

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50551/2023 (51) Int. Cl.: **H01M 8/0612** (2016.01)  
(22) Anmeldetag: 13.07.2023 **C01B 3/26** (2006.01)  
(43) Veröffentlicht am: 15.08.2024 **C01B 3/38** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
CN 114430058 A  
JP H01298652 A  
WO 0202220 A1

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

(72) Erfinder:  
Sallai Christopher Ing.  
8020 Graz (AT)  
Pöschl Robert Dr.  
8111 Gratwein-Straßengel (AT)  
Schluckner Christoph Dr.  
8402 Werndorf (AT)  
Hauth Martin Dipl.-Ing. Dr.  
8052 Graz (AT)  
Goll Markus Dipl.-Ing. BSc  
8010 Graz (AT)

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

(54) **Reformer für ein Brennstoffzellensystem**

(57) Die Erfindung betrifft einen Reformer (10) zur Umwandlung von einem Brennstoff (BS) in ein wasserstoffhaltiges Gas (WG) für ein Brennstoffzellensystem (100). Der Reformer (10) weist Reformerröhren (12) auf, welche sich längs zwischen einem Brennstoffeinlass (11) und einem Brennstoffauslass (13) erstrecken und dabei in einem Reformergehäuse (14) angeordnet sind. Wenigstens eine der Reformerröhren (12) weist wenigstens in einem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt (121) eine Formkörperschüttung (30) auf. Der Reformer (10) weist ferner eine Wärmeleitstruktur (15) zur Vorgabe eines definierten Strömungsweges eines Wärmeträgers (WT) in dem Reformergehäuse (14) zur Bereitstellung von Reformierprozesswärme an die Reformerröhren (12) auf. Dabei weist die Wärmeleitstruktur (15) einen Wärmeträgereinlass (16) und einen Wärmeträgerauslass (17) zum Ein- und Ausleiten des Wärmeträgers (WT) an entgegengesetzten Abschnitten des Reformergehäuses (14) auf. Wenigstens zwei sich in dem Reformergehäuse (14) längs der Reformerrichtung (RR) erstreckende Strukturabschnitte (151, 152) sind in der Wärmeleitstruktur (15) vorgesehen, mittels derer eine Umströmung der Reformerröhren (12) mit dem

Wärmeträger (WT) zur Ausbildung definierter, unterschiedlicher und sich längs erstreckender Temperaturzonen (VZ, RZ) erreicht wird. Die Erfindung betrifft ferner ein Brennstoffzellensystem (100) mit dem Reformer (10) sowie ein Verfahren zum Reformieren eines Brennstoffs (BS) unter Verwendung des Reformers (10).

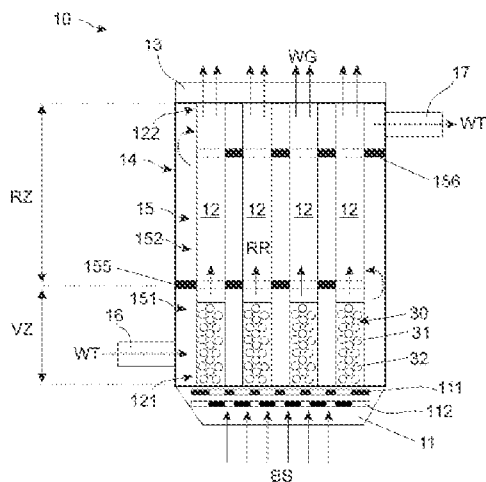


Fig. 1

### **Zusammenfassung**

Die Erfindung betrifft einen Reformer (10) zur Umwandlung von einem Brennstoff (BS) in ein wasserstoffhaltiges Gas (WG) für ein Brennstoffzellensystem (100). Der Reformer (10) weist Reformerröhren (12) auf, welche sich längs zwischen einem Brennstoffeinlass (11) und einem Brennstoffauslass (13) erstrecken und dabei in einem Reformergehäuse (14) angeordnet sind. Wenigstens eine der Reformerröhren (12) weist wenigstens in einem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt (121) eine Formkörperschüttung (30) auf. Der Reformer (10) weist ferner eine Wärmeleitstruktur (15) zur Vorgabe eines definierten Strömungsweges eines Wärmeträgers (WT) in dem Reformergehäuse (14) zur Bereitstellung von Reformierprozesswärme an die Reformerröhren (12) auf. Dabei weist die Wärmeleitstruktur (15) einen Wärmeträgereinlass (16) und einen Wärmeträgerauslass (17) zum Ein- und Ausleiten des Wärmeträgers (WT) an entgegengesetzten Abschnitten des Reformergehäuses (14) auf. Wenigstens zwei sich in dem Reformergehäuse (14) längs der Reformierrichtung (RR) erstreckende Strukturabschnitte (151, 152) sind in der Wärmeleitstruktur (15) vorgesehen, mittels derer eine Umströmung der Reformerröhren (12) mit dem Wärmeträger (WT) zur Ausbildung definierter, unterschiedlicher und sich längs erstreckender Temperaturzonen (VZ, RZ) erreicht wird. Die Erfindung betrifft ferner ein Brennstoffzellensystem (100) mit dem Reformer (10) sowie ein Verfahren zum Reformieren eines Brennstoffs (BS) unter Verwendung des Reformers (10).

Fig. 1

## **Reformer für ein Brennstoffzellensystem**

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Reformer für ein Brennstoffzellensystem, von dem ein Brennstoff oder Brennstoffgemisch aus Brennstoff und Luft und/oder Wasserdampf in ein wasserstoffhaltiges Gas umgewandelt werden kann. Die Erfindung betrifft ferner ein Brennstoffzellensystem mit diesem Reformer und ein Verfahren zum Reformieren eines Brennstoffs oder Brennstoffgemisches unter Verwendung des erfindungsgemäßen Reformers.

Aus dem Stand der Technik sind Brennstoffzellen und Brennstoffzellensysteme bekannt. Derartige Systeme nutzen eine chemische Reaktion eines Brennstoffs, wie bspw. Wasserstoff, mit einem Oxidationsmittel, wie bspw. Sauerstoff, um elektrische Energie zu gewinnen.

Eine besondere technische Herausforderung bei derartigen Systemen stellt die Bereitstellung des Brennstoffs für die Brennstoffzellen dar. Dies ist einerseits der hohen Reaktivität der eingesetzten Brennstoffe mit Umgebungsluft geschuldet, so dass sich besondere Anforderungen an Sicherheit und Zuverlässigkeit der Brennstoffspeicher stellen. Andererseits liegen die Brennstoffe überwiegend in einem gasförmigen Zustand vor, so dass für eine ausreichende Versorgung mehrerer Brennstoffzellen hohe Speichervolumen erforderlich sind. Diese Umstände erschweren die Verwendung von Brennstoffzellen für mobile Anwendungen.

Eine aus dem Stand der Technik bekannte Möglichkeit, die vorgenannten Probleme zu adressieren, ist die Bereitstellung und Verwendung eines Reformers. Mittels eines Reformers können wasserstoffhaltige Ausgangsstoffe unter Zuführung von Wärmeenergie an katalytisch beschichteten Oberflächen in Wasserstoff und zugehörige Nebenprodukte umgewandelt („reformiert“) werden. Dies ermöglicht die Verwendung von bspw. Erdgas oder Ethanol, um den von der Brennstoffzelle benötigten Wasserstoff bereitzustellen.

Ein Nachteil der Verwendung eines Reformers ist, dass oftmals erst eine relativ hohe Menge an Wärmeenergie bereitgestellt werden muss, um den Reformierungsprozess zu ermöglichen. Dabei sind sowohl das Vorheizen des zu reformierenden Brennstoffs als auch das Reformieren desselben endotherme Prozesse. Hinzukommt, dass gerade während des Aufwärmprozesses wenig Wärme aus beispielsweise dem Anodenabgas der Brennstoffzelle verwertet werden kann.

Um die für den Reformer erforderliche Energie bereitzustellen, wird daher oftmals ein Nachbrenner in dem Brennstoffzellensystem bereitgestellt, der den Brennstoffzellen nachgeordnet ist und mittels dessen aus in dem Abgasstrom enthaltenen Rest-Wasserstoff und/oder Kohlenwasserstoffen Wärme für den Vorheizvorgang erzeugt werden kann. Hierbei konnte jedoch festgestellt werden, dass die für den Reformierprozess geeigneten Vorwärmtemperaturen oftmals nicht erreicht werden können.

Ferner stellt sich das Problem, dass der Brennstoff sich beim Vorheizen in kohlenstoffhaltige Substanzen aufspalten kann, welche zu Ablagerungen an den katalytischen Oberflächen führen können und so die Ausbeute an Wasserstoff aus dem eigentlichen Reformierschritt wesentlich geringer ausfallen lassen. Diese Effekte zeigen sich insbesondere, wenn der Brennstoff vor dem Kontakt mit dem katalytischen Material an den katalytischen Oberflächen zu geringe Vorheiztemperaturen aufweist.

Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der Erfindung, einen Reformer bereitzustellen, mittels dessen die Ausgangsstoffe unter Ausnutzung der bereits im Brennstoffzellensystem vorhandenen Energie vorgeheizt und reformiert werden können. Es ist insbesondere eine weitere Aufgabe der Erfindung, beim Aufheizen Umwandlungen der Ausgangsstoffe zu unterbinden oder wenigstens zu verringern.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch einen Reformer mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 12 sowie ein Verfahren 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 Reformer beschrieben sind, natürlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem und dem erfindungsgemäßen Verfahren und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. Bezug genommen werden kann.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft einen Reformer zur Umwandlung von einem Brennstoff oder einem Brennstoffgemisch aus Brennstoff und Luft und/oder Wasserdampf in ein wasserstoffhaltiges Gas für ein Brennstoffzellensystem.

Der Reformer weist eine Vielzahl von Reformerröhren zum Leiten und Reformieren des Brennstoffs oder Brennstoffgemisches auf. Dabei erstrecken die Reformerröhren sich in einer Reformierrichtung längs zwischen einem Brennstoffeinlass und einem Brennstoffauslass, an dem das wasserstoffhaltige Gas ausleitbar ist. Dabei weist wenigstens eine der Reformerröhren wenigstens in einem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt eine Formkörperschüttung auf.

Der Reformer weist ferner ein Reformergehäuse auf, in dem die Reformerröhren angeordnet sind.

Zudem weist der Reformer eine Wärmeleitstruktur zur Vorgabe eines definierten Strömungsweges eines Wärmeträgers in dem Reformergehäuse auf, um an die Reformerröhren Reformierprozesswärme bereitzustellen. Die Wärmeleitstruktur weist dabei einen Wärmeträgereinlass zum Einleiten des Wärmeträgers auf. Ferner weist die Wärmeleitstruktur einen Wärmeträgerauslass zum Ausleiten des Wärmeträgers auf, welcher an einem bezüglich des Wärmeträgereinlasses in der Reformierrichtung entgegengesetzten Abschnitt des Reformergehäuses vorgesehen ist. Zudem weist die Wärmeleitstruktur wenigstens zwei sich in dem Reformergehäuse längs der Reformierrichtung erstreckende Strukturabschnitte auf, in denen eine Umströmung der Reformerröhren mit dem Wärmeträger zur Ausbildung definierter (und) sich längs erstreckender Temperaturzonen vorgesehen ist. Dabei sind wenigstens zwei unterschiedliche Temperaturzonen ausbildbar.

