



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 94 059 T5 2005.12.22**

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/070856**
 in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **103 94 059.6**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2003/039158**
 (86) PCT-Anmeldetag: **10.12.2003**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **19.08.2004**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **22.12.2005**

(51) Int Cl.7: **H01M 8/04**

(30) Unionspriorität:
10/356,333 **31.01.2003** **US**
10/696,267 **29.10.2003** **US**

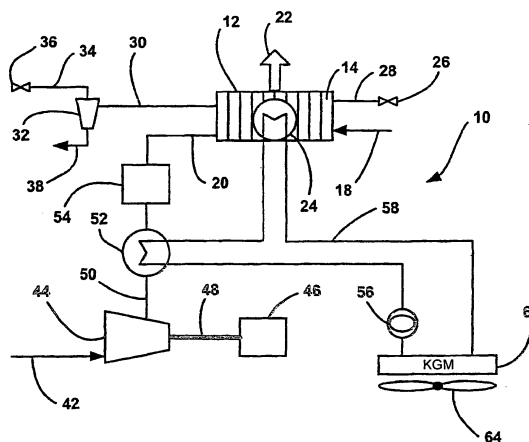
(74) Vertreter:
Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336
München

(71) Anmelder:
General Motors Corp. (n.d.Ges.d. Staates
Delaware), Detroit, Mich., US

(72) Erfinder:
Formanski, Volker, 65207 Wiesbaden, DE; Herbig,
Thomas, 64285 Darmstadt, DE; Woody, George R.,
65187 Wiesbaden, DE; Salvador, John P., Penfield,
N.Y., US; Burch, Steven D., Honeoye Falls, N.Y.,
US; Hannesen, Uwe, 65611 Brechen, DE

(54) Bezeichnung: **Brennstoffzellensystem mit einem Rekuperativwärmetauscher**

(57) Hauptanspruch: Brennstoffzellensystem mit:
 einem Brennstoffzellenstapel, wobei der Brennstoffzellenstapel eine Vielzahl von Brennstoffzellen umfasst, von denen jede eine Anode und eine Kathode umfasst, wobei der Brennstoffzellenstapel ein Wasserstoffanodengas und ein Ladekathodengas aufnimmt und ein Anodenabgas und ein Kathodenabgas austrägt;
 einem Kompressor, wobei der Kompressor das Ladegas komprimiert, um das Ladekathodengas vorzusehen;
 einem ersten Kühlmittelkreislauf mit einem Kühlfliuid, das durch diesen strömt, wobei der erste Kühlmittelkreislauf einen ersten Wärmetauscher, der das komprimierte Ladegas aufnimmt und kühlt, und einen zweiten Wärmetauscher zum Kühlen des Kühlfliuids umfasst, das durch das komprimierte Ladegas und den Brennstoffzellenstapel erhitzt worden ist; und
 einem ersten Rekuperativwärmetauscher, der ebenfalls das komprimierte Ladegas aufnimmt und eine zusätzliche Kühlung für das komprimierte Ladegas vorsieht.



Beschreibung

QUERVERWEIS ZU VERWANDTEN ANMELDUNGEN

[0001] Diese Anmeldung ist eine Continuation-In-Part-Anmeldung der U.S.-Patentanmeldung mit der Seriennr. 10/356,333 und dem Titel "Fuel Cell System with Recuperative Heat Exchanger", eingereicht am 31. Januar 2003.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0002] Diese Erfindung betrifft allgemein ein Brennstoffzellensystem und insbesondere ein Brennstoffzellensystem, das einen Rekuperativwärmetauscher verwendet, um eine zusätzliche Kühlung der Ladeluft und des Brennstoffzellenstapels in dem System vorzusehen.

Stand der Technik

[0003] Wasserstoff ist eine sehr attraktive Brennstoffquelle, da er sauber ist und dazu verwendet werden kann, effizient Elektrizität in einer Brennstoffzelle zu erzeugen. Die Kraftfahrzeugindustrie wendet erhebliche Ressourcen bei der Entwicklung von Wasserstoff-Brennstoffzellen als eine Antriebs- bzw. Energiequelle für Fahrzeuge auf. Derartige Fahrzeuge sind effizienter und erzeugen weniger Emissionen als heutige Fahrzeuge, die Verbrennungsmotoren verwenden.

[0004] Eine Wasserstoff-Brennstoffzelle ist eine elektrochemische Vorrichtung, die eine Anode und eine Kathode mit einem Elektrolyt dazwischen umfasst. Die Anode nimmt ein Wasserstoffgas auf, und die Kathode nimmt Sauerstoff auf. Das Wasserstoffgas wird in der Anode ionisiert, um freie Wasserstoffprotonen und Elektronen zu erzeugen. Die Wasserstoffprotonen gelangen durch den Elektrolyt an die Kathode. Die Wasserstoffionen reagieren mit dem Sauerstoff und den Elektronen in der Kathode, um Wasser als ein Nebenprodukt zu erzeugen. Die Elektronen von der Anode können nicht durch den Elektrolyten gelangen und werden somit durch eine Last geführt, in der sie elektrische Arbeit verrichten, bevor sie an die Kathode geliefert werden. Die Arbeit dient dazu, das Fahrzeug zu betreiben. Viele Brennstoffzellen werden in einen Stapel kombiniert, um die gewünschte Leistung zu erzeugen.

[0005] Protonenaustauschmembran-Brennstoffzellen (PEM-Brennstoffzellen) stellen eine populäre Brennstoffzelle für Fahrzeuge dar, da sie hohe Energiedichten durch hohe Systemwirkungsgrade erreichen. Bei einer PEM-Brennstoffzelle ist Wasserstoff (H₂) der Anodenreaktant, d.h. Brennstoff, und Sauer-

stoff ist der Kathodenreaktant, d.h. Oxidationsmittel. Der Kathodenreaktant kann entweder reiner Sauerstoff (O₂) oder Luft (eine Mischung aus hauptsächlich O₂ und N₂) sein. Die Elektrolyte sind Festpolymerelektrolyte, die typischerweise aus Ionenaustauscherharzen hergestellt sind, wie beispielsweise perfluorierter Sulfonsäure. Die Anode und Kathode umfassen typischerweise fein geteilte katalytische Partikel, die oftmals auf Kohlenstoffpartikeln getragen und mit einem protonenleitenden Harz gemischt sind.

[0006] Fig. 1 ist eine allgemeine schematische Draufsicht eines bekannten PEM-Brennstoffzellensystems **10** des oben beschriebenen Typs. Das Brennstoffzellensystem **10** umfasst einen herkömmlichen Brennstoffzellenstapel **12** mit einer Vielzahl von elektrisch in Reihe gekoppelten Brennstoffzellen **14**. Jede der Brennstoffzellen **14** umfasst eine Kathode und eine Anode. Die Brennstoffzellen **14** nehmen ein Anodenwasserstoffgas von einer geeigneten Quelle auf einer Leitung **18** und ein Kathodenladegas (komprimierte Luft) auf einer Leitung **20** auf, um die chemische Reaktion vorzusehen, die eine Abgabeleistung **22** zum Antrieb des Fahrzeugs erzeugt. Eine Serie von Kühlkanälen **24**, die in den Zeichnungen als ein Wärmetauscher dargestellt sind und durch den Stapel **12** verlaufen, entfernen Wärme von diesem, die durch die chemischen Reaktionen in den Brennstoffzellen **14** erzeugt wird.

[0007] Das Anodenabgas wird beispielsweise von dem Stapel **12** auf Leitung **28** durch ein Rückschlagventil (RSV) **26** ausgetragen. Das unter Druck stehende Kathodenabgas wird von dem Stapel **12** auf Leitung **30** bei der Temperatur des Brennstoffzellenstapels **12** ausgetragen und stellt den Hauptanteil des Systemaustrags dar. Wasser ist ein Nebenprodukt des Kathodenaustrags, aber es wäre problematisch, flüssiges Wasser an die Umgebung abzugeben. Daher wird das Kathodenabgas an einen Flüssigkeitsabscheider bzw. -separator **32** angelegt, der flüssiges Wasser davon abscheidet und das getrennte Abgas auf Leitung **34** und flüssiges Wasser auf Leitung **38** liefert. Das getrennte Kathodenabgas wird an die Atmosphäre durch ein RSV **36** abgegeben. Das flüssige Wasser auf der Leitung **38** kann an andere Systemelemente geliefert werden, die Wasser zur Kühlung und dergleichen verwenden können.

