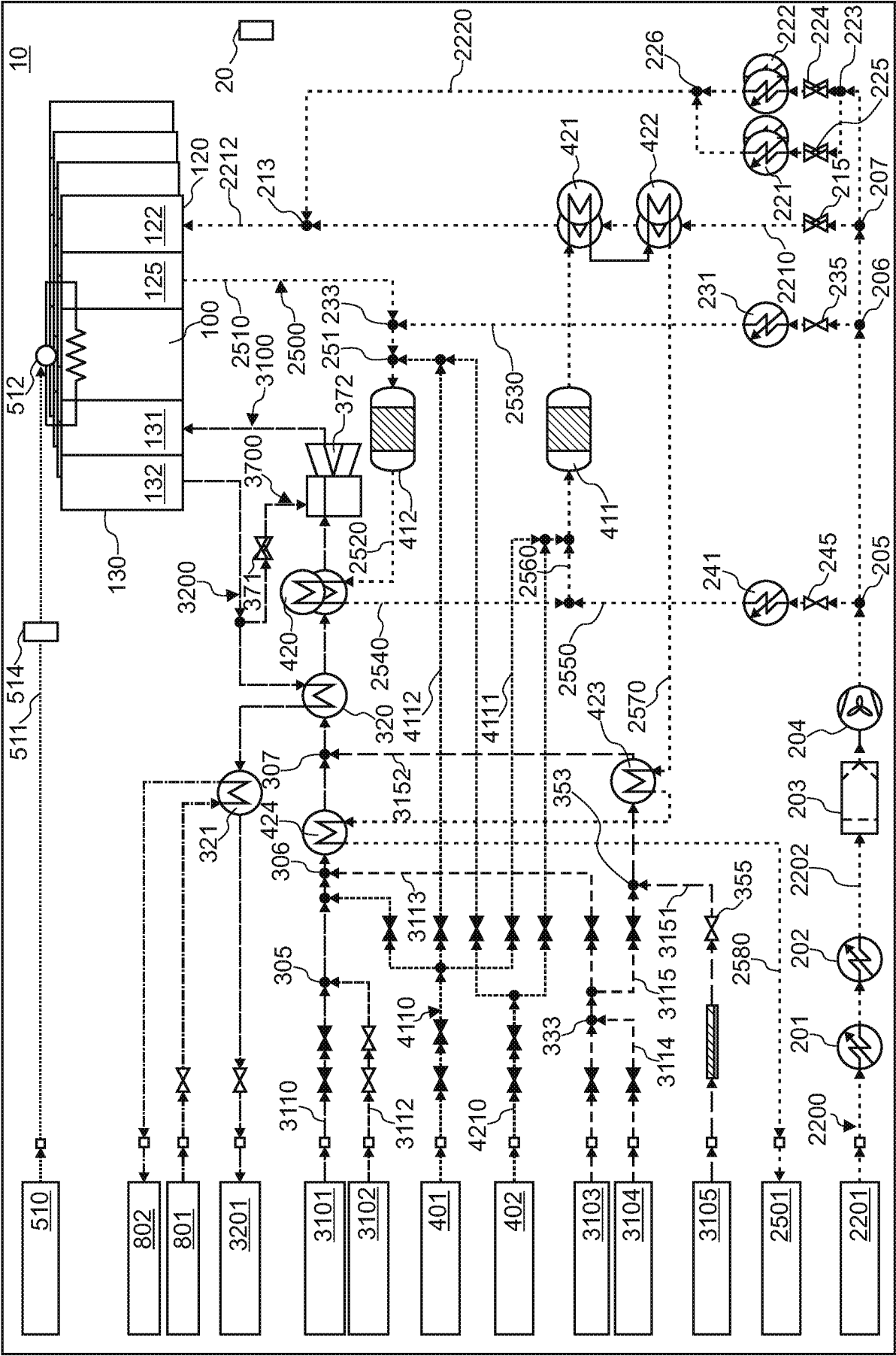


Fig. 2

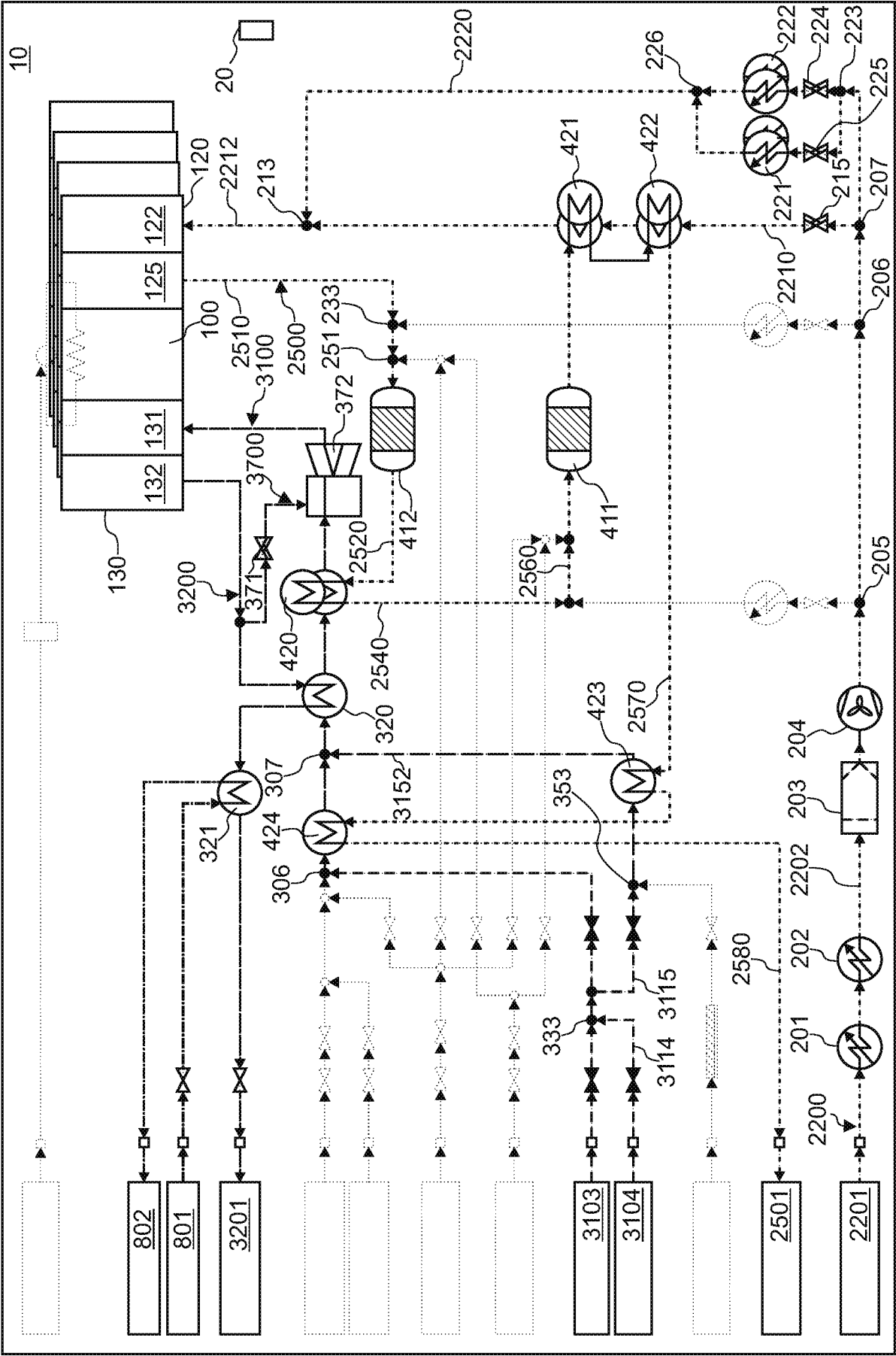


Fig. 3

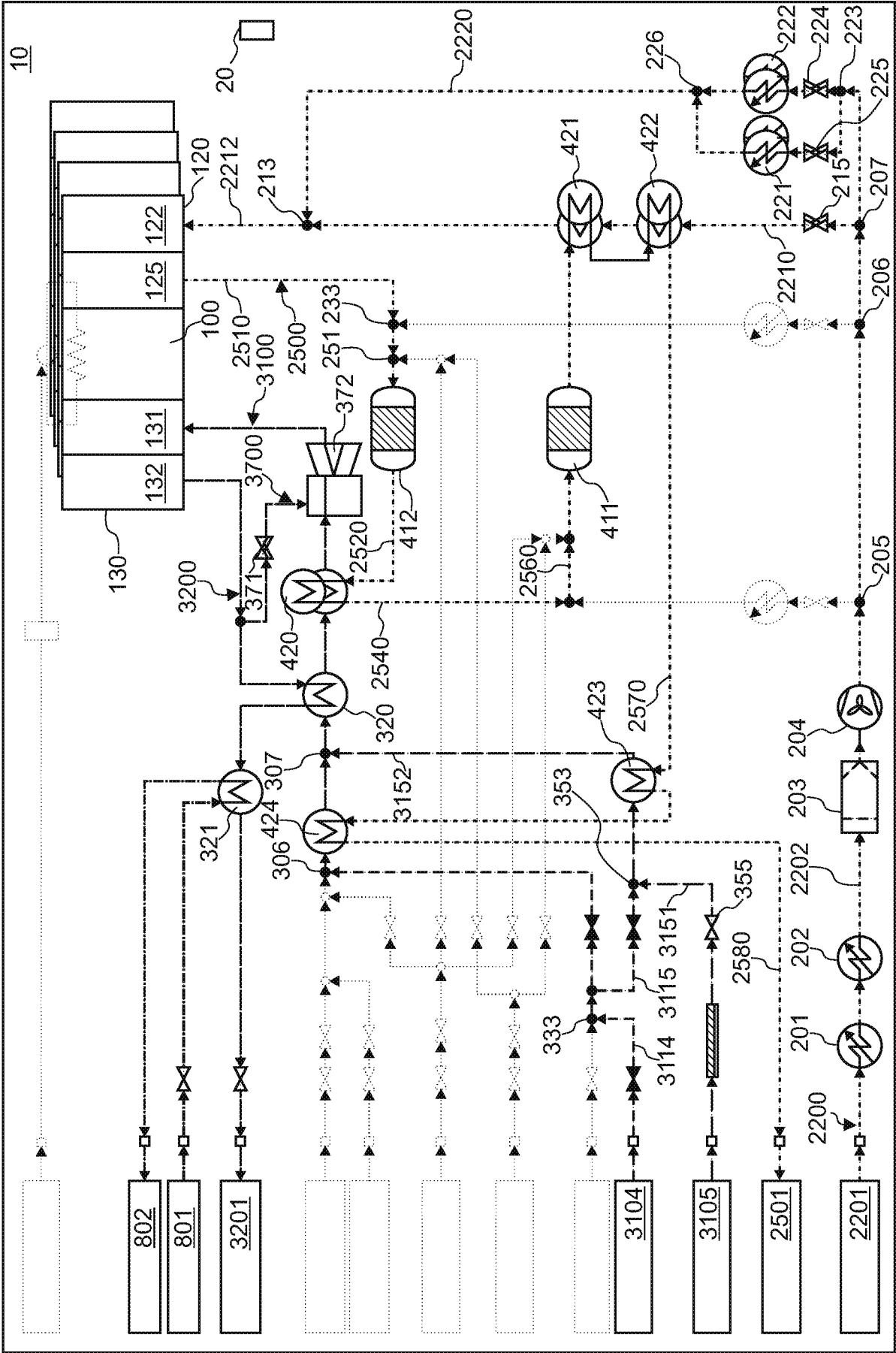


Fig. 4

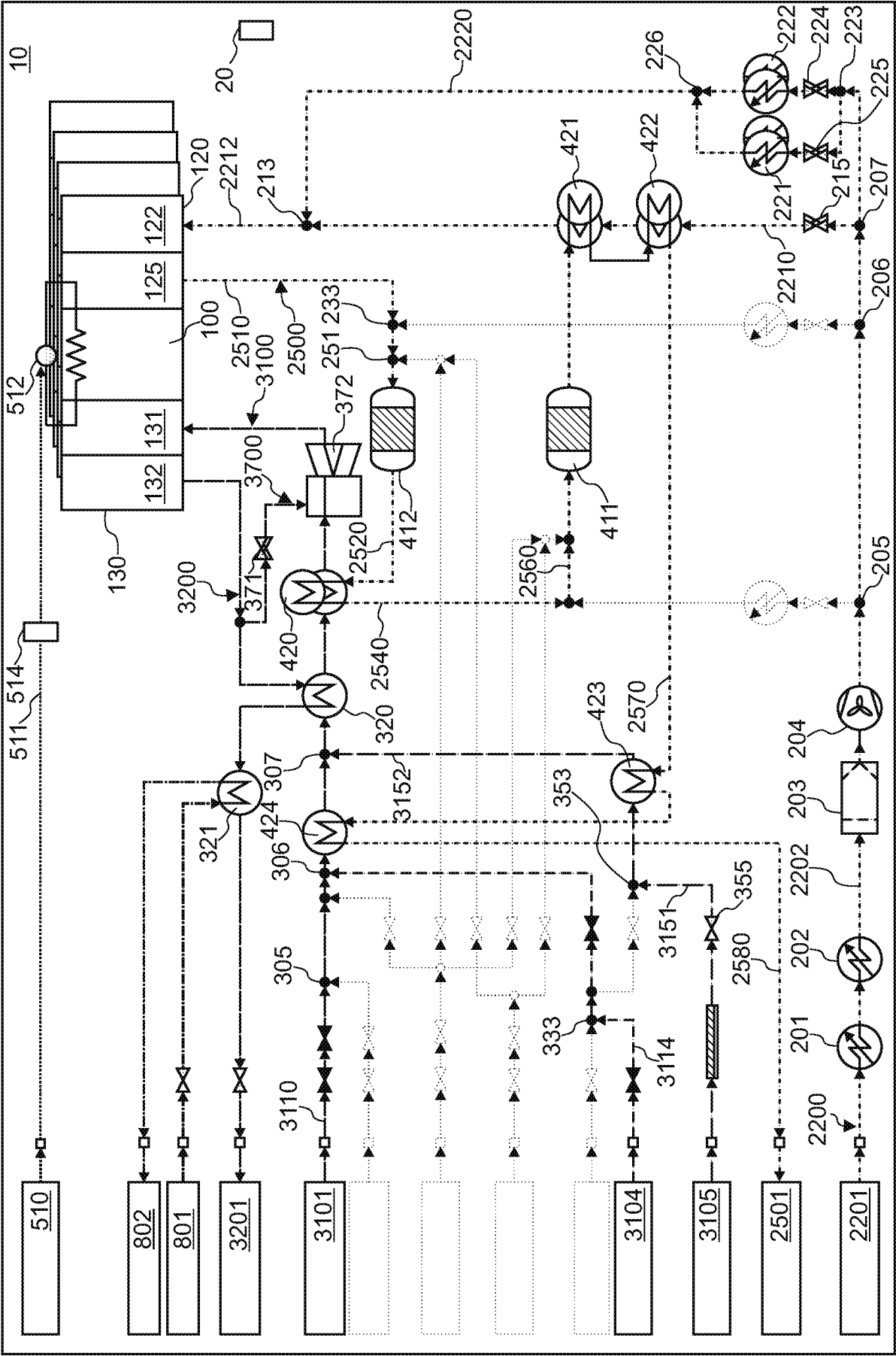


Fig. 5

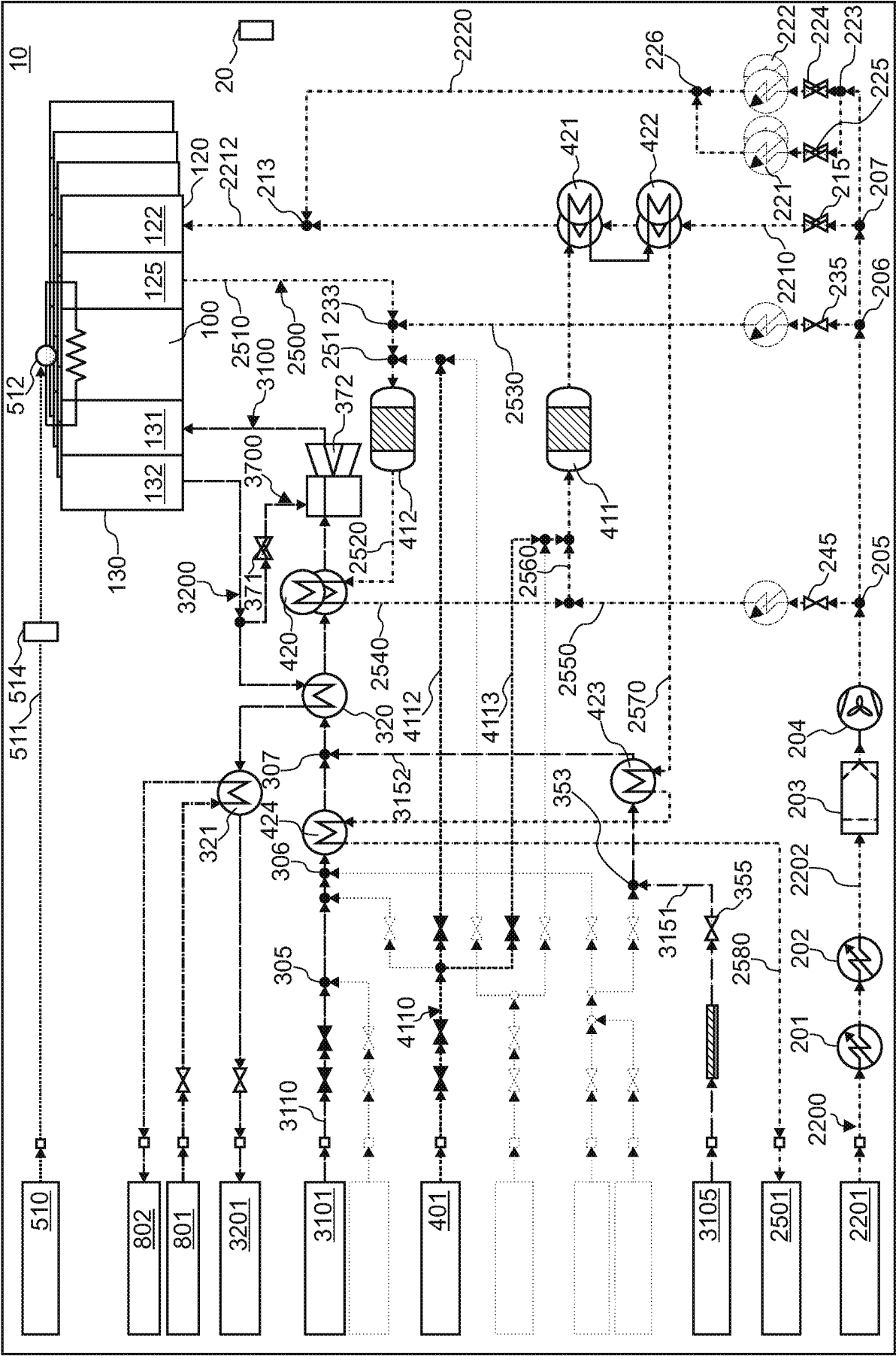


Fig. 6

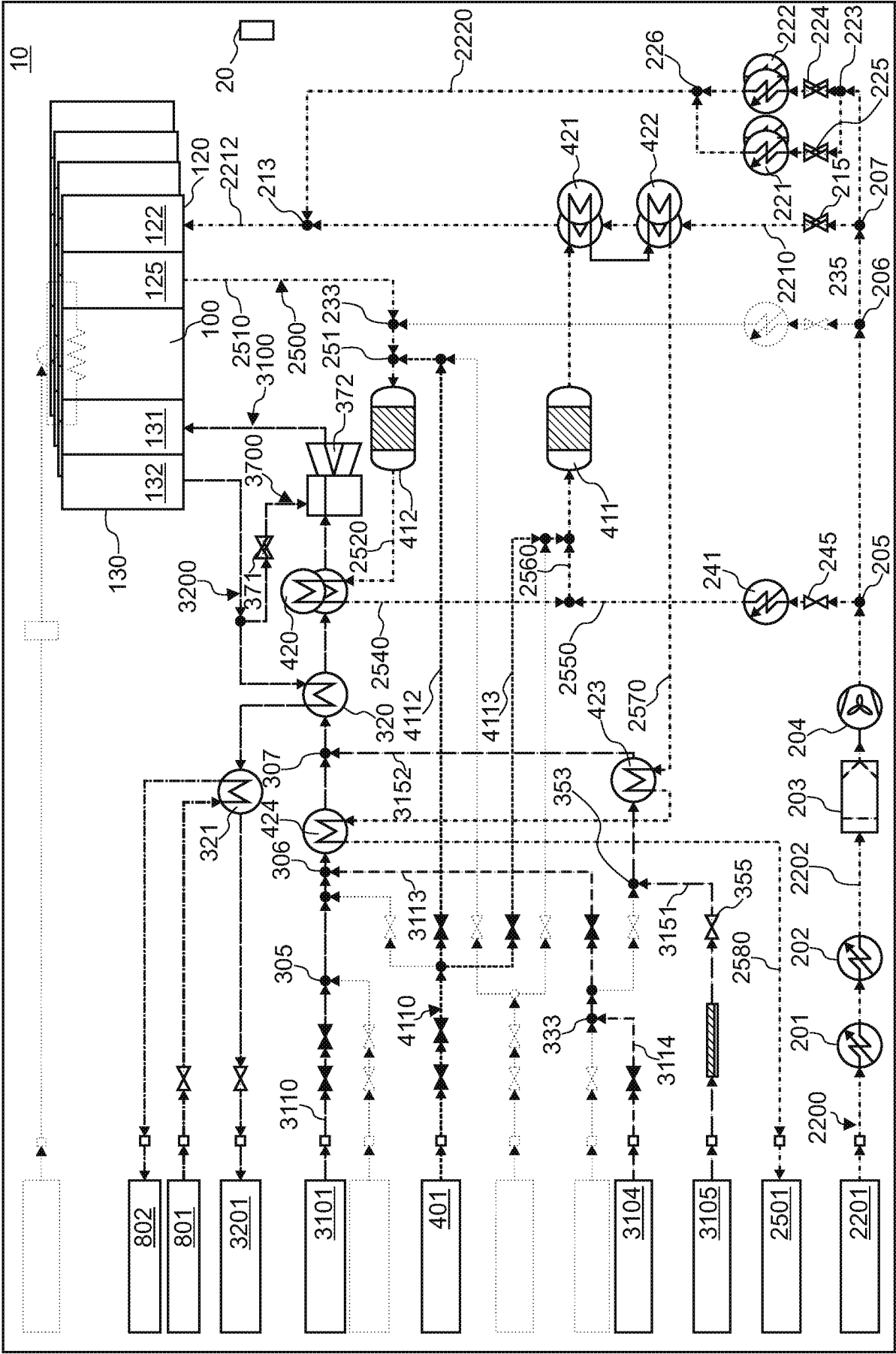


Fig. 7

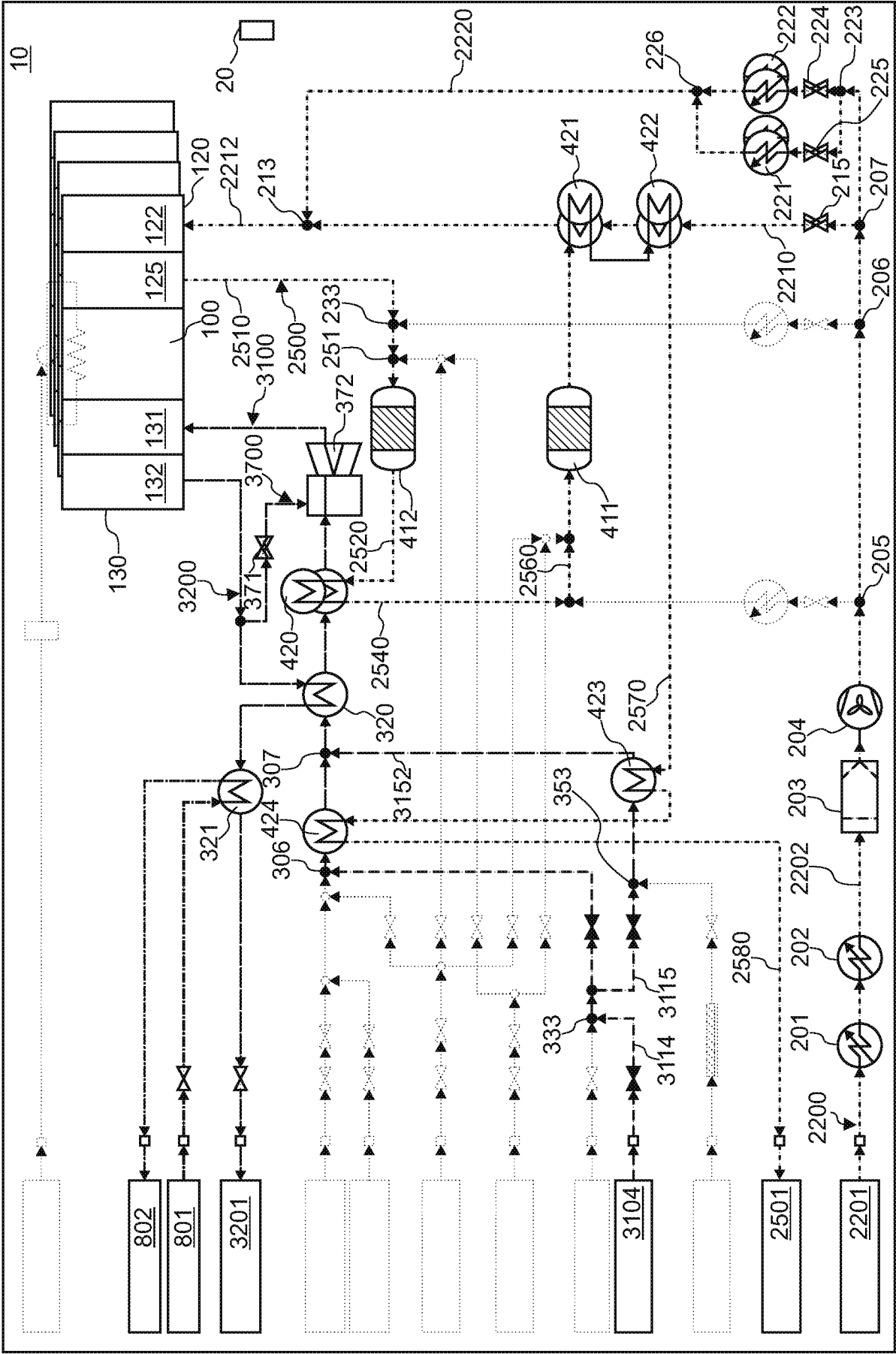


Fig. 8

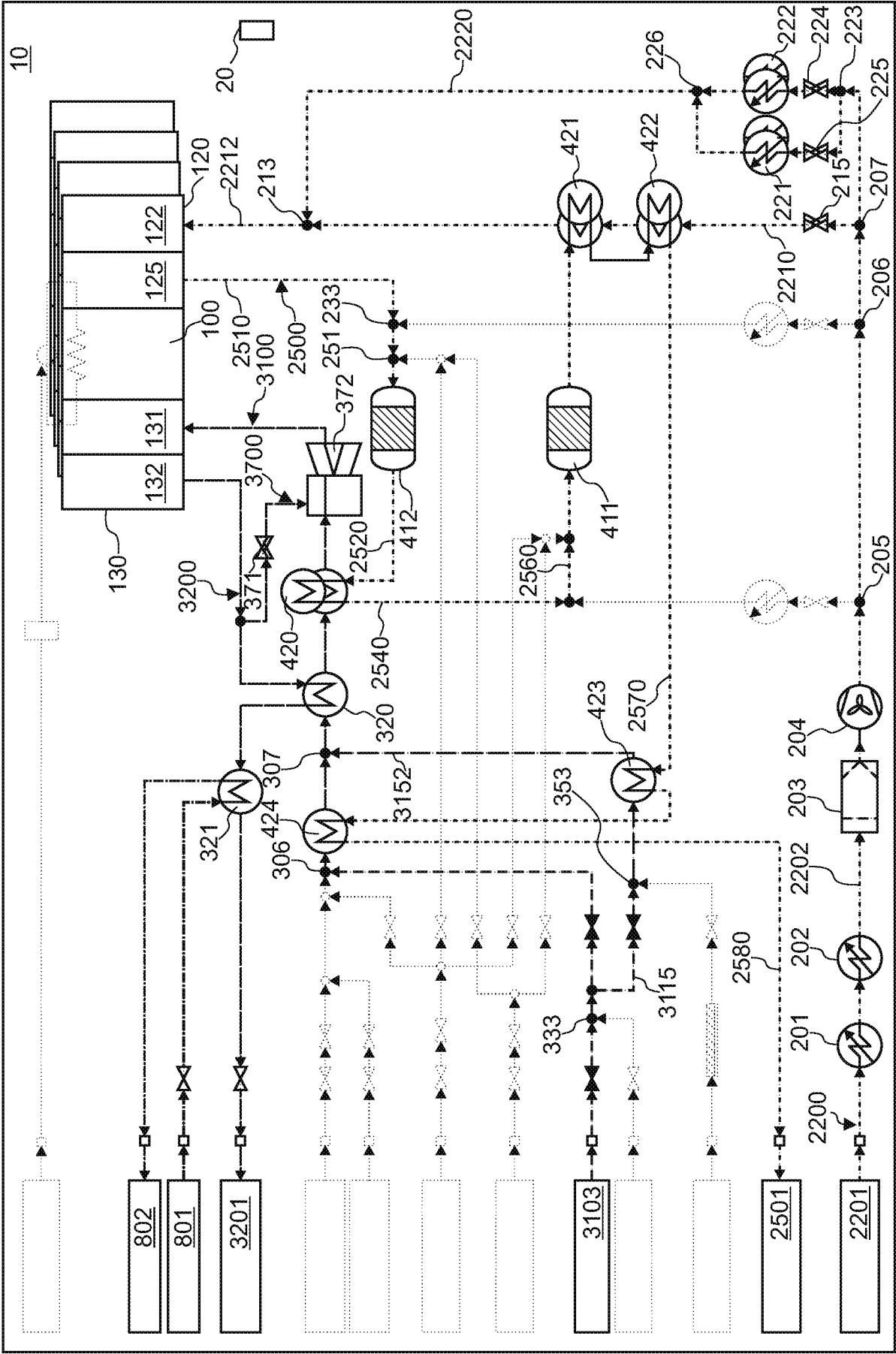


Fig. 9

Patentansprüche

1. Verfahren (1000) zum Betreiben eines Elektrolysesystems (10), welches