Mit anderen Worten: gemäß der Erfindung kann ein Reformer bereitgestellt werden, bei dem von Reformerröhren jeweils ein für die beim (katalytischen) Reformieren ablaufenden Reaktionsprozesse geeigneter Reaktionsraum gebildet wird. Dabei kann gemäß der Erfindung eine Reformerröhre als ein zylindrischer Hohlkörper mit einer größeren Längs- als Breitenerstreckung aufgefasst werden. Natürlich können die Reformerröhren auch andere Querschnitte (bspw. quadratisch oder n-eckig) als kreisförmige Querschnitte aufweisen. So kann durch Röhrenkonfiguration eine platzsparende Bauteilanordnung und vereinfachte Prozesssteuerung erzielt werden. Bevorzugt können die Reformerröhren eine katalytische Beschichtung, bevorzugt an ihrer inneren Mantelfläche, aufweisen.

Eine Formkörperschüttung an einem brennstoffeinlass-seitigen Abschnitt von (einer, einzelnen oder jeder der) Reformerröhren ermöglicht wahlweise eine Unterbindung, Hemmung, Verlangsamung oder Beschleunigung von Spaltungsprozessen des Brennstoffs unmittelbar nach dessen Eintritt in den Reformer. Eine Formkörperschüttung kann dabei als eine Menge loser, untereinander nicht verbundener Einzelkörper mit jeweils definierter, bevorzugt gleicher, Gestalt aufgefasst werden. Die Einzelkörper können dabei klein sein, also eine relativ geringe Volumenerstreckung aufweisen. So können die Einzelkörper beispielsweise bis zu 20% des Rohrdurchmessers einer Reformerröhre aufweisen. Bevorzugt kann durch die Geometrie oder Oberflächenstruktur der Formkörper der Formkörperschüttung Einfluss auf den Ablauf eines chemischen Prozesses genommen werden. So können beispielsweise beim Umströmen relativ großer (ca. 20-70% des Rohrdurchmessers einer Reformerröhre) Formkörper Ablöse- und Durchmischungseffekte entstehen, die es ermöglichen können, dass die katalytische Oberfläche der Reformerröhren nicht mit bereits reformiertem Gasschichten ummantelt wird, sondern stetig frischer Brennstoff an die katalytische Oberfläche kommt und reformiert werden kann. Ferner kann ein Formkörper eine katalytische Beschichtung aufweisen, um die Reaktionsgeschwindigkeit zu beeinflussen. Derart kann der Brennstoff unmittelbar nach Eintritt in den Reformer mit Wärme beaufschlagt werden und dabei können wahlweise chemische Reaktionen nicht, kaum oder beschleunigt in Gang gesetzt werden.

Die zum Aufheizen und zum Reformieren des Brennstoffs notwendige Energie kann mittels einer Wärmeleitstruktur bereitgestellt werden, indem von dieser ein strömendes wärmetragendes Medium (Wärmeträger) spezifisch durch den Reformer und um die Reformerröhren herumgeleitet werden kann. Der Wärmeträger kann beispielsweise ein Abgasteilmengenstrom sein. Durch das Vorsehen zweier definiert ausgebildeter Strukturabschnitte kann der (derselbe) Wärmeträger die Reformerröhren derart (bspw. lokal konzentriert) umströmen, dass sich in diesen Strukturabschnitten um die Reformerröhren herum lokale Bereiche gleicher bzw. ähnlicher Temperatur ausbilden können. Bevorzugt können die Strukturabschnitte ein lokal konzentriertes und/oder gezielt unterschiedlich konzentriertes Umströmen ermöglichen. Als Temperaturzonen können insbesondere die lokalen Bereiche gleicher bzw. ähnlicher Temperatur aufgefasst werden. Die Strukturabschnitte sind so ausgestaltet, dass unterscheidbare Temperaturen in den Bereichen messbar

feststellbar sind. Innerhalb einer Temperaturzone kann entlang der Reformierrichtung bspw. eine stets konstante Wärmemenge abgegeben werden.

Derart kann beispielsweise eine Prozessführung ermöglicht werden, in der der Brennstoff unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt werden, durch welche beispielsweise unterschiedliche Reaktionsenthalpien bereitgestellt werden können. Somit wird es möglich, die Reformerröhren mit einem Abschnitt zum Vorheizen und einem Abschnitt zum Reformieren vorzusehen. Insbesondere ermöglicht es die Erfindung, die in einem Wärmeträger enthaltene Energie gezielt lokal zu konzentrieren und effizient innerhalb des Reformers (und insbesondere des Reformergehäuses) zu nutzen. Die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile können somit mit dem erfindungsgemäßen Reformer wenigstens teilweise adressiert werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann wenigstens die Formkörperschüttung in dem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt eine Schütthöhe aufweisen, die mit einer Längserstreckung einer der Temperaturzonen korrespondiert. So kann bspw. die Formkörperschüttung dieselbe oder eine ähnliche Längserstreckung wie der zugehörige Strukturabschnitt aufweisen.

Somit wird es möglich, die in den Reformerröhren ablaufenden Prozesse noch genauer und/oder prozessspezifischer zu steuern. Insbesondere kann durch die Variation der Füllhöhe bspw. auf die Besonderheiten der Ausgangsstoffe und die zur verfügbaren Wärmemenge eingegangen werden, ohne hierzu eine strukturelle Anpassung des Reformers bspw. speziell auf der Brennstoffseite zu erfordern.

Bevorzugt kann die Formkörperschüttung eine aktive Katalysatorschüttung und/oder eine inaktive Katalysatorschüttung aufweisen. Die aktive Katalysatorschüttung wird dabei im Folgenden bevorzugt als aktive Formkörperschüttung bezeichnet. Die inaktive Katalysatorschüttung wird entsprechend im Folgenden als inaktive Formkörperschüttung bezeichnet. So kann bspw. eine aktive Formkörperschüttung eine Porosität aufweisen, die zu einer Aktivierung/Bevorzugung des Ablaufs chemischer Prozesse führt. Entsprechend kann bspw. eine inaktive Formkörperschüttung eine Porosität aufweisen, die zu einer Inaktivierung oder Hemmung des Ablaufs chemischer Prozesse führt und/oder auf eine thermische Konditionierung abzielt, um bspw. unerwünschte Nebenreaktionen zu vermeiden. Die

Art und Form der Formkörper können dabei auf die Anwendung zugeschnitten sein. So kann gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung die Formkörperschüttung eine Vielzahl von Formkörpern mit einer Tablettenform und/oder einer Kugelform aufweisen. Dabei kann die Kugelform bspw. einen Durchmesser im Bereich von 4mm bis 15mm aufweisen. Ferner bevorzugt kann es sich bei den Formkörpern um vorzugsweise chemisch inerte Keramikugeln handeln.

Somit ist es möglich, den Reformier-Prozess und zu einem Teil auch das Aufheizverhalten durch die Wahl der Formkörperschüttung zu beeinflussen und derart eine Anpassung des Reformers an den jeweiligen Prozess mit einfachen Mitteln zu erreichen. Insbesondere bietet die Kugelform als Vorteil eine große Oberfläche zum Überströmen mit Brennstoff.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann wenigstens einer der Strukturabschnitte entlang der Reformierrichtung nebeneinander angeordnete Trägerelemente aufweisen, in denen oder zwischen denen der Wärmeträger führbar ist. Bevorzugt kann wenigstens einer der Strukturabschnitte eine Vielzahl von Wärmeträgerpfaden aufweisen. Sofern vorhanden, können die Wärmeträgerpfade dabei in den Trägerelementen vorgesehen sein. Die Wärmeträgerpfade können dabei bevorzugt derart angeordnet sein, dass der Wärmeträger im Querstrom und/oder im Kreuzstrom führbar ist.

Dadurch kann der Wärmeträger auf mehreren Ebenen innerhalb des Reformers mäandern, um die Reformerröhren möglichst gleichmäßig zu umströmen. Somit kann insbesondere eine gezielte Konzentration der Wärmeeinbringung bspw. am Beginn oder am Ende der Reformerröhren (in Prozessrichtung) erreicht werden. Die durch die Röhrenform hervorgerufenen Wärmeleitungseffekte in Längsrichtung können dabei innerhalb des jeweiligen Strukturabschnitts zu einem lokalen Temperatúrausgleich führen, so dass innerhalb der jeweiligen Temperaturzone oder des jeweiligen Strukturabschnitts die Reformerröhren eine möglichst gleichförmige Außentemperatur aufweisen können. Bevorzugt kann die Außentemperatur der Abgastemperatur entsprechen.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann an einem Abschnitt des Reformers eine Verteilerstruktur angeordnet sein, um den Brennstoff oder das Brennstoffgemisch, welches bei Betrieb des Reformers durch den Brennstoffeinlass einströmt, (bspw. gleichmäßig oder (anderweitig) definiert) auf die Reformerröhren

aufzuteilen. Bevorzugt kann die Verteilerstruktur an einem Abschnitt des Reformers zwischen dem Brennstoffeinlass und einem brennstoffeinlassseitigen Ende von wenigstens einer der Reformerröhren vorgesehen sein. Die Verteilerstruktur kann dabei vorzugsweise ein oder mehrere Lochbleche aufweisen. Hierbei ist es vorstellbar, dass bei Vorsehen von mehreren Lochblechen, die mehreren Lochbleche in der Reformierrichtung gestapelt sein können. Alternativ oder zusätzlich können bei Vorsehen von mehreren Lochblechen benachbarte Lochbleche eine in der Reformierrichtung gesehen zueinander unterschiedliche Lochanordnung aufweisen.

Somit kann auch bei einer geringen Menge konzentriert einströmenden Brennstoffs auf alle Reformerröhren gleichmäßig zu verteilen und somit die zur Verfügung stehenden Reaktionsräume bestmöglich zu nutzen.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann ein erster der Strukturabschnitte zum Einstellen einer ersten Temperaturzone zum Vorheizen des durch den Brennstoffeinlass eintretenden Brennstoffs oder Brennstoffgemisches auf eine erste Zieltemperatur vorgesehen sein. Ferner kann bevorzugt ein zweiter der Strukturabschnitte zum Einstellen einer zweiten Temperaturzone für das Umsetzen des Reformierprozesses bei einer zweiten Zieltemperatur vorgesehen sein. Hierbei kann es von Vorteil sein, wenn der Wärmeträgereinlass entlang der Reformierrichtung in der ersten Temperaturzone und der Wärmeträgerauslass entlang der Reformierrichtung in der zweiten Temperaturzone angeordnet ist. Alternativ ist es auch vorstellbar, dass der Wärmeträgereinlass entlang der Reformierrichtung in der zweiten Temperaturzone angeordnet ist und der Wärmeträgerauslass entlang der Reformierrichtung in der ersten Temperaturzone angeordnet ist.