[0008] Umgebungsladeluft auf Leitung **42** wird an einen Kompressor **44** angelegt, der das Volumen der Luft komprimiert und damit das Kathodengas mit dem Brennstoffzellenbetriebsdruck vorsieht. Der Kompressor **44** wird durch einen Elektromotor **46** über eine Abtriebswelle **48** betrieben. Der Kompressor **44** erhitzt die Ladeluft, wenn sie komprimiert wird. Die komprimierte und erhitzte Luft wird durch einen geeigneten Ladeluftkühler (LLK) oder Wärmetauscher **52** auf Leitung **50** geliefert, in dem sie gekühlt wird. Die Abwärme des Kompressors **44** ist die Wärmelast

des Wärmetauschers **52**. Die gekühlte Ladeluft auf der Leitung **50** wird dann an eine Befeuchtungsvorrichtung **54** geliefert, in der sie mit Wasserdampf gemischt wird. Wasserdampf muss mit der Ladeluft gemischt werden, so dass eine Feuchtigkeit für den Elektrolyt zwischen der Anode und Kathode in den Brennstoffzellen **14** vorhanden ist, um damit die notwendige Leitfähigkeit vorzusehen. Die komprimierte und befeuchtete Ladeluft wird dann an den Stapel **12** auf der Leitung **20** angelegt.

[0009] Ein Kühlmittelkreislauf **58** liefert ein Kühlfluid, wie beispielsweise eine Wasser/Glykol-Mischung, an die Kühlkanäle **24** und den Wärmetauscher **52**. Das Kühlfluid wird durch den Kreislauf **58** durch eine Kühlmittelpumpe **56** gedrängt. Das erhitzte Kühlfluid wird durch den Kreislauf **58** an ein Kühlergebläsemodul (KGM) **62** geliefert, um Wärme von diesem zu entfernen. Bei einer Ausführungsform liegt die Temperatur der Ladeluft auf der Leitung **50** an dem Ausgang des Kompressors **40** in dem Umgebungsbereich von 200°C, und die Temperatur der Ladeluft auf der Leitung **20**, die an den Stapel **12** geliefert wird, liegt im Bereich von 60°C–80°C. Ein Gebläse **64** drängt Luft durch das KGM **62**, um das erhitzte Fluid von den Kühlkanälen **24** und dem Wärmetauscher **52** zu kühlen. Das Kühlfluid wird dann zurück durch den Kühlmittelkreislauf **58** zuerst an den Wärmetauscher **52**, um die komprimierte Ladeluft auf der Leitung **50** zu kühlen, und dann an den Stapel **12** geliefert, an dem sie durch die Kühlkanäle **24** strömt.

[0010] Bei den gegenwärtigen Konstruktionen von Brennstoffzellensystemen ist das KGM **62** der typische Kühler, der in herkömmlichen Fahrzeugen mit einem Verbrennungsmotor verwendet wird. Jedoch ist die Betriebstemperatur eines Verbrennungsmotors größer als die Betriebstemperatur des Brennstoffzellensystems **10**, und somit müssen Brennstoffzellensysteme auf ein niedrigeres Temperaturniveau als Verbrennungsmotoren gekühlt werden. Daher sind gegenwärtige KGMs, die für Verbrennungsmotoren verwendet werden, normalerweise nicht in der Lage, eine ausreichende Wärmeaustauschfläche und einen ausreichenden Luftmassendurchsatz hindurch vorzusehen, um eine ausreichende Kühlung für das System **10** vorzusehen. Die Gesamtsystemabwärme (einschließlich der Wärme von dem Wärmetauscher **52**) ist ein kritischer Begrenzungsfaktor bei der Konstruktion des Systems **10** und besitzt einen erheblichen Einfluss auf die Systemgestaltung und -konstruktion. Es ist erwünscht, eine zusätzliche Technik zur Entfernung von Wärme von dem System **10** vorzusehen, so dass die bekannten KGMs in dem Fahrzeug verwendet werden können.

Aufgabenstellung

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0011] Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung ist ein Brennstoffzellensystem offenbart, das einen Rekuperativwärmetauscher verwendet, um eine zusätzliche Kühlung für die komprimierte Ladeluft vorzusehen, die an die Kathoden der Brennstoffzellen in dem Brennstoffzellenstapel angelegt wird. Das Kathodenabgas und die Kompressorladeluft werden an den Rekuperativwärmetauscher angelegt, so dass das Kathodenabgas die komprimierte Ladeluft kühlt und die von der komprimierten Luft an das thermische System abgegebene Wärme verringert. Bei einer anderen Ausführungsform ist eine Kathodenabgasexpansionseinrichtung in Kombination mit dem Rekuperativwärmetauscher vorgesehen, die die Energie in dem erhitzten Abgas verwendet, um den Ladeluftkompressor anzutreiben. Ein Anodenabgasbrenner kann vorgesehen werden, der restlichen Wasserstoff in dem Anodenabgas verbrennt, um das Kathodenabgas weiter zu erhitzen, bevor es an die Expansionseinrichtung angelegt wird. Bei einer anderen Ausführungsform ist ein Wärmetauscher vorgesehen, um das Kathodenabgas zu kühlen.

Ausführungsbeispiel

[0012] Zusätzliche Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung sind nachfolgend detaillierter in der folgenden Beschreibung und den angefügten Ansprüchen unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0013] [Fig. 1](#) ist ein allgemeines schematisches Schaubild eines bekannten Brennstoffzellensystems;

[0014] [Fig. 2](#) ist ein schematisches Schaubild eines Brennstoffzellensystems, das einen Rekuperativwärmetauscher verwendet, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0015] [Fig. 3](#) ist ein Schaubild mit der Systemabwärme und der erforderlichen Kühlerfrontfläche an der vertikalen Achse und der Systemlast an der horizontalen Achse, das die Wärmelast des Brennstoffzellensystems von [Fig. 2](#) zeigt;

[0016] [Fig. 4](#) ist ein Schaubild mit der Abgastemperatur an der vertikalen Achse und der Systemlast an der horizontalen Achse für das in [Fig. 2](#) gezeigte Brennstoffzellensystem;

[0017] [Fig. 5](#) ist ein schematisches Schaubild eines Brennstoffzellensystems, das einen Rekuperativwärmetauscher und eine Kathodengasexpansionseinrichtung verwendet, gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

rungsform der vorliegenden Erfindung;

[0018] [Fig. 6](#) ist ein Schaubild mit der Leistung an der vertikalen Achse und der Systemlast an der horizontalen Achse, das einen Vergleich der Systemleistungsanforderung des Brennstoffzellensystems von [Fig. 5](#) zeigt;

[0019] [Fig. 7](#) ist ein schematisches Schaubild eines Brennstoffzellensystems, das einen Rekuperativwärmetauscher, eine Kathodengasexpansionseinrichtung und einen Anodenabgasbrenner verwendet, gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0020] [Fig. 8](#) ist ein Schaubild mit der Abgastemperatur an der vertikalen Achse und der Systemlast an der horizontalen Achse, das einen Vergleich der Abgastemperaturen der Systeme der [Fig. 5](#) und [Fig. 7](#) zeigt;

[0021] [Fig. 9](#) ist ein Schaubild mit der Leistung an der vertikalen Achse und der Systemlast an der horizontalen Achse, das einen Vergleich einer vorgeschlagenen adiabatischen Expansionseinrichtungsabgabe und des Ergebnisses zeigt, das für die elektrische Kompressoranforderung bzw. -abgabe für einen Rekuperativwärmetauscher mit und ohne einen Abgasbrenner erforderlich ist;

[0022] [Fig. 10](#) ist ein schematisches Schaubild eines Brennstoffzellensystems, das eine Kathodengasexpansionseinrichtung und einen Rekuperativwärmetauscher vor und nach der Kathodengasexpansionseinrichtung verwendet; und

[0023] [Fig. 11](#) ist ein schematisches Schaubild eines Brennstoffzellensystems, das einen Rekuperativwärmetauscher in Kombination mit einem Wasserabscheider verwendet, gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0024] Die folgende Beschreibung der Ausführungsformen der Erfindung, die auf ein Brennstoffzellensystem gerichtet sind, ist lediglich beispielhafter Natur und nicht dazu bestimmt, die Erfindung, ihre Anwendung bzw. ihren Gebrauch zu beschränken.

[0025] [Fig. 2](#) ist ein schematisches Schaubild eines Brennstoffzellensystems **70** ähnlich dem System **10** oben, bei dem gleiche Elemente mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind. Gemäß der Erfindung umfasst das System **70** einen Gas/Gas-Rekuperativwärmetauscher **72**, der zwischen dem Kompressor **44** und dem Wärmetauscher **52** in der Leitung **50** positioniert ist. Der Wärmetauscher **72** liefert eine zusätzliche Kühlung für die komprimierte Luft in der Lei-

tung **50**, so dass der Wärmetauscher **52** weniger Kühlung vorsehen muss und somit das KGM **62** kleiner ausgebildet werden kann und dennoch die Wärmelastanforderungen des Systems erfüllt. Das Kathodenabgas auf der Leitung **34** strömt durch den Wärmetauscher **72** und dient dazu, die Ladeluft zu kühlen, so dass die von der komprimierten Ladeluft durch den Wärmetauscher **72** entnommene Wärme durch die Kathodenabgasströmung abgezogen wird. Bei einer Ausführungsform entfernt der Wärmetauscher **52** in dem System **10** etwa 10% der Gesamtsystemabwärme. Durch Verwendung des Rekuperativwärmetauschers **72** muss der Wärmetauscher **52** nur etwa 1% der Gesamtsystemabwärme für ein gleich großes KGM **62** entfernen.