wenigstens einen Elektrolyseurstapel (100) mit einer Luftseite (120) und einer Reaktantenseite (130) sowie verschiedene Betriebssituationen aufweist, aufweisend die Schritte:

- Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10),
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation,

gekennzeichnet durch die Schritte:

- Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10) als Sonder-Betriebssituation, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems (10) zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus einem Reaktant, welcher der Reaktantenseite (130) über einen Reaktantenzuführpfad (3100) des Elektrolysesystems (10) zuführbar ist, und
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die erfasste Sonder-Betriebssituation, aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren wenigstens eines elektrischen Heizers (221, 222) zur Kontrolle der Lufttemperatur von Luft, welche der Luftseite (120) über einen Luftzuführpfad (2200) des Elektrolysesystems (10) zuführbar ist, um eine Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) zu kontrollieren; und
 - o Zuführen eines Heizgases zu der Reaktantenseite (130) über den Reaktantenzuführpfad (3100), welches wenigstens ein Schutzgas aufweist.

2. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 1, **gekennzeichnet durch**

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb vorangehenden ersten Aufwärm-Betriebssituation (BS222), wenn eine Prozessaufforderung zum Aufwärmen des Elektrolyseurstapels (100) auf eine Aufwärmtemperatur erfolgt;

- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die erste Aufwärm-Betriebssituation (BS222), aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases, so dass das Heizgas in einem ersten Zeitabschnitt nur das Schutzgas, bevorzugt Stickstoff, aufweist und in einem zweiten Zeitabschnitt ein Gasgemisch aus Wasserstoff und dem Schutzgas aufweist, wobei das Gasgemisch bevorzugt eine Zusammensetzung von bis zu 95% Stickstoff als das Schutzgas und von bis zu 5% Wasserstoff aufweist, um eine Oberfläche der Elektrode der Reaktantenseite (130) bevorzugt innerhalb des zweiten Zeitabschnitts wenigstens teilweise zu reduzieren; und/oder
- Rezirkulieren des Heizgases in einem Rezirkulationspfad (3700) des Elektrolysesystems (10), welcher sich zwischen einem Synthesegasabschnitt (132) der Reaktantenseite (130) zum Abführen des Synthesegases und einem Reaktantenzuführabschnitt (131) der Reaktantenseite (130) zum Zuführen des Reaktantes erstreckt.

3. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, **gekennzeichnet durch**

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb vorangehenden zweiten Aufwärm-Betriebssituation (BS223) zum Aufwärmen des Elektrolysesystems (10), welche bevorzugt der ersten Aufwärm-Betriebssituation (BS222) folgt, wenn das von der Reaktantenseite (130) abgeführte Heizgas wenigstens eine Aufwärmtemperatur aufweist, und/oder eine Oberfläche der Elektrode der Reaktantenseite (130) eine elektrische Mindestleitfähigkeit aufweist;
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die zweite Aufwärm-Betriebssituation (BS223), aufweisend die Schritte:
 - o Zuführen von Wasserdampf zu der Reaktantenseite (130); und
 - o Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch, welches Wasserdampf, Schutzgas und Wasserstoff

aufweist, bevorzugt ein Gasgemisch mit einer Zusammensetzung mit wenigstens 3% Wasserstoff.

4. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb vorangehenden Bereithalte-Betriebssituation (BS330), welche bevorzugt der zweiten Aufwärm-Betriebssituation (BS223) folgt, wenn die Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) wenigstens eine Stapelmindesttemperatur und bevorzugt wenigstens eine Stapelbetriebstemperatur aufweist;
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Bereithalte-Betriebssituation (BS330), aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch, welches Wasserdampf, Schutzgas und Wasserstoff aufweist, bevorzugt in einer Zusammensetzung mit wenigstens 3% Wasserstoff; und
 - o Kontrollieren einer Durchflussrate der erhitzten Luft und/oder des Heizgases zu einem Minimum, an dem die Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) zwischen der Stapelmindesttemperatur und der Stapelbetriebstemperatur gehalten wird.

5. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb vorangehenden Anfahr-Betriebssituation (BS341) zur Inbetriebnahme des Elektrolysesystems (10), welche bevorzugt der Bereithalte-Betriebssituation (BS330) folgt, wenn eine Prozessaufforderung zum Erzeugen des bestimmungsgemäßen Synthesegases erfolgt;
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Anfahr-Betriebssituation (BS341), aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch, welches Wasserdampf, Wasserstoff und Schutzgas aufweist; und

- Kontrollieren einer Durchflussrate des Heizgases durch den Reaktantenzuführpfad (3100), wobei bevorzugt die Durchflussrate in Abhängigkeit einer Soll-Durchflussrate kontrolliert ist, welche gemäß einer Vorgabefunktion oder als eine Mindestdurchflussrate vorgegeben ist.

6. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb vorangehenden Niedrigleistung-Betriebssituation (BS342) zur Inbetriebnahme des Elektrolysesystems (10), welche bevorzugt der Anfahr-Betriebssituation (BS341) folgt, wenn das Heizgas eine Durchflussrate durch den Reaktantenzuführpfad (3100) aufweist, welche für einen Ladungsaustausch zwischen den Elektroden der mittels geschlossener elektrischer Verbindung verbundenen Reaktantenseite (130) und Luftseite (120) wenigstens erforderlich ist;
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Niedrigleistung-Betriebssituation (BS341), aufweisend die Schritte:
 - Zuführen von Kohlenstoffdioxid zu der Reaktantenseite (130);
 - Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch, welches Schutzgas, Kohlenstoffdioxid in bevorzugt einer gemäß einer Zugabekurve folgenden Menge, Wasserdampf, Wasserstoff und bevorzugt über einen Rezirkulationspfad (3700) rezirkuliertes Heizgasabgas aufweist; und
 - Zuführen elektrischen Stroms zu dem Elektrolyseurstapel (100) bevorzugt gemäß einer Leistungskurve.

7. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer mit einem Normalbetrieb korrespondierender Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350), welche bevorzugt der Niedrigleistung-Betriebssituation (BS341) folgt, wenn der Elektrolyseurstapel (100) wenigstens einen elektrischen

Mindeststapelstrom aufweist und bevorzugt das Synthesegas eine Mindestbetriebstemperatur aufweist; und/oder

- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350), aufweisend die Schritte:
 - Zuführen von Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf als den Reaktant zu der Reaktantenseite (130);
 - Kontrollieren einer Zusammensetzung des Reaktantes als ein Gasgemisch, welches Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und bevorzugt über einen Rezirkulationspfad (3700) rezirkuliertes Synthesegas aufweist;
 - Kontrollieren der Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) im Normalbetrieb mittels katalytischen Heizens, umfassend:
 - Zuführen von Restgas aus einem Syntheseprozess, bei dem Synthesegas in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, zu einem Katalysator (411, 412) des Elektrolysesystems (10);
 - katalytisches Verbrennen des Restgases mittels des Katalysators (411, 412);
 - Übertragen von Wärme eines Katalysator-Abgasstroms der katalytischen Verbrennung mittels zumindest eines Wärmetauschers (420, 421, 422) an die zuzuführende Luft und/oder den zuzuführenden Reaktant;
 - Zuführen der Luft, des Reaktantes und von elektrischem Strom zu dem Elektrolyseurstapel (100);
 - Erzeugen des Synthesegases, bevorzugt Synthesegases, mittels des Elektrolyseurstapels (100) aus der zugeführten Luft, dem Reaktant und dem elektrischen Strom, und
 - bevorzugt Deaktivieren des elektrischen Heizers (221, 222).

8. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb folgenden Rückfahr-Betriebssituation (BS360), wenn der Elektrolyseurstapel (100) einen elektrischen Stapelstrom kleiner als ein Mindeststapelstrom aufweist oder eine Prozessaufforderung zum Beenden des Betriebes des Elektrolyseurstapels (100) erfolgt;
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Rückfahr-Betriebssituation (BS360), aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasgemisch, welches Schutzgas, Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und bevorzugt über einen Rezirkulationspfad (3700) rezirkuliertes Heizgasabgas, aufweist;
 - o bevorzugt Verringern der Anteile von Kohlenstoffdioxid und von Wasserdampf in dem Heizgas bevorzugt gemäß Abnahmekurven;
 - o Verringern von Durchflussraten der Luft und des Heizgases;
 - o Verringern des zu dem Elektrolyseurstapel (100) zugeführten elektrischen Stroms bevorzugt gemäß einer Leistungsverringerungskurve bis kein Strom mehr zugeführt wird;
 - o bevorzugt zusätzliches Kontrollieren der Lufttemperatur mittels eines in dem Luftzufuhrpfad (2200) angeordneten weiteren elektrischen Heizers (231) zum Erhitzen der Luft.

9. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb folgenden ersten Abkühl-Betriebssituation (BS471) zum Abkühlen des Elektrolysesystems (10), welche bevorzugt der Rückfahr-Betriebssituation (BS360) folgt, wenn eine elektrische Verbindung (511) für einen Ladungsaustausch zwischen den Elektroden der Reaktantenseite (130) und der Luftseite (120) geöffnet ist; und
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die erste Abkühl-Betriebssituation (BS471), aufweisend die Schritte:

- Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases als ein Gasmisch, welches Schutzgas und Wasserstoff aufweist;
- bevorzugt zusätzliches Kontrollieren der Lufttemperatur mittels eines im Luftzufuhrpfad (2200) angeordneten weiteren elektrischen Heizers (231).

10. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer einem Normalbetrieb folgenden zweiten Abkühl-Betriebssituation (BS472) zum Abkühlen des Elektrolysesystems (10), welche bevorzugt der ersten Abkühl-Betriebssituation (BS471) folgt, wenn die Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) zwischen einer ersten Stapeltemperatur und einer zweiten Stapeltemperatur ist; und
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die zweite Abkühl-Betriebssituation (BS472), aufweisend:
 - Kontrollieren einer Zusammensetzung des Heizgases derart, dass es nur Schutzgas aufweist.

11. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sicherheitsabschalt-Betriebssituation (BS500), wenn das Elektrolysesystem (10) einen kritischen Zustand einnimmt;
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Sicherheitsabschalt-Betriebssituation, aufweisend:
 - Zuführen von Schutzgas, bevorzugt Stickstoff, durch den Reaktantenzufuhrpfad (3100);
 - Unterbinden der Zuführung von Luft an die Luftseite (120);
 - Deaktivieren des elektrischen Heizers (221, 222, 231); und
 - Unterbinden einer Zuführung von elektrischem Strom zu dem Elektrolyseurstapel (100).

**12. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch**

- Erfassen einer Überprüfung-Betriebssituation (BS10), welche bevorzugt einer Sonder-Betriebssituation und einer Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350) vorangeht, wenn eine Prozessaufforderung zum Überprüfen der Funktionsfähigkeit des Elektrolyseurstapels (100) erfolgt;
- Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) für die Überprüfung-Betriebssituation, aufweisend:
 - o Überprüfen von Ist-Betriebsparametern des Elektrolyseurstapels (100), wenigstens dessen Ist-Temperatur und/oder der auftretende Ist-Druck, bezüglich Operationsgrenzen.

13. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, ein Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 12 auszuführen.

14. Kontrollvorrichtung (20) zum Betreiben eines Elektrolysesystems (10) mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei das Elektrolysesystem (10) wenigstens einen Elektrolyseurstapel (100), welcher eine Luftseite (120) und eine Reaktantenseite (130) aufweist, einen Luftzufuhrpfad (2200), um Luft zu der Luftseite (120) zu führen, wobei in dem Luftzufuhrpfad (2200) wenigstens ein elektrischer Heizer (221, 222) zum Kontrollieren der Lufttemperatur angeordnet ist, und einen Reaktantenzufuhrpfad (3100), um Reaktant zu der Reaktantenseite (130) zu führen, umfasst, wobei das Elektrolysesystem (10) verschiedene Betriebssituationen aufweist,

gekennzeichnet durch

- ein Erfassungsmodul (21) zum Erfassen einer Betriebssituation des Elektrolysesystems (10), wobei das Erfassungsmodul (21) dazu eingerichtet ist, eine Betriebssituation als Sonder-Betriebssituation zu erfassen, wenn die erfasste Betriebssituation von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems (10) zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus dem Reaktant abweicht; und

- ein Situationskontrollmodul (22) zum Kontrollieren des Elektrolysesystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation, wobei das Situationskontrollmodul (22) für die erfasste Sonder-Betriebssituation dazu eingerichtet ist, wenigstens den elektrischen Heizer (221, 222) zur Kontrolle einer Temperatur des Elektrolyseurstapels (100) zu kontrollieren, und ferner der Reaktantenseite (130) über den Reaktantenzuführpfad (3100) ein Heizgas zuzuführen, welches wenigstens ein Schutzgas aufweist.

15. Elektrolysesystem (10), bevorzugt ein SOEC- oder CO-SOEC-System, aufweisend:

- wenigstens einen Elektrolyseurstapel (100), welcher eine Luftseite (120) und eine Reaktantenseite (130) aufweist,
- einen Luftzuführpfad (2200), um Luft zu der Luftseite (120) zu führen, wobei in dem Luftzuführpfad (2200) wenigstens ein elektrischer Heizer (221, 222, 241) zum Kontrollieren der Lufttemperatur angeordnet ist,
- einen Reaktantenzuführpfad (3100), um Reaktant zu der Reaktantenseite (130) zu führen, und
- verschiedene Betriebssituationen, aufweisend wenigstens eine mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350), und wenigstens eine Sonder-Betriebssituation, welche von einem Normalbetrieb des Elektrolysesystems (10) zum Erzeugen eines bestimmungsgemäßen Synthesegases aus dem Reaktant abweicht,

gekennzeichnet durch

- eine Kontrollvorrichtung (20) gemäß Anspruch 14.