Ferner bevorzugt können der Wärmeträgereinlass und der Wärmeträgerauslass an bezüglich der Reformerröhren gegenüberliegenden Seiten des Reformergehäuses vorgesehen sein. Alternativ oder zusätzlich können der Wärmeträgereinlass und der Wärmeträgerauslass an bezüglich der Reformierrichtung gegenüberliegenden Enden des Reformergehäuses vorgesehen sein. Bevorzugt kann der Wärmeträgereinlass an einem brennstoffeinlassseitigen oder an einem brennstoffauslassseitigen Abschnitt des Reformergehäuses vorgesehen sein.

Dadurch wird es möglich, die von dem Wärmeträger an den Brennstoff übertragbare Wärmemenge sowie die Aufheiz- und Reaktionsgeschwindigkeit lokal zu steuern, so

dass ein Bereich des Reformers zum Vorheizen und ein weiterer Bereich des Reformers für das Reformieren bereitgestellt werden kann. Durch die spezielle Anordnung von dem Wärmeträgereinlass und dem Wärmeträgerauslass kann die zur Verfügung stehende Wärmemenge effektiv in dem Reformer genutzt werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann oder können wenigstens eine einzelne, einzelne oder jede der Reformerröhren eine der nachfolgenden Füllungsvarianten mit einer oder mehreren Formkörperschüttungen aufweisen:

So kann bspw. der brennstoffeinlassseitige Röhrenabschnitt eine inaktive Formkörperschüttung und wenigstens ein brennstoffauslassseitiger Röhrenabschnitt eine aktive Formkörperschüttung aufweisen. In einer bevorzugten Weiterbildung der vorgenannten Konfiguration kann dabei die aktive Formkörperschüttung derart vorgesehen sein, dass diese sich direkt an die inaktive Formkörperschüttung anschließt.

Somit können Reaktionsprozesse in einem für das Reformieren (die Reformierung) Bereich unterstützt und beschleunigt werden. Die im Bereich der Aufheizzone möglicherweise unerwünscht ablaufenden Reaktionsprozesse können hingegen bspw. unterbunden, gehemmt oder wenigstens verringert werden.

Alternativ oder zusätzlich ist es auch vorstellbar, dass der brennstoffeinlassseitige Röhrenabschnitt eine aktive Formkörperschüttung aufweist und ein brennstoffauslassseitiger Röhrenabschnitt ebenfalls eine aktive Formkörperschüttung aufweist. Dabei kann eine inaktive Formkörperschüttung in einem Zwischenabschnitt der Reformerröhre, welcher zwischen dem brennstoffeinlassseitigen und dem brennstoffauslassseitigen Röhrenabschnitt vorgesehen ist, vorgesehen sein.

Somit wird es möglich, eine Änderung der Zusammensetzung des Brennstoffs unmittelbar nach dessen Eintritt in den Reformer hervorzurufen, diese weitgehend beizubehalten und erst kurz vor dem Austritt aus dem Reformer durch eine aktive Beeinflussung der Reaktionsabläufe zu ändern.

Alternativ oder zusätzlich kann der brennstoffeinlassseitige Röhrenabschnitt eine aktive Formkörperschüttung aufweisen, welche sich wenigstens teilweise bis in einen Abschnitt der Reformerröhre an dem brennstoffauslassseitigen Ende der Reformerröhre erstrecken kann.

Alternativ oder zusätzlich kann der brennstoffeinlassseitige Röhrenabschnitt eine aktive Formkörperschüttung aufweisen, welche sich wenigstens teilweise bis in einen Abschnitt der Reformerröhre an dem brennstoffauslassseitigen Ende der Reformerröhre erstreckt. Dabei kann wenigstens ein brennstoffauslassseitiger Röhrenabschnitt eine inaktive Formkörperschüttung aufweisen, welche sich bevorzugt direkt an die aktive Formkörperschüttung anschließt.

Somit wird es möglich, die Zusammensetzung des Brennstoffs ab Brennstoff Eintritt wahlweise nur abschnittsweise oder entlang der gesamten Länge der Reformerröhre bevorzugt thermisch und/oder chemisch zu verändern.

Bevorzugt kann dabei die Befüllung der Reformerröhren und Wahl der Formkörper auch in Abhängigkeit des sich einstellenden Temperaturprofils erfolgen. So können Bereiche des Reformers mit ohnehin günstigen oder ausreichenden Prozessbedingungen wahlweise von der Befüllung ausgespart werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung können der Brennstoffeinlass und der Brennstoffauslass an bezüglich der Reformierrichtung gegenüberliegenden Enden des Reformergehäuses vorgesehen werden.

Somit wird es möglich, den für den Reformer notwendigen Bauraum zu verringern.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem zur Erzeugung von elektrischem Strom. Das Brennstoffzellensystem weist dabei den oben beschriebenen erfindungsgemäßen Reformer auf.

Ferner weist das Brennstoffzellensystem einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und mit einem Kathodenabschnitt auf. Dabei sind eine Vielzahl von Brennstoffzellen stapelförmig im Brennstoffzellenstapel angeordnet. Dabei weist der Anodenabschnitt einen Anodenzuführabschnitt zum Zuführen von Anodenzuführgas und einen Anodenabführabschnitt zum Abführen von Anodenabgas auf. Der Kathodenabschnitt weist einen Kathodenzuführabschnitt zum Zuführen von Kathodenzuführgas und einen Kathodenabführabschnitt zum Abführen von Kathodenabgas auf. Das Brennstoffzellensystem weist ferner einen Brennstoffpfad auf, der ausgestaltet ist, um dem Brennstoffzellenstapel von dem Brennstoffauslass des Reformers das von dem Reformer reformierte wasserstoffhaltige Gas zuzuführen. Bevorzugt kann dabei das wasserstoffhaltige Gas das Anodenzuführgas, welches über den Anodenzuführabschnitt dem Brennstoffzellenstapel zuführbar ist.

Das Brennstoffzellensystem weist zudem einen Abgaspfad auf, der ausgestaltet ist, um dem Reformer in dem Brennstoffzellenstapel erzeugtes Abgas über den Wärmeträgereinlass als den Wärmeträger zuzuführen. Bevorzugt kann dabei das über den Kathodenabführabschnitt abgeführte Kathodenabgas der Wärmeträger sein. Bevorzugt kann das Brennstoffzellensystem in dem Reformer eine erste Temperaturzone mit einem Temperaturbereich von 180°C bis 650°C, bevorzugt 400°C, aufweisen. Alternativ oder zusätzlich kann das Brennstoffzellensystem in dem Reformer eine zweite Temperaturzone mit einem Temperaturbereich von über 250°C, bevorzugt von 440°C bis 550°C aufweisen. Bevorzugt kann der Temperaturbereich einer Temperaturzone von dem Katalysatormaterial der katalytisch beschichteten Oberflächen der Reformerröhren abhängig sein. Insbesondere kann durch das Katalysatormaterial der Reformerröhren ein Reaktionstemperaturzielfenster vorgegeben sein, welches mit den Temperaturzonen korrespondiert. Bevorzugt können der Brennstoff oder das Brennstoffgemisch in dem Reformer eine Strömungsrichtung aufweisen, die wenigstens teilweise oder wenigstens überwiegend quer oder senkrecht zur Strömungsrichtung des Wärmeträgers verläuft. Alternativ oder zusätzlich kann der Brennstoff oder das Brennstoffgemisch zu dem Wärmeträger im Gegenstrom oder im Gleichstrom geführt sein.

Dadurch wird es möglich, die vorgenannten Vorteile des Reformers auch in dem Brennstoffsystem zu erreichen. Insbesondere ist es möglich, die Effizienz des Brennstoffsystems durch die Verwendung eines in dem Brennstoffzellenstapel erzeugten Abgases zur Wärmeeinbringung in den Reformer zu steigern und damit die Verwendung externer Wärmequellen oder von Nachbrennern zu vermeiden.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reformieren eines Brennstoffs oder Brennstoffgemisches für eine Brennstoffzelle. So wird in dem Verfahren der oben beschriebene Reformer oder das oben beschriebene Brennstoffzellensystem bereitgestellt. Dabei wird wenigstens einer der Reformerröhren an wenigstens einem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt mit einer Formkörperschüttung, befüllt. Zu dem Brennstoffeinlass des Reformers wird ein Brennstoff oder ein Brennstoffgemisch geleitet. Ein Wärmeträger wird zu dem Wärmeträgereinlass des Reformers geleitet. Eine erste Zieltemperatur des Brennstoffs oder des Brennstoffgemisches wird in einer ersten Temperaturzone als

Vorheizzone in einem ersten Strukturabschnitt der Wärmeleitstruktur des Reformers eingestellt. Dabei weist diese erste Zieltemperatur vorzugsweise einen Temperaturbereich von 180°C bis 650°C, bevorzugt 400°C, auf. Eine zweite Zieltemperatur zum Durchführen des Reformierprozesses wird in einer zweiten Temperaturzone in einem zweiten, in der Reformierrichtung stromabwärtigen Strukturabschnitt der Wärmeleitstruktur des Reformers eingestellt. Dabei weist die zweite Zieltemperatur vorzugsweise einen Temperaturbereich von über 250°C, bevorzugt von 440°C bis 550°C auf. Das wasserstoffhaltige Gas wird aus dem Reformer über den Brennstoffauslass ausgeleitet. Bevorzugt erfolgt dabei das Befüllen der Reformerröhre(n) vor dem Einleiten des Brennstoffs oder des Brennstoffgemisches über den Brennstoffeinlass.

Auch mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können sämtliche der vorgenannten Vorteile des Reformers erreicht werden, so dass auf eine erneute Aufzählung an dieser Stelle verzichtet wird.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in der, unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben werden.

Fig. 1 zeigt eine schematische Querschnittsdarstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Reformers.

Fig. 2 zeigt schematisch einen Wärme- und Stofffluss in dem Reformer aus Figur 1.

Fig. 3A-3E zeigen schematische Querschnittsdarstellungen weiterer Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Reformers.

Fig.4A zeigt schematisch eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems.

Fig.4B zeigt schematisch eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems.

Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft einen Reformers 10. Die Figuren 1 und 3A bis 3F zeigen hierzu jeweils unterschiedliche Ausführungsformen. Figur 2 verdeutlicht die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Reformers 10 anhand von

Stoff- und Wärme-flüssen. Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem 100, welches in den Figuren 4A und 4B beispielhaft dargestellt ist.

Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Reformers 10.

Der Reformer 10 ist zur Umwandlung eines Reaktandengasgemisches in ein Reformat geeignet und/oder eingerichtet. Insbesondere ist der Reformer 10 dazu eingerichtet, einen Brennstoff oder ein Brennstoffgemisch BS (im Folgenden kurz: der Brennstoff BS) in ein wasserstoffhaltiges Gas WG umzuwandeln, um so bspw. ein Brennstoffzellensystem, wie das unten beschriebene erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem 100, mit gasförmigem Wasserstoff zu versorgen. Bei dem Reformer 10 kann es sich bspw. um einen Röhrenreformer handeln. Der Brennstoff oder das Brennstoffgemisch BS kann bspw. neben dem eigentlichen Brennstoff auch Luft und/oder Wasserdampf aufweisen. Der Brennstoff kann bspw. Methan, Ethanol, Erd-, Bio-, Kohle- oder Klärgas sein, wobei auch Abgase aus chemischen Prozessen können als Brennstoff verwendet werden und es sich hierbei um keine abschließende Aufzählung handelt.