[0026] Bei dieser Ausführungsform ist der Wärmetauscher **72** zwischen dem RSV **36** und dem Wasserabscheider **32** positioniert. Daher verringert der Rekuperativwärmetauscher **72** die Wärmelast an dem Wärmetauscher **52** durch Verwendung des Kathodenabgases, um eine Systemkühlung vorzusehen. Die Temperatur des Kathodenabgases wird erhöht, was die gewünschte Gaszusammensetzung für die richtige Lieferung von Produktwasser erleichtert.

[0027] Wie oben beschrieben ist, ist der Wärmetauscher **72** zwischen dem Kompressor **44** und dem Wärmetauscher **52** positioniert. Dies ist jedoch lediglich ein nicht beschränkendes Beispiel, da der Wärmetauscher **72** an einem beliebigen geeigneten Ort in der Leitung **50** zwischen dem Stapel **12** und dem Kompressor **44** positioniert sein kann.

[0028] [Fig. 3](#) ist ein Diagramm der Systemabwärme an der vertikalen Achse und der Systemlast an der horizontalen Achse, das die Abwärme für die Systeme **10** und **70** zeigt. Insbesondere zeigt die Diagrammlinie **80** die Abwärme des Systems **10** ohne den Rekuperativwärmetauscher **72**. Die Diagrammlinie **82** zeigt die Abwärme des Systems **70** mit dem Rekuperativwärmetauscher **72**. Die Diagrammlinie **84** zeigt die Abwärmeverminderung, die durch das System **10** mit dem Rekuperativwärmetauscher **72** vorgesehen wird.

[0029] [Fig. 3](#) umfasst auch die Kühlerfrontfläche des KGM **62** an der vertikalen Achse, um die erforderliche Kühleroberfläche zu zeigen, die die gewünschte Kühlung mit und ohne den Rekuperativwärmetauscher **72** vorsieht. Insbesondere zeigt die Diagrammlinie **86** die erforderliche Kühlerfrontfläche des KGM **62** in dem System **10** ohne den Rekuperativwärmetauscher **72**, und die Diagrammlinie **88** zeigt die erforderliche Frontfläche des KGM **62** in dem System **70** mit dem Rekuperativwärmetauscher **72**. Für eine Gesamtwärmelast unter Annahme eines Standardkraftfahrzeuggebläses **64** beträgt die erforderliche Kühleroberfläche für das System **10** etwa 71% der Gesamtfahrzeugvorderfläche, und die erforder-

derliche Kühleroberfläche für das System **70** beträgt etwa 59 %. Dies ist eine Verringerung der Kühleroberfläche um etwa 17 %.

[0030] **Fig. 4** ist ein Diagramm mit der Abgastemperatur an der vertikalen Achse und der Systemlast an der horizontalen Achse, das die Kathodenabgastemperatur der Systeme **10** und **70** zeigt. Insbesondere zeigt die Diagrammlinie **90** die Abgastemperatur des Systems **10** ohne den Rekuperativwärmetauscher **72**, und die Diagrammlinie **92** zeigt die Abgastemperatur des Systems **70** mit dem Rekuperativwärmetauscher **72**. Für höhere Systemlasten, beispielsweise 70 kW, beträgt die Temperaturdifferenz zwischen dem Kathodenabgas der Systeme **10** und **70** 180°C.

[0031] **Fig. 5** ist ein schematisches Schaubild eines Brennstoffzellensystems **100** ähnlich dem System **70** oben, bei dem gleiche Elemente durch gleiche Bezugszeichen bezeichnet sind, gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Bei dieser Ausführungsform verwendet das System **100** eine Kathodenabgasexpansionseinrichtung **102**, die das unter Druck gesetzte und erhitzte Kathodenabgas von dem Wärmetauscher **72** auf Leitung **104** aufnimmt. Das Kathodenabgas wird durch den Wärmetauscher **72** erhitzt. Die Kathodenabgasexpansionseinrichtung **102** wandelt die Wärme in mechanische Energie um. Die Expansionseinrichtung **102** verwendet die Temperatur des Kathodengases, um ein Element darin zu drehen, das eine Welle **106** dreht. Die Welle **106** ist mit dem Kompressor **44** gekoppelt und sieht zumindest einen Teil der Energie zum Betrieb desselben vor. Daher erlaubt die Gasexpansionseinrichtung **102**, dass die Leistungsanforderung des Kompressors **44** verringert werden kann. Somit kann die Größe des Motors **46** verringert werden, so dass die für den Betrieb des Systems **100** erforderliche Energie verringert werden kann. Das expandierte Kathodenabgas wird dann an die Umgebung auf Leitung **108** durch das RSV **36** ausgegeben.

[0032] **Fig. 6** ist ein Diagramm mit der Leistung an der vertikalen Achse und der Systemlast an der horizontalen Achse, das einen Vergleich der verfügbaren Systemleistungsanforderung bzw. -bedarfs von dem System **100** mit der Kathodengasexpansionseinrichtung **102** und dem System **70** ohne die Gasexpansionseinrichtung **102** zeigt. Insbesondere zeigt die Diagrammlinie **110** die Nettoleistung, die von dem System **70** mit dem Rekuperativwärmetauscher **72** und der Gasexpansionseinrichtung **102** verfügbar ist. Die Diagrammlinie **112** zeigt die Nettoleistungsanforderung des Systems **10** ohne den Rekuperativwärmetauscher **72**. Die Diagrammlinie **114** zeigt die erforderliche elektrische Kompressorleistung des Systems **10** ohne den Rekuperativwärmetauscher **72** und die Gasexpansionseinrichtung **102**. Die Diagrammlinie **116** zeigt die erforderliche elektrische

Kompressorleistung des Systems **100** mit der Gasexpansionseinrichtung **102** und dem Rekuperativwärmetauscher **72**.

[0033] **Fig. 7** zeigt ein schematisches Schaubild eines Brennstoffzellensystems **120** ähnlich dem System **100** oben, bei dem gleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind, gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Bei dieser Ausführungsform ist ein Anodenabgasbrenner bzw. eine Anodenabgasverbrennungseinrichtung **122** vorgesehen, um restlichen Wasserstoff in dem Anodenabgas zu verbrennen. Typischerweise bleibt eine kleine Menge Wasserstoff in dem Anodenabgas auf der Leitung **28** zurück. Der Anodenabgasbrenner **122** nimmt das Anodenabgas auf Leitung **124** und das erhitzte Kathodenabgas auf der Leitung **104** auf. Der Anodenabgasbrenner **122** verbrennt den Wasserstoff, um das Kathodenabgas weiter aufzuheizen, bevor es an die Expansionseinrichtung **102** aufgebracht wird, und somit die von dem Motor **46** benötigte Kompressorleistung weiter zu reduzieren. Der Anodenbrenner **122** kann ein beliebiger Brenner sein, der für die hier beschriebenen Zwecke geeignet ist.

[0034] **Fig. 8** ist ein Diagramm mit der Abgastemperatur an der vertikalen Achse und der Systemlast an der horizontalen Achse, das einen Vergleich der Abgastemperaturen der verschiedenen hier offenbarten Systeme mit und ohne den Anodenabgasbrenner **122** zeigt. Insbesondere zeigt die Diagrammlinie **130** die Abgastemperatur des Systems **120** mit dem Rekuperativwärmetauscher **72** und dem Anodenabgasbrenner **122**. Die Diagrammlinie **132** zeigt die Abgastemperatur des Systems **100** mit dem Rekuperativwärmetauscher **72** jedoch ohne den Anodenabgasbrenner **122**. Die Diagrammlinie **134** zeigt die Abgastemperatur des Systems **10** ohne den Rekuperativwärmetauscher **72** und den Anodenabgasbrenner **122**.

[0035] Für einen Gesamtlastfall ist die Abgastemperatur des Systems **10** gleich der Stapelbetriebstemperatur. Bei dem System **70** mit dem Rekuperativwärmetauscher **72** steigt die Kathodenabgastemperatur beispielsweise auf etwa 170°C. Bei dem System **120** kann der Anodenbrenner **122** zusätzliche 6–7 kW Wärme an das Abgas liefern. Für einen Mengendurchfluss von etwa 95 g/s ist dies gleichwertig zu einer Temperaturerhöhung von etwa 70 K. Der Temperaturanstieg des Einlassgases der Expansionseinrichtung für Kathodengas macht es möglich, mehr Energie von dem Kathodenabgas rückzugewinnen.