Der Reformer 10 weist eine Vielzahl (bspw. 30) sich gleichermaßen längs erstreckender Reformerröhren 12 auf, in denen im Betrieb der Brennstoff BS geleitet und reformiert wird. Die Reformerröhren 12 können hierzu wenigstens abschnittsweise an ihrer Innenfläche einen Katalysator auf einer Katalysatorträgerstruktur oder eine katalytisch wirksame Beschichtung aufweisen. Die Katalysatorbeschichtung kann als katalytische Oberfläche der Reformerröhren 12 von einem Trägermaterial bereitgestellt sein. Durch die Längserstreckung der Reformerröhren 12 kann eine Reformierrichtung RR vorgegeben werden, mit der bspw. eine Prozessrichtung des Reformierprozesses beschreibbar ist. Die Reformerröhren 12 sind an ihren jeweiligen Enden fluidtechnisch mit einem Brennstoffeinlass 11 und einem Brennstoffauslass 13 verbunden. So kann der Brennstoff BS an einem Ende in die Reformerröhren 12 eintreten und am anderen, gegenüberliegenden Ende die Reformerröhren 12 als reformiertes wasserstoffhaltiges Gas WG verlassen. Die Strömungsrichtung des Brennstoffs BS ist in den Figuren jeweils durch Pfeile in den Reformerröhren 12 angedeutet. Zur besseren Verteilung des Brennstoffs BS auf die Reformerröhren 12 können an dem Brennstoffeinlass 11 Verteilerstrukturen 111, 112, wie Lochbleche, angeordnet sein.

Der Reformer 10 weist ferner ein Reformergehäuse 14 auf. Die Reformerröhren 12 sind in dem Reformergehäuse 14 bevorzugt parallel zueinander angeordnet, bspw. als Rohrbündel, wie in Figur 1 beispielhaft dargestellt. Das Reformergehäuse 14 und die Reformerröhren 12 können integral (also bspw. einstückig) miteinander vorgesehen sein. Das Reformergehäuse 14 kann bspw. eine Wärmeisolierung aufweisen.

Der Reformer 10 weist eine Wärmeleitstruktur 15 auf, um Reformierprozesswärme an die Reformerröhren 12 bereitzustellen, indem von der Wärmeleitstruktur 15 ein Strömungsweg eines Wärmeträgers WT vorgegeben wird. Bevorzugt sind hierbei der Wärmeträger WT und der Brennstoff BS fluidtechnisch voneinander getrennt. Der Wärmeträger WT wird an einem bevorzugt brennstoffeinlassseitigen Abschnitt des Reformergehäuses 14 über einen Wärmeträgereinlass 16 (als „heißer“ Wärmeträger) eingeleitet und an einem brennstoffauslassseitigen Abschnitt des Reformergehäuses 14 (als „kalter“ Wärmeträger WT) über einen Wärmeträgerauslass 17 wieder ausgeleitet. Bevorzugt kann der Wärmeträger WT ein stark erhitztes (bspw. 850°C) Gas oder Gas-Flüssig-Gemisch sein, wie bspw. ein Kohlendioxid- und/oder Wasserstoff-haltiges Gasgemisch. Bevorzugt sind der Wärmeträgereinlass 16 und der Wärmeträgerauslass 17 an Abschnitten einer Mantelfläche des Reformergehäuses 14, also bspw. seitlich der jeweiligen Längserstreckungsenden des Reformergehäuses 14, vorgesehen. Die Strömungsrichtung des Wärmeträgers WT durch den Reformer 10 ist exemplarisch in den Figuren durch Pfeile mit unterbrochener Linie dargestellt. Bevorzugt haben der Wärmeträger WT und der Brennstoff BS zueinander senkrechte Strömungsrichtungen.

Um den Wärmeträger WT in dem Reformergehäuse 14 zuleiten und dabei die Reformerröhren 12 definiert zu umströmen, weist die Wärmeleitstruktur 15 wenigstens zwei Strukturabschnitte 151, 152 auf. Natürlich ist es je nach Anwendung auch vorstellbar, mehr als nur zwei solcher Strukturabschnitte vorzusehen. Die Strukturabschnitte 151, 152 erstrecken sich dabei längs der Reformierrichtung RR. Bevorzugt sind die Strukturabschnitte 151, 152 dabei unmittelbar nebeneinander angeordnet, so dass der Brennstoff BS entlang der Reformierrichtung RR nacheinander erst einen ersten der Strukturabschnitte 151 und dann (unmittelbar) einen zweiten der Strukturabschnitte 152 passiert. Die Strömungswege des Wärmeträgers WT sind dabei derart in den Strukturabschnitten 151, 152 vorgesehen,

dass sich in jedem der Strukturabschnitte 151, 152 eine sich (mit dem jeweiligen Strukturabschnitt 151, 152) längs erstreckende Temperaturzone VZ, RZ zur Wärmeübertragung an den Brennstoff BS ausbilden kann. Die hierbei ausbildbaren Temperaturzonen VZ, RZ sind voneinander verschieden, so dass bspw. der Brennstoff BS bevorzugt zwei verschiedenen Temperaturgefällen oder Wärmequellen zum Erreichen unterschiedlicher Zieltemperaturen ausgesetzt werden kann. So kann bspw. eine erste Temperaturzone VZ zum Vorheizen des durch den Brennstoffeinlass 11 eintretenden Brennstoffs BS auf eine erste Zieltemperatur in dem ersten Strukturabschnitt 151 vorgesehen werden. Zudem kann bspw. eine zweite Temperaturzone RZ für das Umsetzen des Reformierprozesses in dem zweiten Strukturabschnitt 152 bei einer zweiten Zieltemperatur vorgesehen werden. Für eine derartige Anordnung kann es dabei insbesondere von Vorteil sein, wenn der Wärmeträgereinlass 16 in einem Bereich der ersten Temperaturzone VZ und der Wärmeträgerauslass 17 in einem Bereich der zweiten Temperaturzone RZ angeordnet ist. Zur Strömungspfadvorgabe können in dem Reformergehäuse 14 Sperr- oder Trägerelemente 155, 156 vorgesehen sein, mittels derer der Fluss des Wärmeträgers WT in dem Reformergehäuse 14 gesteuert werden kann. Auch ist es vorstellbar, den Fluss des Wärmeträgers WT in den jeweiligen Strukturabschnitten 151, 152 durch Wärmeträgerpfade zu lenken, so dass der Wärmeträger WT bspw. im Querstrom und/oder im Kreuzstrom geführt wird.

Anhand des Wärme- und Stoffflusses durch den Reformer 10 in Figur 2 können die mit dem Reformer 10 umsetzbaren Verfahrensschritte näher beschrieben werden. So kann der Brennstoff BS bspw. als Dampf-Ethanol-Gasgemisch mit einer Temperatur von 180°C über den Brennstoffeinlass 11 in die Reformerröhren 12 und in einen Bereich innerhalb des ersten Strukturabschnitts 151 geleitet werden. Dort kann der Brennstoff BS derart von dem Wärmeträger WT umströmt sein, dass von dem Brennstoff eine Temperatur in einem Bereich von wenigstens 180°C bis 650°C erreicht wird. Dabei kann der Wärmeträger WT bspw. über den Wärmeträgereinlass 16 mit einer Temperatur von 850°C eingeleitet werden. Bevorzugt erreicht der Brennstoff BS das vom Brennstoffeinlass 11 abgewandte Ende des ersten Strukturabschnitts 151 mit einer ersten Zieltemperatur von etwa 650°C. Der Wärmeträger WT kann dabei bevorzugt den ersten Strukturabschnitt 151 mit einer Temperatur von etwa 660°C verlassen, wobei üblicherweise auch zu berücksichtigende Wärmeverluste  $Q_{151}$  in Relation zur Reformierungsenthalpie

auftreten können. Die erste Temperaturzone VZ oder der erste Strukturabschnitt 151 können daher als Vorheizzone VZ aufgefasst werden. Der derart vorgeheizte Brennstoff BS kann in dem zweiten Strukturabschnitt 152 reformiert werden, wobei der Wärmeträger WT seine Eingangstemperatur bspw. von etwa 660°C auf etwa 550°C reduziert. Auch in dem Reformierschritt können Wärmeverluste Q152 auftreten, welche ähnlich groß wie die Wärmeverluste Q151 sein können. Durch die Umströmung der Reformerröhren 12 mit dem Wärmeträger WT kann bevorzugt eine zweite Zieltemperatur von 440°C bis 500°C in dem Brennstoff BS erreicht werden, um eine vorteilhafte Brennstoffreformierung umzusetzen. Die zweite Temperaturzone RZ oder der zweite Strukturabschnitt 152 kann daher als Reformierzone RZ aufgefasst werden. Das reformierte wasserstoffhaltige Gas WG kann dabei den Reformer 10 über den Brennstoffauslass 13 mit einer Temperatur von bspw. 510°C verlassen und zu Brennstoffzellen geleitet werden.

Anhand dieser beispielhaften Verfahrensbeschreibung wird deutlich, dass ein Risiko besteht, dass der Brennstoff BS in der Vorheizzone VZ durch in den Reformerröhren 12 (unerwünschterweise) ablaufende chemische Prozesse außerhalb des Reaktionstemperaturfensters verändert wird. So kann es beispielsweise bei zu geringer Vorwärmung zu Kohlenstoffablagerung kommen und bei zu hoher Vorwärmung zu unkontrollierten Gasphasenreaktionen. Dadurch kann die Effektivität des Reformierprozesses in der Reformierzone RZ beeinträchtigt werden.

Die Erfindung adressiert die bspw. hierbei auftretenden Probleme, indem wenigstens eine der Reformerröhren 12 an wenigstens einem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt 121 mit einer Formkörperschüttung befüllt ist. Dies ist in den Figuren 1 und 3A bis 3F exemplarisch dargestellt. Bevorzugt kann die Formkörperschüttung 30 dabei eine Schütthöhe aufweisen, die mit einer Längserstreckung einer der Temperaturzonen VZ, RZ korrespondiert.

Bei der Formkörperschüttung 30 kann es sich um eine inaktive Katalysatorschüttung (im Folgenden bezeichnet als: inaktive Formkörperschüttung 31) oder eine aktive Katalysatorschüttung (im Folgenden bezeichnet als: aktive Formkörperschüttung 33) handeln. So können bspw. chemisch inerte Materialien, wie bspw. Aluminiumoxid oder Keramik, als inaktive Formkörperschüttung 31 verwendet werden. Als aktive Formkörperschüttung 33 kann bspw. eine definierte Menge (bspw. 90g/Reformerröhre) eines Nickel-basierten Katalysators verwendet werden.

Alternativ oder zusätzlich ist es hinsichtlich dieses Aspekts grundsätzlich möglich, dass die Reformerröhren 12 einen aktiven Katalysator in Form einer Beschichtung aufweisen. Die Formkörperschüttung 30 kann eine Vielzahl von Formkörpern mit Kugelform 32 aufweisen, wie bspw. in Figur 1 dargestellt (bspw. 15-20 Einzelkugeln pro Reformerröhre).

Die Figuren 3A bis 3F zeigen weitere Ausführungsformen des Reformers 10, welche ebenfalls die vorgenannten Merkmale aufweisen, so dass auf eine explizite Wiederholung derselben verzichtet werden kann, sondern lediglich Besonderheiten hervorgehoben werden.

Figur 3A zeigt die Reformerröhren 12 mit einer inaktiven Formkörperschüttung 31 in deren brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitten 121. Die Befüllhöhe der inaktiven Formkörperschüttung 31 erstreckt sich dabei bis zum Ende des ersten Strukturabschnitts 151. Unmittelbar an diese anschließend ist eine aktive Formkörperschüttung 33 in den jeweiligen Reformerröhren 12 vorgesehen, welche sich bis zu einem brennstoffauslassseitigen Röhrenabschnitt 122 erstrecken können. Dabei ist es auch vorstellbar, dass der Röhrenabschnitt 122 nicht vollständig gefüllt ist, so dass auch formkörperfreie Bereiche 34 vorsehbar sind. Bevorzugt können derartige formkörperfreie Bereiche 34 benachbart zu dem Wärmeträgerauslass 17 vorgesehen werden.

Figur 3B zeigt die Reformerröhren 12 mit einer aktiven Formkörperschüttung 31 jeweils in dem brennstoffeinlassseitigen 121 und brennstoffauslassseitigen Röhrenabschnitt 122. Dazwischen ist eine inaktive Formkörperschüttung 33 in einem Zwischenabschnitt 123 vorgesehen.

Die Figuren 3C und 3D zeigen die Reformerröhren 12 mit einer ausschließlich aktiven Formkörperschüttung 33. Diese erstreckt sich dabei jeweils wenigstens teilweise vollständig bis in den brennstoffauslassseitigen Röhrenabschnitt 122. So sind in Figur 3C oberhalb des Trägerelementes 156 formkörperfreie Bereiche 34 gleicher Längserstreckung (in der Reformerrichtung RR) vorgesehen. Im Unterschied hierzu weisen die Reformerröhren 12 in Figur 3D formkörperfreie Bereiche 34 auf, welche in Richtung des Wärmeträgerauslass 17 in ihrer Längserstreckung zunehmen. So kann bspw. eine Staffelung der Füllhöhe erreicht werden. Natürlich ist es auch vorstellbar, dass die Füllhöhe einer inaktiven Formkörperschüttung 31 eine Staffelung aufweist.

Die Figuren 3E und 3F zeigen den Reformer 10 mit einer aktiven Formkörperschüttung 31 in dem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt 121, welche sich wenigstens teilweise bis in einen Abschnitt der Reformerröhre 12 an dem brennstoffauslassseitigen Ende der Reformerröhre 12 erstreckt. Unmittelbar daran anschließend ist eine inaktive Formkörperschüttung 31 vorgesehen, welche sich bis zum brennstoffauslassseitigen Röhrenabschnitt 122 erstreckt. Dabei ist es natürlich auch vorstellbar, dass die aktive Formkörperschüttung 31 und/oder die inaktive Formkörperschüttung 32 jeweils eine Staffelung wie in Figur 3D gezeigt aufweisen. Zudem können einzelne der Reformerröhren 12 ebenfalls formkörperschüttfreie Bereiche 34 aufweisen.

Im Unterschied zu Figur 3E, wird in Figur 3F der Betrieb des Reformers 10 nicht im Gleichstrom von Wärmeträger WT und Brennstoff BS, sondern im Gegenstrom gezeigt. Figur 3F zeigt somit eine Gegenstrom-Variante zu den Figuren 3A bis 3E, in welcher der Wärmeträger WT im Gegenstrom zum Brennstoff BS geführt werden kann. Im Speziellen ist in Figur 3F der Wärmeträgereinlass 16 an einem brennstoffauslassseitigen Abschnitt des Reformers 10 oder des Reformergehäuses 14 vorgesehen. Hingegen ist der Wärmeträgerauslass 17 an einem brennstoffeinlassseitigen Abschnitt des Reformers 10 oder des Reformergehäuses 14 vorgesehen. In den Figuren 3A bis 3E ist diese Anordnung umgekehrt.

Mit einer derartigen Ausgestaltung kann eine Überhitzung oder thermische Zersetzung des katalytischen Trägermaterials, welches an der Oberfläche der Reformerröhren 12 vorgesehen sein kann, an einem Abschnitt der Reformerröhren 12 unmittelbar am Brennstoffeinlass 11 vermieden werden, da der Wärmeträger WT zunächst am Brennstoffauslass 13 eingeleitet wird. Ferner kann der thermische Wirkungsgrad durch diese Ausgestaltung verbessert werden.

Figur 4A und 4B zeigen jeweils ein Beispiel für ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem 100 zur Erzeugung von elektrischem Strom. Dieses weist den zuvor vorgestellten Reformer 10 sowie einen Brennstoffzellenstapel 50 mit einem Anodenabschnitt 51 und mit einem Kathodenabschnitt 52 auf, wobei eine Vielzahl von Brennstoffzellen stapelförmig im Brennstoffzellenstapel 50 angeordnet sind. Der Anodenabschnitt 51 weist dabei einen Anodenzuführabschnitt 511 zum Zuführen von Anodenzuführgas und einen Anodenabführabschnitt 512 zum Abführen von Anodenabgas auf. Der Kathodenabschnitt 52 weist einen

Kathodenzuführabschnitt 521 zum Zuführen von Kathodenzuführgas KZG und einen Kathodenabführabschnitt 522 zum Abführen eines Großteils des Kathodenabgas KAG auf. Der Brennstoffzellenstapel 50 und der Reformer 10 sind durch einen Brennstoffpfad 101 verbunden, der ausgestaltet ist, um das reformierte wasserstoffhaltige Gas WG über den Anodenzuführabschnitt 511 als das Anodenzuführgas zuzuführen. Der Brennstoffzellenstapel 50 und der Reformer 10 sind ferner über einen Abgaspfad 102 miteinander verbunden. Der Abgaspfad 102 ist ausgestaltet, um dem Reformer 10 in dem Brennstoffzellenstapel 50 erzeugtes Kathodenabgas KAG über den Wärmeträgereinlass 16 als den Wärmeträger WT zuzuführen. Somit wird eine Teilmenge des Kathodenabgas KAG als der Wärmeträger WT über einen Abgaspfad 102 zum Reformer 10 als Wärmequelle geführt. Eine weitere Teilmenge des Kathodenabgas KAG, welche bevorzugt einen größeren Anteil des Kathodenabgas KAG verglichen zu der Teilmenge des Wärmeträgers WT aufweist, kann zum Oxidationskatalysator (nicht dargestellt) der Brennstoffzelle 100 zur thermischen Umsetzung geführt werden.

In Figur 4A wird der Wärmeträger WT über den Wärmeträgereinlass 16 an einem brennstoffeinlassseitigen Abschnitt dem Reformer 10 zugeführt und über einen brennstoffauslassseitigen Abschnitt wieder abgeführt. Im Vergleich hierzu wird in Figur 4B der Wärmeträger WT über den an einem brennstoffauslassseitigen Abschnitt vorgesehenen Wärmeträgereinlass 16 als den Wärmeträger WT dem Reformer 10 zugeführt und über den an einem brennstoffauslassseitigen Abschnitt vorgesehenen Wärmeträgerauslass 17 wieder abgeführt. Figur 4B zeigt somit eine Gegenstrom-Variante zu Figur 4A, in welcher bspw. Kathodenwärme im Gegenstrom zum Anodenpfad geführt werden kann.

Ferner ist es grundsätzlich auch vorstellbar, für gewisse Brennstoffe BS eine Anodenabgasrezirkulation hin zum zugeführten Brennstoff BS zur thermischen Vorwärmung des Brennstoffs BS zu implementieren.

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 Erfindung zu verlassen.

So kann der Reformer 10 natürlich auch mehr als die zwei vorgenannten Temperaturzonen VZ, RZ aufweisen und entsprechend auch mit diesen korrespondierende Formkörperfüllungen aufweisen.

**Bezugszeichenliste**

|          |                                           |
|----------|-------------------------------------------|
| 10       | Reformer                                  |
| 11       | Brennstoffeinlass                         |
| 12       | Reformerröhren                            |
| 121      | brennstoffeinlassseitiger Röhrenabschnitt |
| 122      | brennstoffauslassseitiger Röhrenabschnitt |
| 123      | Zwischenabschnitt                         |
| 13       | Brennstoffauslass                         |
| 14       | Reformergehäuse                           |
| 15       | Wärmeleitstruktur                         |
| 151, 152 | Strukturabschnitte                        |
| 155, 156 | Trägerelemente                            |
| 16       | Wärmeträgereinlass                        |
| 17       | Wärmeträgerauslass                        |
| 111, 112 | Verteilerstruktur                         |
| 30       | Formkörperschüttung                       |
| 31       | inaktive Formkörperschüttung              |
| 32       | kugelförmige Formkörperschüttung          |
| 33       | aktive Formkörperschüttung                |
| 34       | formkörperschüttlfreier Bereich           |
| RR       | Reformierrichtung                         |
| VZ       | erste Temperaturzone, Vorheizzone         |
| RZ       | zweite Temperaturzone, Reformierzone      |
| 100      | Brennstoffzellensystem                    |
| 101      | Brennstoffpfad                            |
| 102      | Abgaspfad                                 |
| 50       | Brennstoffzellenstapel                    |
| 51       | Anodenabschnitt                           |
| 511      | Anodenzuführabschnitt                     |

|     |                                   |
|-----|-----------------------------------|
| 512 | Anodenabführabschnitt             |
| 52  | Kathodenabschnitt                 |
| 521 | Kathodenzuführabschnitt           |
| 522 | Kathodenabführabschnitt           |
| BS  | Brennstoff oder Brennstoffgemisch |
| WG  | wasserstoffhaltiges Gas           |
| WT  | Wärmeträger                       |
| KAG | Kathodenabgas                     |
| KZG | Kathodenzuführgas                 |

### Patentansprüche

1. Reformer (10) zur Umwandlung von einem Brennstoff oder einem Brennstoffgemisch (BS) aus Brennstoff und Luft und/oder Wasserdampf in ein wasserstoffhaltiges Gas (WG) für ein Brennstoffzellensystem (100), aufweisend
  - eine Vielzahl von Reformerröhren (12) zum Leiten und Reformieren des Brennstoffs oder Brennstoffgemisches (BS), wobei die Reformerröhren (12) sich in einer Reformierrichtung (RR) längs zwischen einem Brennstoffeinlass (11) und einem Brennstoffauslass (13), an dem das wasserstoffhaltige Gas (WG) ausleitbar ist, erstrecken,
  - ein Reformergehäuse (14), in dem die Reformerröhren (12) angeordnet sind, gekennzeichnet durch
  - eine Wärmeleitstruktur (15) zur Vorgabe eines definierten Strömungsweges eines Wärmeträgers (WT) in dem Reformergehäuse (14) zur Bereitstellung von Reformierprozesswärme an die Reformerröhren (12), aufweisend
    - o einen Wärmeträgereinlass (16) zum Einleiten des Wärmeträgers (WT),
    - o einen Wärmeträgerauslass (17) zum Ausleiten des Wärmeträgers (WT), welcher an einem bezüglich des Wärmeträgereinlasses (16) in der Reformierrichtung (RR) entgegengesetzten Abschnitt des Reformergehäuses (14) vorgesehen ist, und
    - o wenigstens zwei sich in dem Reformergehäuse (14) längs der Reformierrichtung (RR) erstreckende Strukturabschnitte (151, 152), in denen eine Umströmung der Reformerröhren (12) mit dem Wärmeträger (WT) zur Ausbildung definierter sich längs erstreckender Temperaturzonen (VZ, RZ) vorgesehen ist, wobei wenigstens zwei unterschiedliche Temperaturzonen (VZ, RZ) ausbildbar sind, und

wenigstens eine der Reformerröhren (12), welche wenigstens in einem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt (121) eine Formkörperschüttung (30) aufweist.
2. Reformer (10) gemäß Anspruch 1, wobei wenigstens die Formkörperschüttung (30) in dem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt (121) eine Schütthöhe

aufweist, die mit einer Längserstreckung einer der Temperaturzonen (VZ, RZ) korrespondiert.