[0036] **Fig. 9** ist ein Diagramm mit der Leistung an der vertikalen Achse und der Systemlast an der horizontalen Achse, das die Gasexpansionseinrichtungsabgabe und die Kompressorabgabe für die Systeme **10**, **70** und **120** zeigt. Insbesondere zeigt die Dia-

grammlinie **138** die für das System **10** erforderliche elektrische Kompressormotorleistung. Die Diagrammlinie **140** zeigt die elektrische Kompressormotorleistung, die für das System **70**, das den Rekupe- rativwärmetauscher **72** umfasst, erforderlich ist. Die Diagrammlinie **142** zeigt die elektrische Kompressormotorleistung, die für das System **120**, das den Rekupe- rativwärmetauscher **72** und den Anodenbrenner **122** umfasst, erforderlich ist. Die Diagrammlinie **144** zeigt die adiabatische Expansionseinrichtungsarbeit für das System **10**. Die Diagrammlinie **146** zeigt die adiabatische Expansionseinrichtungsarbeit für das System **70** mit dem Rekupe- rativwärmetauscher **72**. Die Diagrammlinie **148** zeigt die adiabatische Expan- sionseinrichtungsarbeit für das System **120**, das den Rekupe- rativwärmetauscher **72** und den Anodenab- gasbrenner verwendet.

[0037] **Fig. 10** ist ein schematisches Schaubild eines Brennstoffzellensystems **150** ähnlich dem Sys- tem **100** oben, bei dem gleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind, gemäß einer ande- ren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Bei dieser Ausführungsform ist ein zweiter Rekupe- rativwärmetauscher **152** in der Leitung **50** zwischen dem Rekupe- rativwärmetauscher **72** und dem Wär- metauscher **52**, nicht gezeigt, vorgesehen. Der Wär- metauscher **152** ist mit einem Kühlmittelkreislauf **154** gekoppelt, durch den ein Kühlfluid strömt, wie bei- spielsweise eine Mischung aus Glykol und Wasser. Der Kühlmittelkreislauf **154** ist auch mit einem Aus- tragswärmetauscher **156** in der Leitung **108** an dem Ausgang der Expansionseinrichtung **102** gekoppelt. Das Abgas auf der Leitung **108** ist kühler als die kom- primierte Luft auf der Leitung **50**, so dass das Kühlflu- id in dem Kreislauf **154** durch das Abgas gekühlt wird, nachdem Wärme von der komprimierten Luft auf der Leitung **50** aufgenommen wurde. Daher kann die von dem Wärmetauscher **52** und dem KGM **62** erforderliche Kühlung durch den Rekupe- rativwärmetauscher **152** weiter reduziert werden.

[0038] **Fig. 11** ist ein schematisches Schaubild eines Brennstoffzellensystems **160** ähnlich dem Sys- tem **10** oben, bei dem gleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind. Bei dieser Ausfüh- rungsform ist ein Gas/Gas-Wärmetauscher **162** in der Kathodenabgasleitung **30** vorgesehen. Das Kathodenabgas wird durch Umgebungsluft, nicht ge- zeigt, gekühlt. Durch Verwendung von Umgebungs- luft zum Kühlen des Kathodenabgases auf der Lei- tung **30** ist der Abscheider **32** besser in der Lage, flüssiges Wasser von dem Kathodenabgas zu entfer- nen, so dass weniger Wasser an die Umgebung aus- gegeben wird und mehr Wasser für andere System- komponenten verfügbar ist.

[0039] Die vorhergehende Beschreibung offenbart und beschreibt lediglich beispielhafte Ausführungs- formen der vorliegenden Erfindung. Für Fachleute ist

es aus dieser Beschreibung wie auch den begleiten- den Zeichnungen und Ansprüchen offensichtlich, dass verschiedene Änderungen, Abwandlungen und Variationen ohne Abweichung vom Schutzzumfang der Erfindung, der in den folgenden Ansprüchen de- finiert ist, durchgeführt werden können.

Zusammenfassung

[0040] Ein Brennstoffzellensystem verwendet einen Rekupe- rativwärmetauscher, um eine zusätzliche Kühlung für die komprimierte Ladeluft vorzusehen, die an die Kathoden der Brennstoffzellen in dem Brennstoffzellenstapel angelegt wird. Das Kathoden- abgas wird an den Rekupe- rativwärmetauscher ange- legt, so dass das Kathodenabgas die durch die kom- primierte Luft erhitze Ladeluft kühlt. Eine Kathoden- abgasexpansionseinrichtung ist in Kombination mit dem Rekupe- rativwärmetauscher vorgesehen, die die Energie in dem erhitzten Kathodenabgas dazu ver- wendet, den Ladeluftkompressor anzutreiben. Ein Anodenabgasbrenner kann vorgesehen werden, der restlichen Wasserstoff in dem Anodenabgas ver- brennt, um das Kathodenabgas weiter zu heizen, be- vor es an die Expansionseinrichtung angelegt wird.

Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem mit:
einem Brennstoffzellenstapel, wobei der Brennstoff- zellenstapel eine Vielzahl von Brennstoffzellen um- fasst, von denen jede eine Anode und eine Kathode umfasst, wobei der Brennstoffzellenstapel ein Was- serstoffanodengas und ein Ladekathodengas auf- nimmt und ein Anodenabgas und ein Kathodenabgas austrägt;
einem Kompressor, wobei der Kompressor das Lade- gas komprimiert, um das Ladekathodengas vorzuse- hen;
einem ersten Kühlmittelkreislauf mit einem Kühlfluid, das durch diesen strömt, wobei der erste Kühlmittel- kreislauf einen ersten Wärmetauscher, der das kom- primierte Ladegas aufnimmt und kühlt, und einen zweiten Wärmetauscher zum Kühlen des Kühlfluids umfasst, das durch das komprimierte Ladegas und den Brennstoffzellenstapel erhitzt worden ist; und
einem ersten Rekupe- rativwärmetauscher, der eben- falls das komprimierte Ladegas aufnimmt und eine zusätzliche Kühlung für das komprimierte Ladegas vorsieht.

2. System nach Anspruch 1, wobei der Rekupe- rativwärmetauscher auch das Kathodenabgas auf- nimmt, um die durch diesen strömende Ladeluft zu kühlen.

3. System nach Anspruch 2, ferner mit einer Kathodenabgasexpansionseinrichtung, wobei die Kathodenabgasexpansionseinrichtung mechanisch mit dem Kompressor durch eine Expansionseinrich-

tungswelle gekoppelt ist und wobei die Kathodenabgasexpansionseinrichtung das erhitzte Kathodenabgas von dem Rekuperativwärmetauscher aufnimmt, um so zu bewirken, dass die Expansionseinrichtungswelle rotiert, um den Kompressor anzutreiben.

4. System nach Anspruch 3, ferner mit einem Anodenabgasbrenner, wobei der Anodenabgasbrenner das Anodenabgas und das Kathodenabgas aufnimmt und wobei der Anodenabgasbrenner restlichen Wasserstoff in dem Anodenabgas verbrennt, um das Kathodenabgas weiter zu erhitzen, bevor es an die Kathodenabgasexpansionseinrichtung geliefert wird.

5. System nach Anspruch 3, ferner mit einem zweiten Rekuperativwärmetauscher und einer Wärmeladeeinrichtung der Expansionseinrichtung, wobei der zweite Rekuperativwärmetauscher und der Wärmetauscher der Expansionseinrichtung Teil eines zweiten Kühlmittelkreislaufs sind, der ein durch diesen strömendes Kühlfliuid aufweist, wobei der zweite Rekuperativwärmetauscher auch das komprimierte Ladegas aufnimmt und kühlt, bevor es an den Brennstoffzellenstapel angelegt wird, und wobei der Wärmetauscher der Expansionseinrichtung das Kühlfliuid in dem zweiten Kühlmittelkreislauf aufnimmt, das durch den zweiten Rekuperativwärmetauscher strömt, und das Kühlfliuid kühlt.

6. System nach Anspruch 1, wobei der zweite Wärmetauscher ein Kühlergebläsemodul ist, das das Kühlfliuid in dem ersten Kühlmittelkreislauf durch Druckluft kühlt.

7. System nach Anspruch 1, ferner mit einer Befeuchtungseinheit, die das komprimierte Ladegas aufnimmt, wobei die Befeuchtungseinheit Wasserdampf mit dem komprimierten Ladegas mischt, bevor es an den Brennstoffzellenstapel geliefert wird.

8. System nach Anspruch 1, ferner mit einem Flüssigkeitsabscheider, wobei der Flüssigkeitsabscheider das Kathodenabgas aufnimmt und flüssiges Wasser davon entfernt.