3. Reformer (10) gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Formkörperschüttung (30) eine inaktive Katalysatorschüttung als inaktive Formkörperschüttung (31) und/oder eine aktive Katalysatorschüttung als aktive Formkörperschüttung (33) aufweist.
4. Reformer (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Formkörperschüttung (30) eine Vielzahl von Formkörpern mit einer Tablettenform und/oder einer Kugelform (32) aufweist, wobei bevorzugt die Kugelform (32) einen Durchmesser im Bereich von 4mm bis 15mm aufweist, und/oder wobei bevorzugt die Formkörper chemisch inerte Keramikugeln sind.
5. Reformer (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens einer der Strukturabschnitte (151, 152) entlang der Reformierrichtung (RR) nebeneinander angeordnete Trägerelemente (155, 156) aufweist, in denen oder zwischen denen der Wärmeträger (WT) führbar ist.
6. Reformer (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Vielzahl von Wärmeträgerpfaden in wenigstens einem der Strukturabschnitte (151, 152), oder bevorzugt, sofern vorhanden, in den Trägerelementen (155, 156), vorgesehen ist, wobei die Wärmeträgerpfade derart angeordnet sind, dass der Wärmeträger (WT) im Querstrom und/oder im Kreuzstrom führbar ist.
7. Reformer (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei an einem Abschnitt des Reformers (10), welcher zwischen dem Brennstoffeinlass (11) und einem brennstoffeinlassseitigen Ende von wenigstens einer der Reformerröhren (12) vorgesehen ist, eine Verteilerstruktur (111, 112) angeordnet ist, um den Brennstoff oder das Brennstoffgemisch (BS), welches im Betrieb durch den

Brennstoffeinlass (11) einströmt, bevorzugt gleichmäßig auf die Reformerröhren (12) aufzuteilen.

8. Reformer (10) gemäß Anspruch 7, wobei die Verteilerstruktur (111, 112) ein oder mehrere Lochbleche aufweist, wobei bevorzugt die mehreren Lochbleche in der Reformierrichtung (RR) gestapelt sind und wobei bevorzugt benachbarte Lochbleche eine in der Reformierrichtung (RR) gesehen zueinander unterschiedliche Lochanordnung aufweisen.
9. Reformer (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein erster der Strukturabschnitte (151) zum Einstellen einer ersten Temperaturzone (VZ) zum Vorheizen des durch den Brennstoffeinlass (11) eintretenden Brennstoffs oder Brennstoffgemisches (BS) auf eine erste Zieltemperatur vorgesehen ist, und ein zweiter der Strukturabschnitte (152) zum Einstellen einer zweiten Temperaturzone (RZ) für das Umsetzen des Reformierprozesses bei einer zweiten Zieltemperatur vorgesehen ist, wobei bevorzugt der Wärmeträgereinlass (16) entlang der Reformierrichtung (RR) in der ersten Temperaturzone (VZ) angeordnet ist und der Wärmeträgerauslass (17) entlang der Reformierrichtung (RR) in der zweiten Temperaturzone (RZ) angeordnet ist oder wobei bevorzugt der Wärmeträgereinlass (16) entlang der Reformierrichtung (RR) in der zweiten Temperaturzone (VZ) angeordnet ist und der Wärmeträgerauslass (17) entlang der Reformierrichtung (RR) in der ersten Temperaturzone (RZ) angeordnet ist.
10. Reformer (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wahlweise wenigstens einzelne oder jede der Reformerröhren (12) aufweisen
  - eine inaktive Formkörperschüttung (31) in dem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt (121), sowie eine aktive Formkörperschüttung (33) in wenigstens einem brennstoffauslassseitigen Röhrenabschnitt (122), wobei bevorzugt die aktive Formkörperschüttung (31) sich direkt an die inaktive Formkörperschüttung (33) anschließt; oder
  - eine aktive Formkörperschüttung (31) in dem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt (121), eine aktive Formkörperschüttung (31) in einem

- brennstoffauslassseitigen Röhrenabschnitt (122), sowie eine inaktive Formkörperschüttung (33) in einem Zwischenabschnitt (123) der Reformerröhre, welcher zwischen dem brennstoffeinlassseitigen (121) und dem brennstoffauslassseitigen Röhrenabschnitt (122) vorgesehen ist; oder
- eine aktive Formkörperschüttung (31) in dem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt (121), welche sich wenigstens teilweise bis in einen Abschnitt der Reformerröhre (12) an dem brennstoffauslassseitigen Ende der Reformerröhre (12) erstreckt; oder
  - eine aktive Formkörperschüttung (31) in dem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt (121), welche sich wenigstens teilweise bis in einen Abschnitt der Reformerröhre (12) an dem brennstoffauslassseitigen Ende der Reformerröhre (12) erstreckt, und eine inaktive Formkörperschüttung (31) in wenigstens einem brennstoffauslassseitigen Röhrenabschnitt (122), wobei bevorzugt die inaktive Formkörperschüttung (33) sich direkt an die aktive Formkörperschüttung (31) anschließt.

11. Reformer (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Wärmeträgereinlass (16) und der Wärmeträgerauslass (17) an bezüglich der Reformerröhren (12) gegenüberliegenden Seiten des Reformergehäuses (14) und/oder an bezüglich der Reformerrichtung (RR) gegenüberliegenden Enden des Reformergehäuses (14) vorgesehen sind, und/oder

wobei der Wärmeträgereinlass (16) an einem brennstoffeinlassseitigen oder an einem brennstoffauslassseitigen Abschnitt des Reformergehäuses (14) vorgesehen ist.

12. Reformer (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Brennstoffeinlass (11) und der Brennstoffauslass (13) an bezüglich der Reformerrichtung (RR) gegenüberliegenden Enden des Reformergehäuses (14) vorgesehen sind.

13. Brennstoffzellensystem (100) zur Erzeugung von elektrischem Strom, aufweisend

- einen Reformer (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,

- einen Brennstoffzellenstapel (50) mit einem Anodenabschnitt (51) und mit einem Kathodenabschnitt (52), wobei eine Vielzahl von Brennstoffzellen stapelförmig im Brennstoffzellenstapel (50) angeordnet sind,
  - wobei der Anodenabschnitt (51) einen Anodenzuführabschnitt (511) zum Zuführen von Anodenzuführgas und einen Anodenabführabschnitt (512) zum Abführen von Anodenabgas aufweist, und
  - wobei der Kathodenabschnitt (52) einen Kathodenzuführabschnitt (521) zum Zuführen von Kathodenzuführgas (KZG) und einen Kathodenabführabschnitt (522) zum Abführen von Kathodenabgas (KAG) aufweist,
- einen Brennstoffpfad (101), der ausgestaltet ist, um dem Brennstoffzellenstapel (50) von dem Brennstoffauslass (13) des Reformers (10) das von dem Reformer (10) reformierte wasserstoffhaltige Gas (WG) bevorzugt über den Anodenzuführabschnitt (511) als das Anodenzuführgas zuzuführen, sowie
- einen Abgaspfad (102), der ausgestaltet ist, um dem Reformer (10) in dem Brennstoffzellenstapel (50) erzeugtes Abgas, bevorzugt das über den Kathodenabführabschnitt (522) abgeführte Kathodenabgas (KAG), über den Wärmeträgereinlass (16) als den Wärmeträger (WT) zuzuführen.

14. Brennstoffzellensystem (100) gemäß Anspruch 13, wobei der Brennstoff oder das Brennstoffgemisch (BS) in dem Reformer (10) eine Strömungsrichtung aufweist, die wenigstens teilweise oder überwiegend quer, bevorzugt senkrecht, zur Strömungsrichtung des Wärmeträgers (WT) in dem Reformer (10) verläuft, und/oder

wobei der Brennstoff oder das Brennstoffgemisch (BS) zu dem Wärmeträger (WT) im Gegenstrom oder im Gleichstrom geführt ist.

15. Verfahren zum Reformieren eines Brennstoffs oder Brennstoffgemisches (BS) für eine Brennstoffzelle, aufweisend:

- Bereitstellen eines Reformers (10) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12;
- Leiten eines Brennstoffs oder eines Brennstoffgemisches (BS) zu dem Brennstoffeinlass (11) des Reformers (10);

- Leiten eines Wärmeträgers (WT) zu dem Wärmeträgereinlass (16) des Reformers (10);
- Einstellen einer ersten Zieltemperatur des Brennstoffs oder des Brennstoffgemisches (BS) in einer ersten Temperaturzone (VZ) als Vorheizzone in einem ersten Strukturabschnitt (151) der Wärmeleitstruktur (15) des Reformers (10), wobei die erste Zieltemperatur einen Temperaturbereich von 180°C bis 650°C, bevorzugt 400°C, aufweist, und
- Einstellen einer zweiten Zieltemperatur des Brennstoffs oder des Brennstoffgemisches (BS) in einer zweiten Temperaturzone (RZ) zum Durchführen des Reformierprozesses in einem zweiten, in der Reformierrichtung (RR) stromabwärtigen Strukturabschnitt (152) der Wärmeleitstruktur (15) des Reformers (10), wobei die zweite Zieltemperatur einen Temperaturbereich von über 250°C, bevorzugt von 440°C bis 550°C aufweist;
- Ausleiten des wasserstoffhaltigen Gases (WG) aus dem Reformer (10) über den Brennstoffauslass (13);

gekennzeichnet durch

- Befüllen wenigstens einer der Reformerröhren (12) an wenigstens einem brennstoffeinlassseitigen Röhrenabschnitt (121) mit einer Formkörperschüttung (30).