9. System nach Anspruch 1, ferner mit einem Abgaswärmetauscher, der das Kathodenabgas aufnimmt und kühlt.

10. System nach Anspruch 1, wobei sich das Brennstoffzellensystem an einem Fahrzeug befindet.

11. Brennstoffzellensystem mit:
einem Brennstoffzellenstapel, wobei der Brennstoffzellenstapel eine Vielzahl von Brennstoffzellen umfasst, die jeweils eine Anode und eine Kathode umfassen, wobei der Brennstoffzellenstapel ein Wasserstoffanodengas und ein Ladekathodengas aufnimmt und ein Anodenabgas und ein Kathodenabgas austrägt;

einem Kompressor, wobei der Kompressor das Ladegas komprimiert, um das Ladekathodengas vorzusehen; und

einer Kathodenabgasexpansionseinrichtung, wobei die Kathodenabgasexpansionseinrichtung mechanisch mit dem Kompressor durch eine Expansionseinrichtungswelle gekoppelt ist und wobei die Kathodenabgasexpansionseinrichtung das Kathodenabgas aufnimmt und bewirkt, dass die Expansionseinrichtungswelle rotiert, um den Kompressor anzutreiben.

12. System nach Anspruch 11, ferner mit einem Anodenabgasbrenner, wobei der Anodenabgasbrenner das Anodenabgas und das Kathodenabgas aufnimmt und wobei der Anodenabgasbrenner restlichen Wasserstoff in dem Anodenabgas verbrennt, um das Kathodenabgas zu heizen, bevor es an die Expansionseinrichtung für Kathodenabgas geliefert wird.

13. System nach Anspruch 11, ferner mit einem Rekuperativwärmetauscher und einem Wärmeladeeinrichtung der Expansionseinrichtung, wobei der Rekuperativwärmetauscher und der Wärmetauscher der Expansionseinrichtung Teil eines Kühlmittelkreislaufs sind, der ein durch diesen strömendes Fluid aufweist, wobei der Rekuperativwärmetauscher das komprimierte Ladegas aufnimmt und kühlt, bevor es an den Brennstoffzellenstapel geliefert wird und wobei der Wärmetauscher der Expansionseinrichtung das Kühlfliuid aufnimmt, das durch den Rekuperativwärmetauscher strömt, und das Kühlfliuid kühlt.

14. System nach Anspruch 11, ferner mit einem Flüssigkeitsabscheider, wobei der Flüssigkeitsabscheider das Kathodenabgas aufnimmt und flüssiges Wasser davon entfernt.

15. System nach Anspruch 11, ferner mit einem Wärmetauscher, der das Kathodenabgas aufnimmt und kühlt.

16. System nach Anspruch 11, wobei sich das Brennstoffzellensystem an einem Fahrzeug befindet.

17. Brennstoffzellensystem für ein Fahrzeug, wobei das System umfasst:

einen Brennstoffzellenstapel, wobei der Brennstoffzellenstapel eine Vielzahl von Brennstoffzellen umfasst, von denen jede eine Anode und eine Kathode umfasst, wobei der Brennstoffzellenstapel ein Wasseranodengas und ein Ladeluftkathodengas aufnimmt und ein Anodenabgas und ein Kathodenabgas austrägt;

einen Kompressor, wobei der Kompressor die Ladeluft komprimiert, um das Ladeluftkathodengas vorzusehen;

einen ersten Kühlmittelkreislauf mit einem Kühlfliuid, das durch diesen strömt, wobei der Kühlmittelkreis-

lauf einen ersten Wärmetauscher, der die komprimierte Ladeluft aufnimmt und kühlt, und einen zweiten Wärmetauscher zum Kühlen des Kühlfluids umfasst, das durch die komprimierte Ladeluft und den Brennstoffzellenstapel erhitzt worden ist; und einen ersten Rekuperativwärmetauscher, der ebenfalls die komprimierte Ladeluft aufnimmt und eine zusätzliche Kühlung für die komprimierte Ladeluft vorsieht, wobei der erste Rekuperativwärmetauscher das Kathodenabgas aufnimmt, um die Ladeluft zu kühlen;

einen Anodenabgasbrenner, wobei der Anodenabgasbrenner das Anodenabgas und das Kathodenabgas aufnimmt und wobei der Anodenabgasbrenner restlichen Wasserstoff in dem Anodenabgas verbrennt, um das Kathodenabgas weiter zu heizen; und eine Kathodenabgasexpansionseinrichtung, wobei die Kathodenabgasexpansionseinrichtung mechanisch mit dem Kompressor durch eine Expansionseinrichtungswelle gekoppelt ist, wobei die Kathodenabgasexpansionseinrichtung das erhitzte Kathodenabgas von dem Anodenabgasbrenner aufnimmt, um so zu bewirken, dass die Expansionseinrichtungswelle rotiert, um den Kompressor anzutreiben.

18. System nach Anspruch 17, ferner mit einem zweiten Rekuperativwärmetauscher und einer Wärmeladeeinrichtung der Expansionseinrichtung, wobei der zweite Rekuperativwärmetauscher und der Wärmetauscher der Expansionseinrichtung Teil eines zweiten Kühlmittelkreislaufs sind, der ein durch diesen strömendes Fluid aufweist, wobei der zweite Rekuperativwärmetauscher auch das komprimierte Ladegas aufnimmt und kühlt, bevor es an den Brennstoffzellenstapel geliefert wird, und wobei der Wärmetauscher der Expansionseinrichtung das Kühlfluid in dem zweiten Kühlmittelkreislauf aufnimmt, das durch den zweiten Rekuperativwärmetauscher strömt, und das Kühlfluid kühlt.

19. System nach Anspruch 17, wobei der zweite Wärmetauscher ein Kühlergebläsemodul ist, das das Kühlfluid in dem ersten Kühlmittelkreislauf durch Druckluft kühlt.

20. System nach Anspruch 17, ferner mit einer Befeuchtungseinheit, die das komprimierte Ladegas aufnimmt, wobei die Befeuchtungseinheit Wasserdampf mit dem komprimierten Ladegas mischt, bevor es an den Brennstoffzellenstapel geliefert wird.

21. System nach Anspruch 17, ferner mit einem Flüssigkeitsabscheider, wobei der Flüssigkeitsabscheider das Kathodenabgas aufnimmt und flüssiges Wasser davon entfernt.

22. System nach Anspruch 17, ferner mit einem Abscheiderwärmetauscher, der das Kathodenabgas aufnimmt und kühlt.

23. Brennstoffzellensystem mit:
einem Brennstoffzellenstapel, wobei der Brennstoffzellenstapel eine Vielzahl von Brennstoffzellen umfasst, von denen jede eine Anode und eine Kathode umfasst, wobei der Brennstoffzellenstapel ein Wasserstoffanodengas und ein Ladekathodengas aufnimmt und ein Anodenabgas und ein Kathodenabgas austrägt; und
einem Anodenabgasbrenner, wobei der Anodenabgasbrenner das Anodenabgas aufnimmt und wobei der Anodenabgasbrenner restlichen Wasserstoff in dem Anodenabgas verbrennt.

24. System nach Anspruch 23, wobei der Anodenabgasbrenner auch das Kathodenabgas aufnimmt, so dass der Anodenabgasbrenner das Kathodenabgas durch Verbrennen des restlichen Wasserstoffs in dem Anodenabgas heizt.

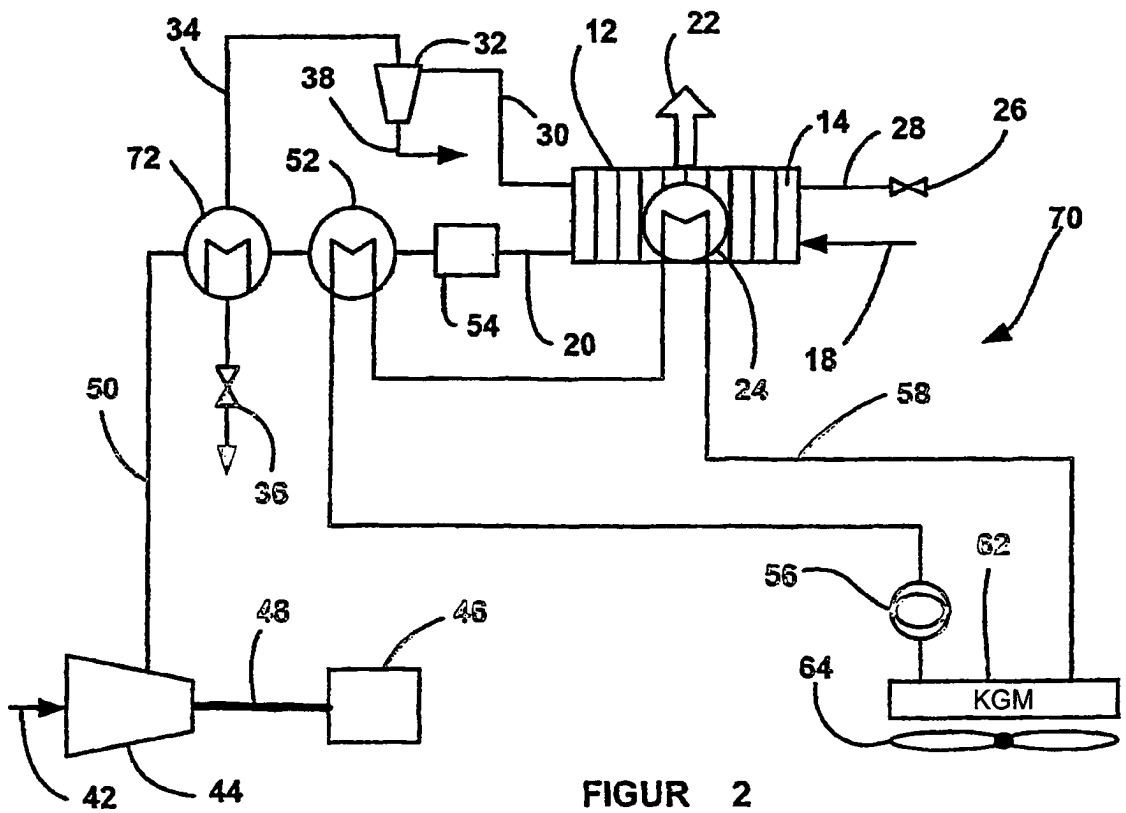
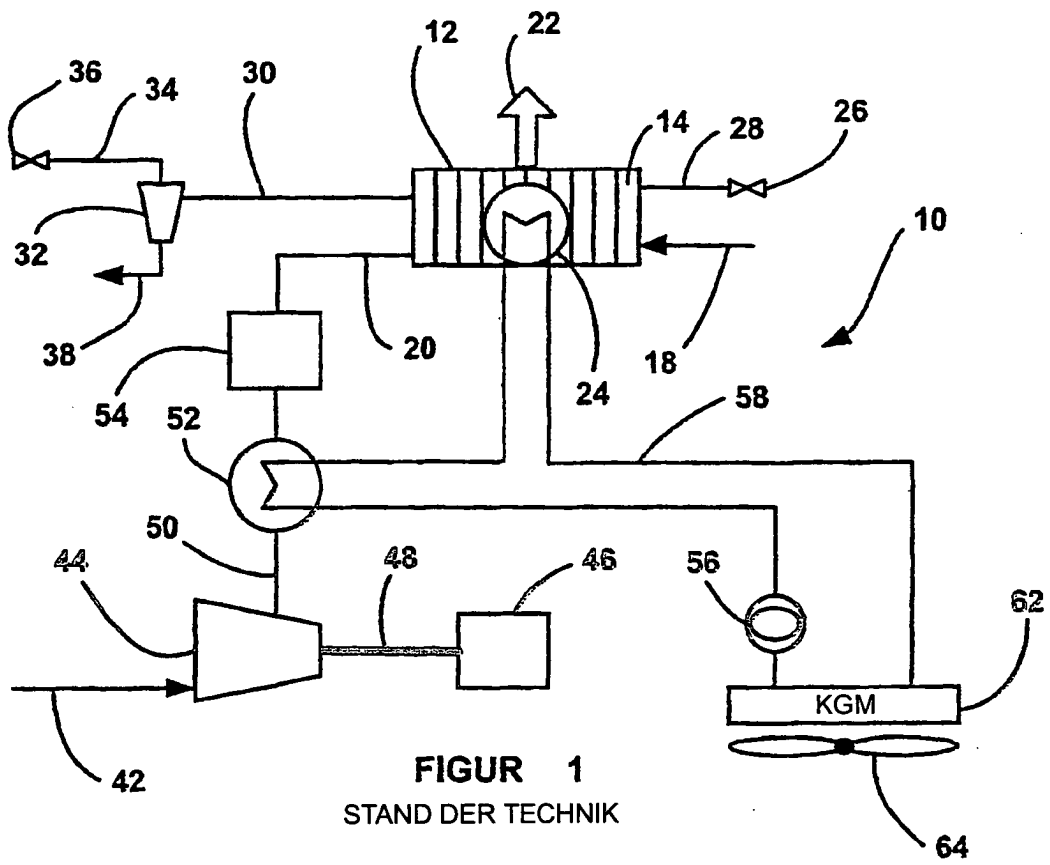
25. System nach Anspruch 23, wobei sich das Brennstoffzellensystem an einem Fahrzeug befindet.

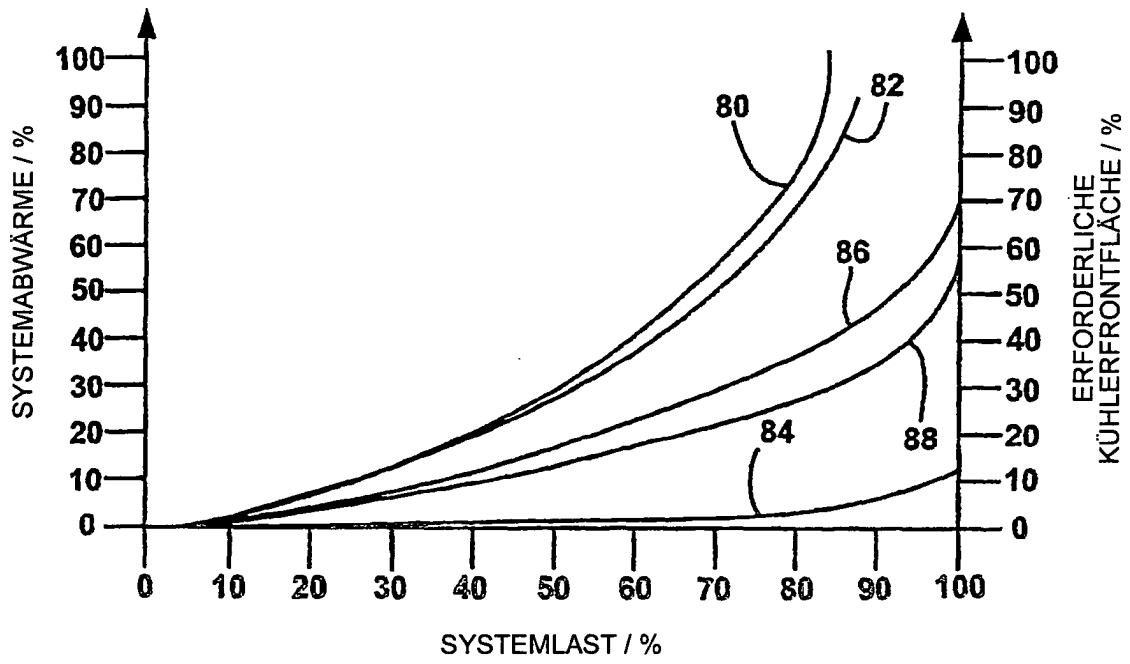
26. Brennstoffzellensystem mit:
einem Brennstoffzellenstapel, wobei der Brennstoffzellenstapel eine Vielzahl von Brennstoffzellen umfasst, die jeweils eine Anode und eine Kathode umfassen, wobei der Brennstoffzellenstapel ein Wasserstoffanodengas und ein Ladekathodengas aufnimmt und ein Anodenabgas und ein Kathodenabgas austrägt; und
einem Wärmetauscher, wobei der Wärmetauscher das Kathodenabgas aufnimmt und kühlt.

27. System nach Anspruch 26, wobei sich das Brennstoffzellensystem an einem Fahrzeug befindet.

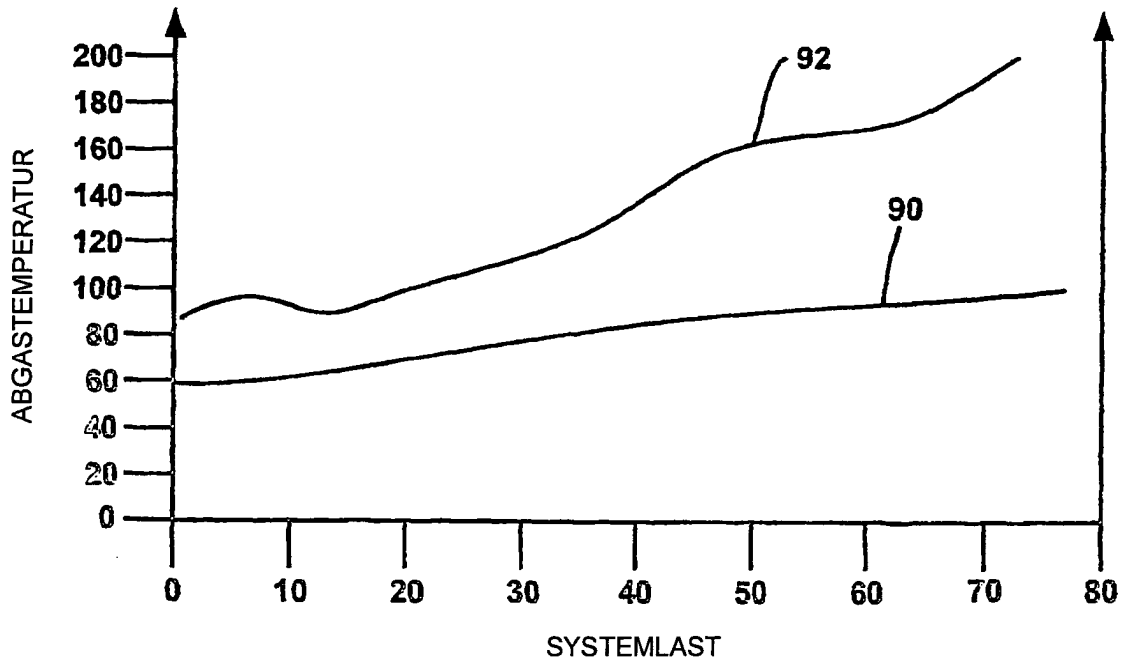
Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