1/6

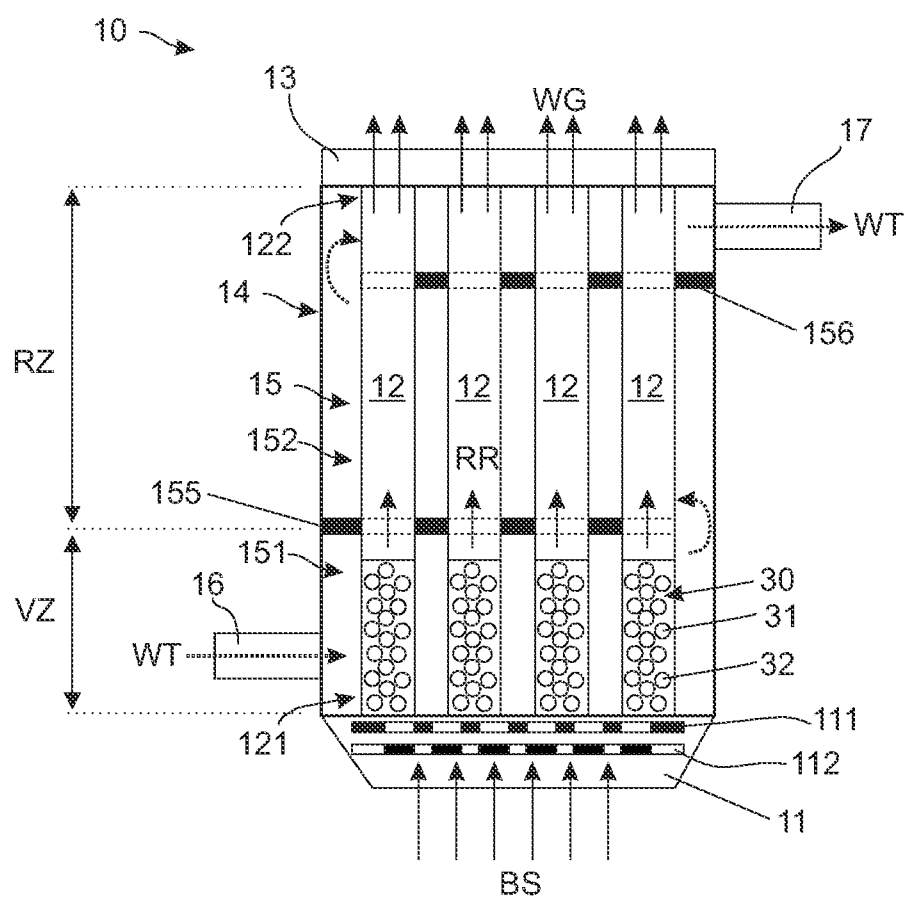


Fig. 1

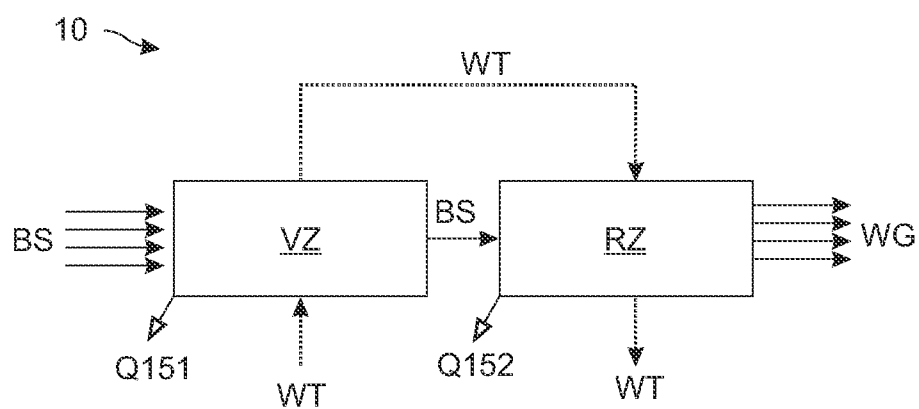


Fig. 2

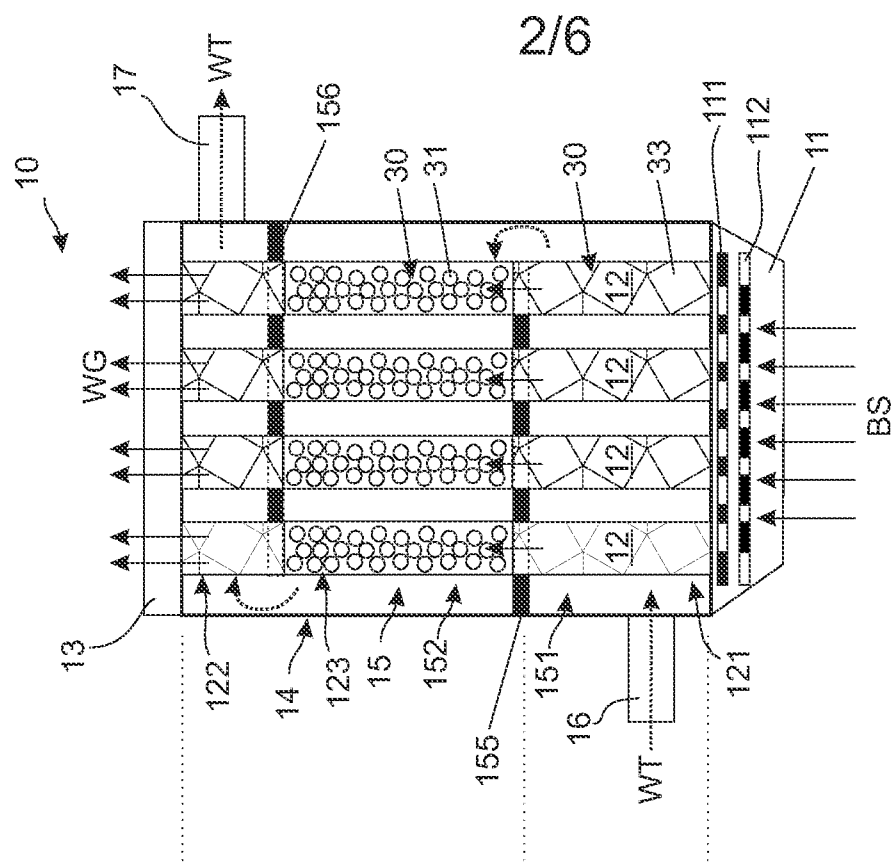


Fig. 3B

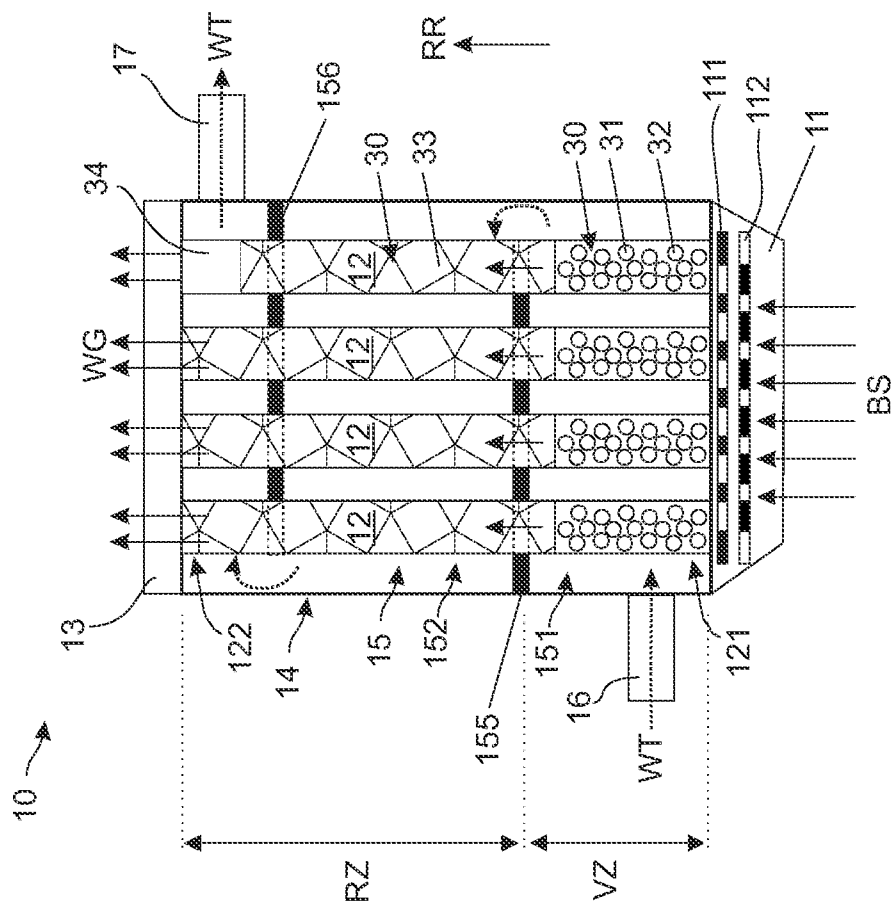


Fig. 3A

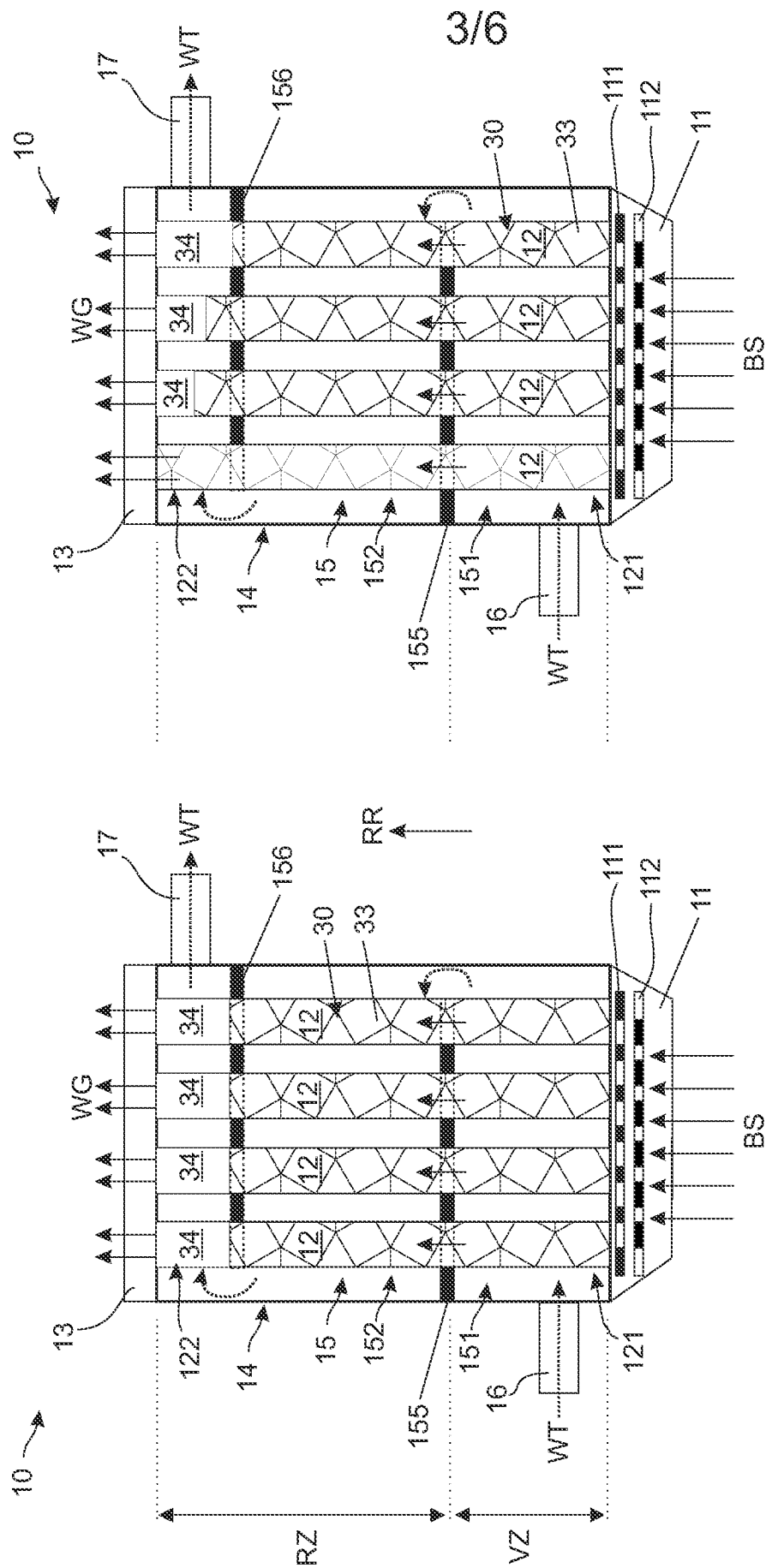


Fig. 3D

Fig. 3C

4/6

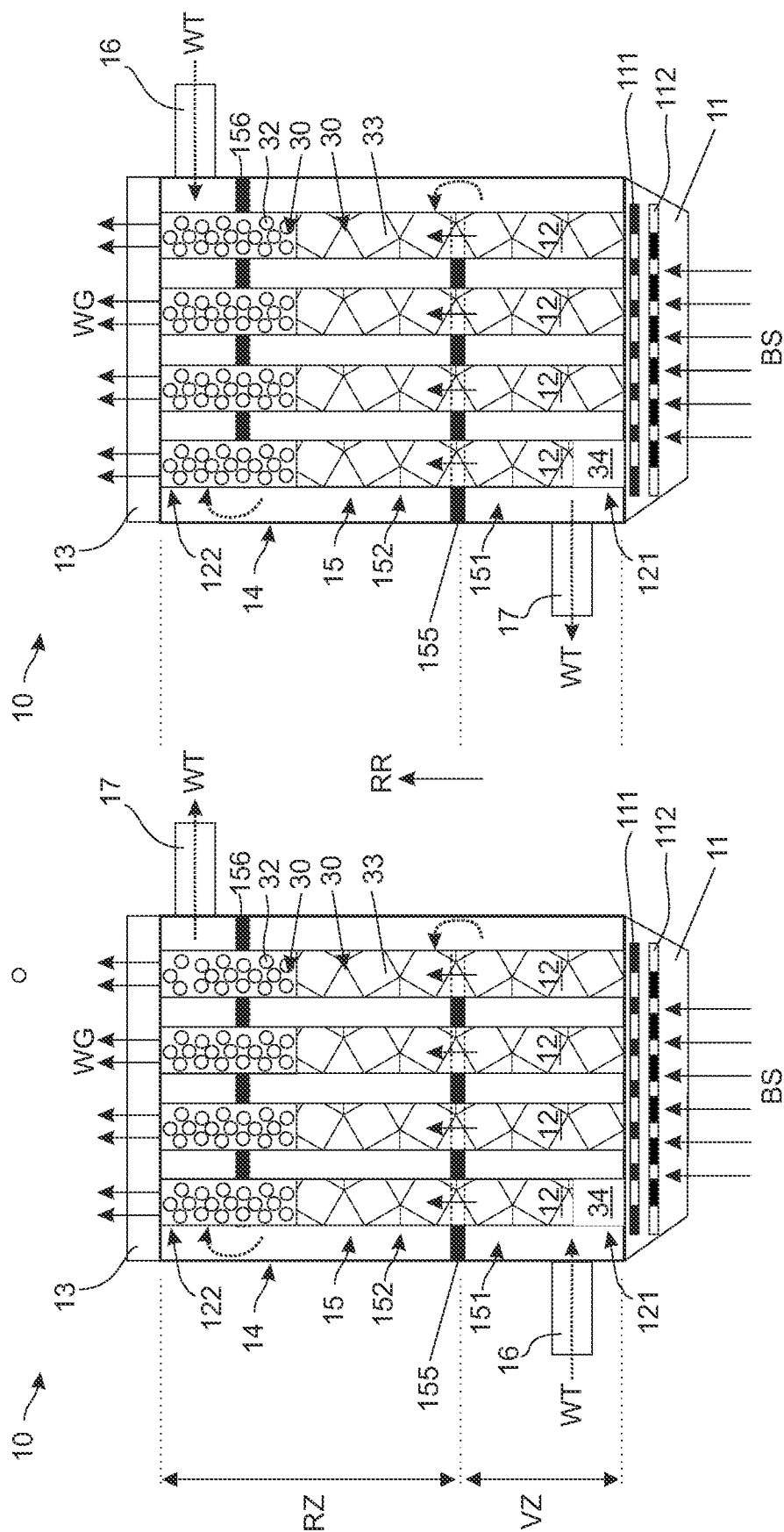


Fig. 3F

Fig. 3E

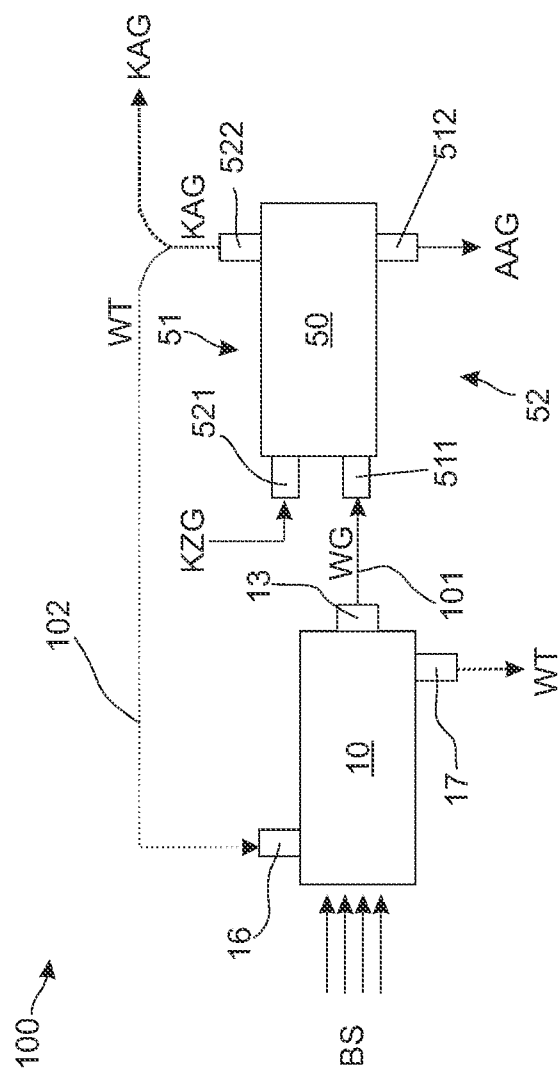


Fig. 4A

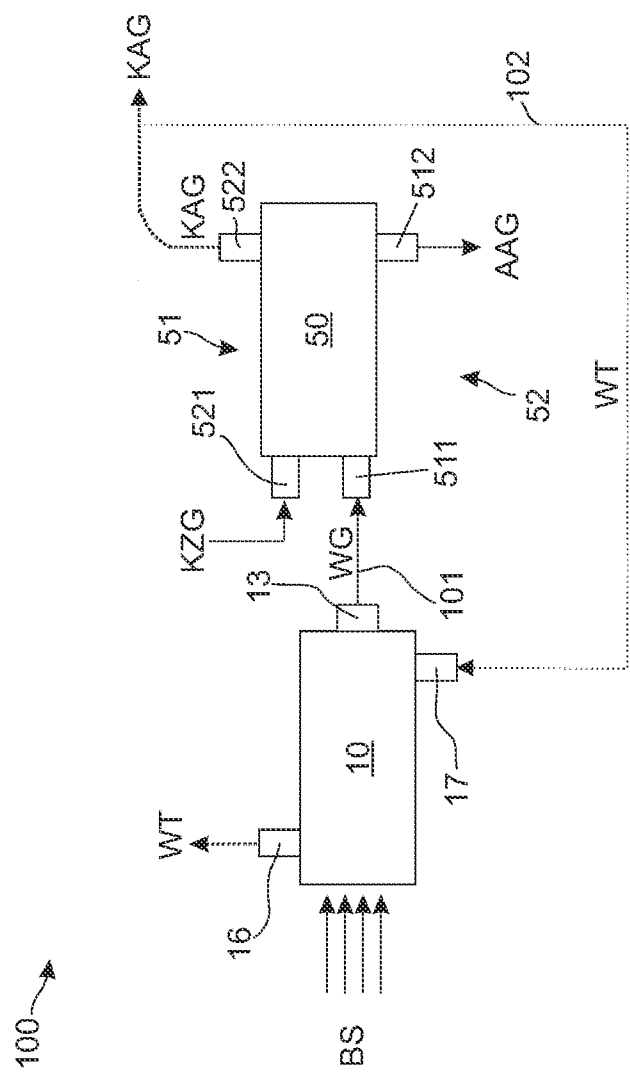


Fig. 4B

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:  
**H01M 8/0612** (2016.01); **C01B 3/26** (2006.01); **C01B 3/38** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:  
**H01M 8/0612** (2016.02); **C01B 3/26** (2013.01); **C01B 3/38** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):  
H01M, C01B

Konsultierte Online-Datenbank:  
EPODOC, WPI, Volltextpatentdatenbanken, Nichtpatentliteratur

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 13.07.2023 eingereichten Ansprüchen 1-15 erstellt.

| Kategorie <sup>*)</sup> | Bezeichnung der Veröffentlichung:<br>Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder),<br>Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich                               | Betreffend<br>Anspruch |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| X                       | CN 114430058 A (SHANDONG SCIENCE AND TECHNOLOGY UNIV)<br>03. Mai 2022 (03.05.2022) (übersetzt) [online] [abgerufen am<br>05.03.2024]. Abgerufen von EPOQUE: TXPMTCEA / EPO<br>gesamtes Dokument      | 1, 3-5, 7-<br>13, 15   |
| X                       | JP H01298652 A (FUJI ELECTRIC RES) 01. Dezember 1989<br>(01.12.1989) (übersetzt) [online] [abgerufen am 05.03.2024].<br>Abgerufen von EPOQUE: TXPMTJEA / EPO<br>Figuren 1 und 2, Beschreibung hierzu | 1, 3, 5-8,<br>10-15    |
| X                       | WO 0202220 A1 (H2GEN INNOVATIONS INC [US]) 10. Januar 2002<br>(10.01.2002)<br>Figur 2, Beschreibung                                                                                                  | 1-3, 5-12              |

Datum der Beendigung der Recherche:  
08.03.2024

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

PLESSL Christof

<sup>\*)</sup> Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.
- P** Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „älteres Recht“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.