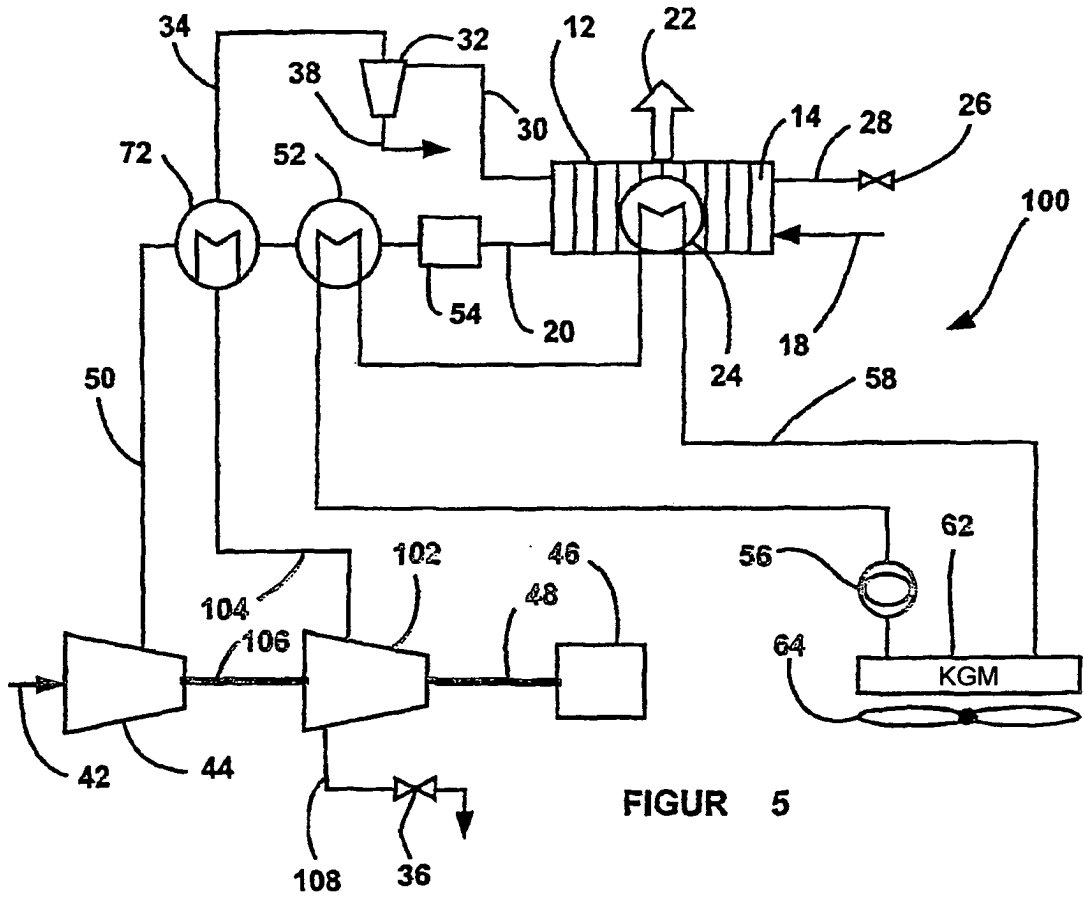




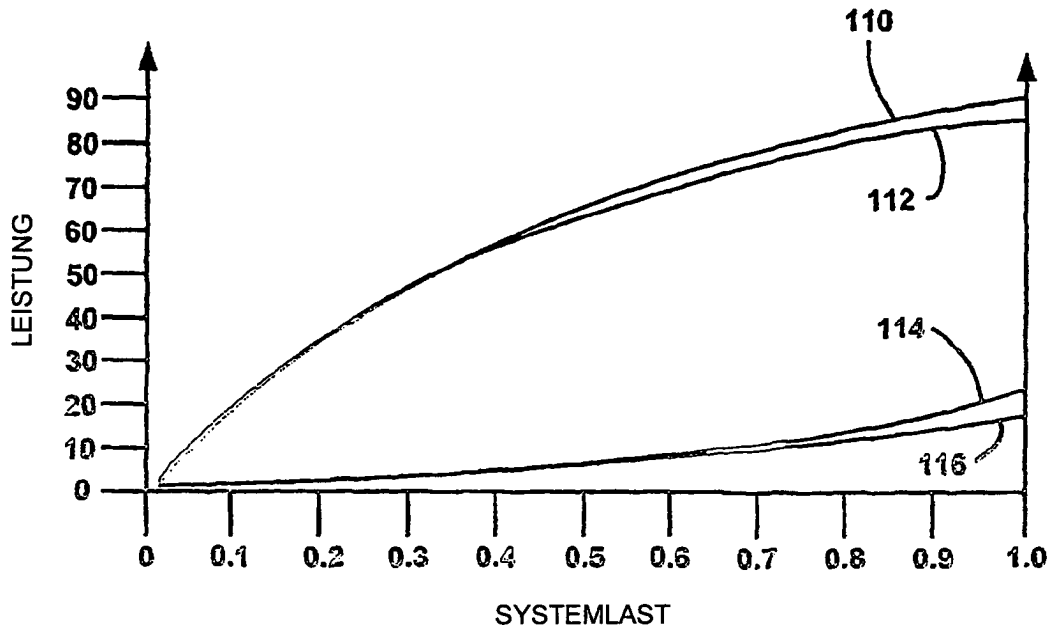
FIGUR 3



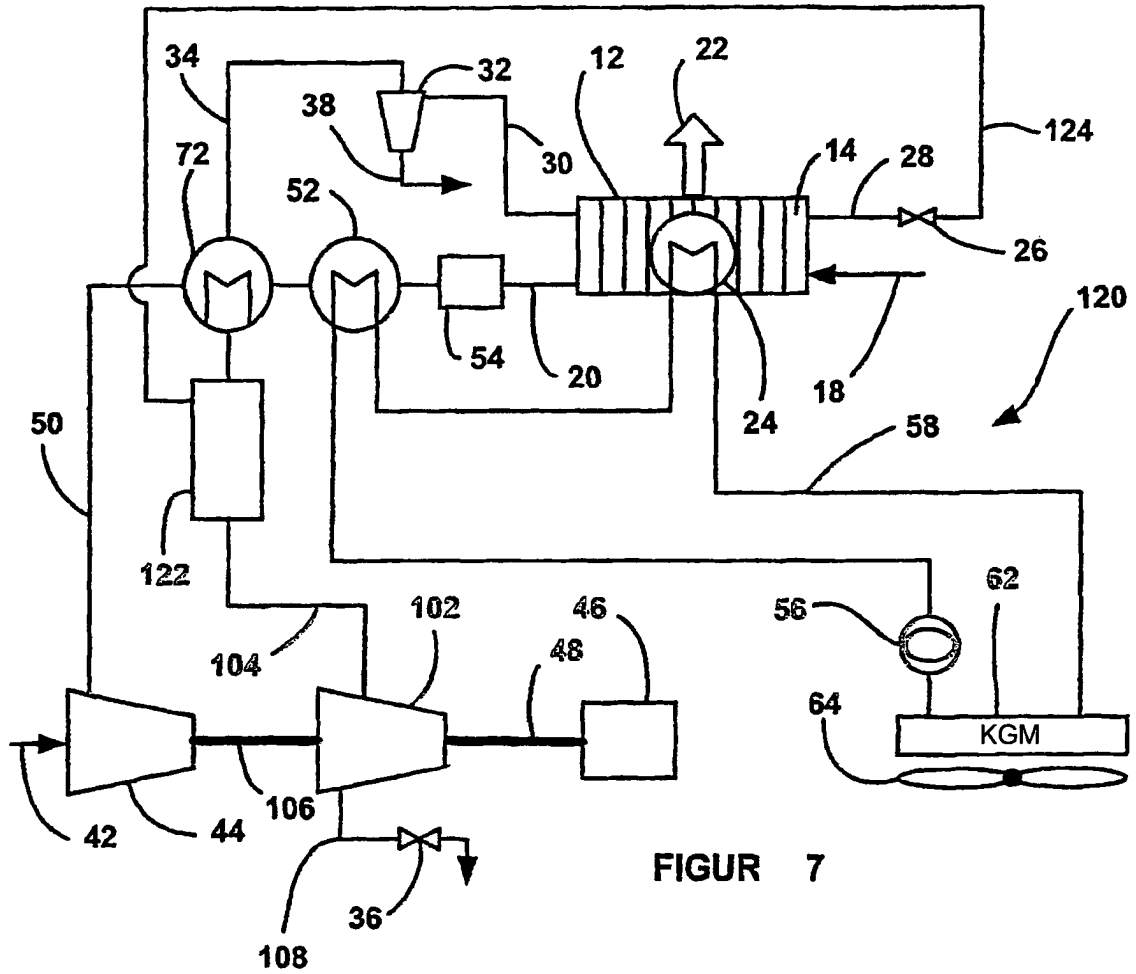
FIGUR 4



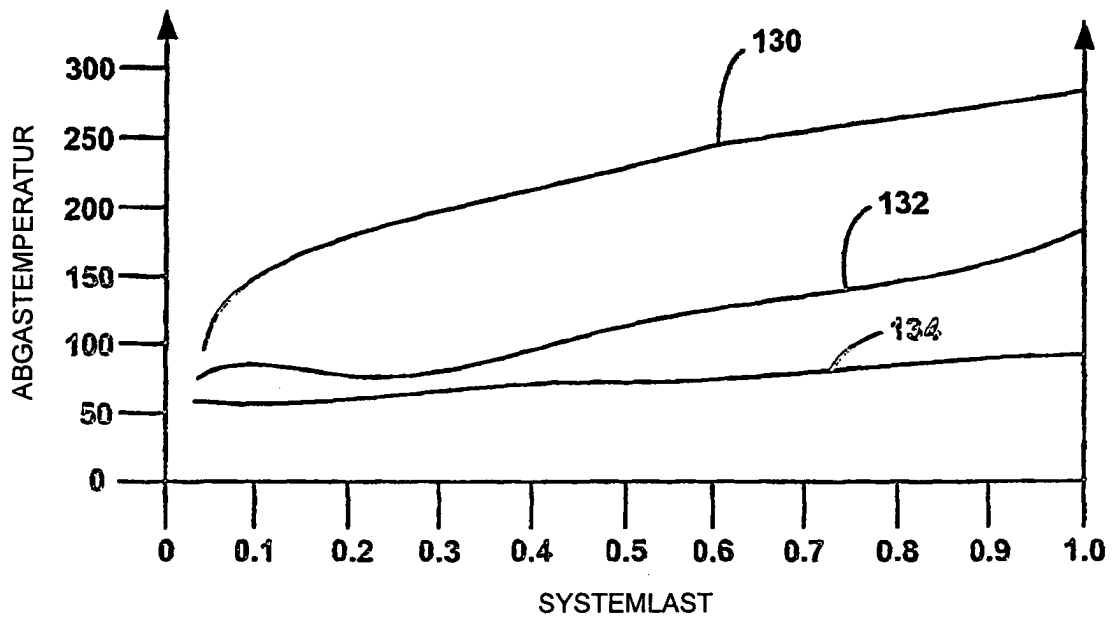
FIGUR 5



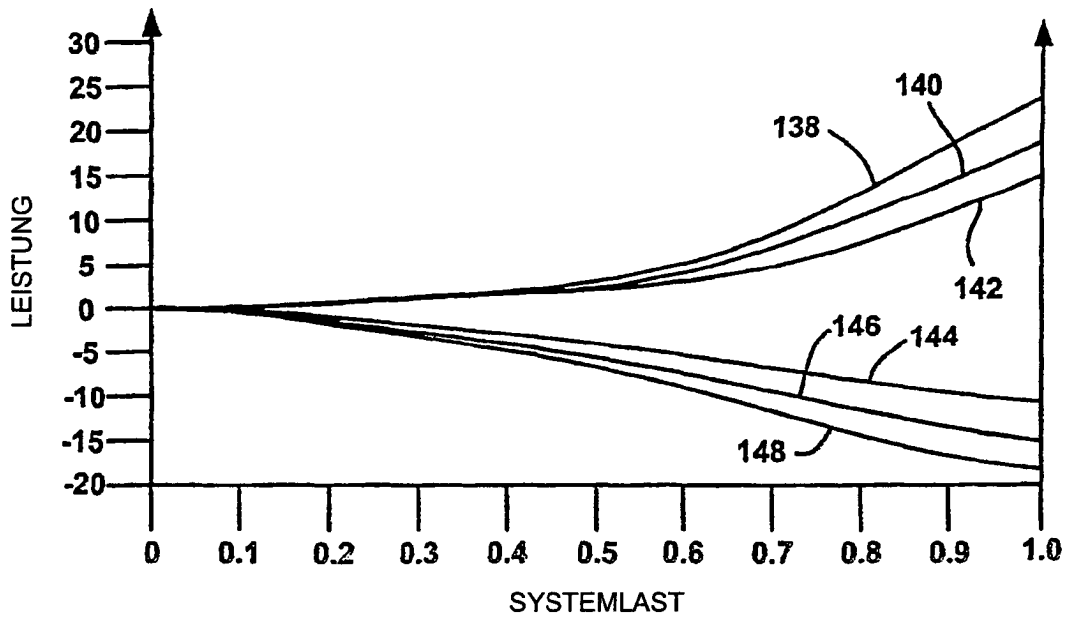
FIGUR 6



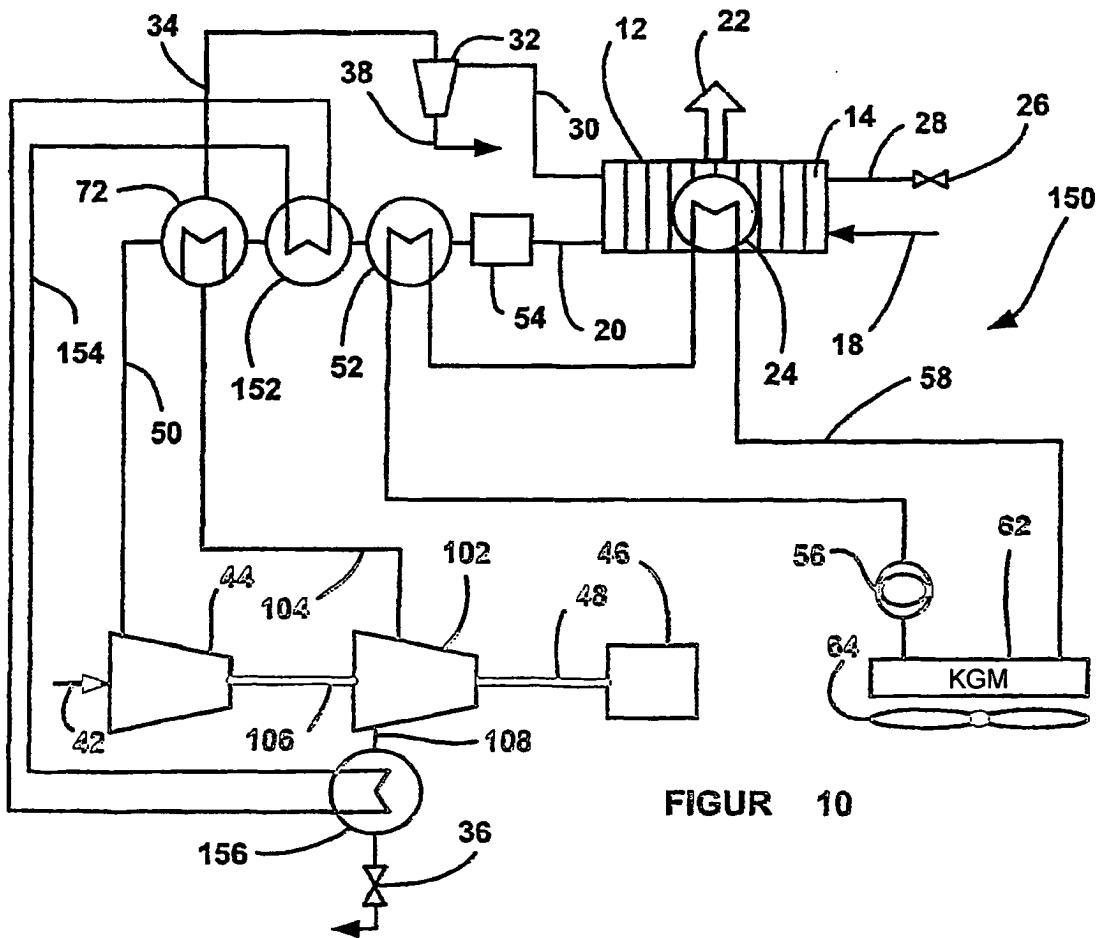
FIGUR 7



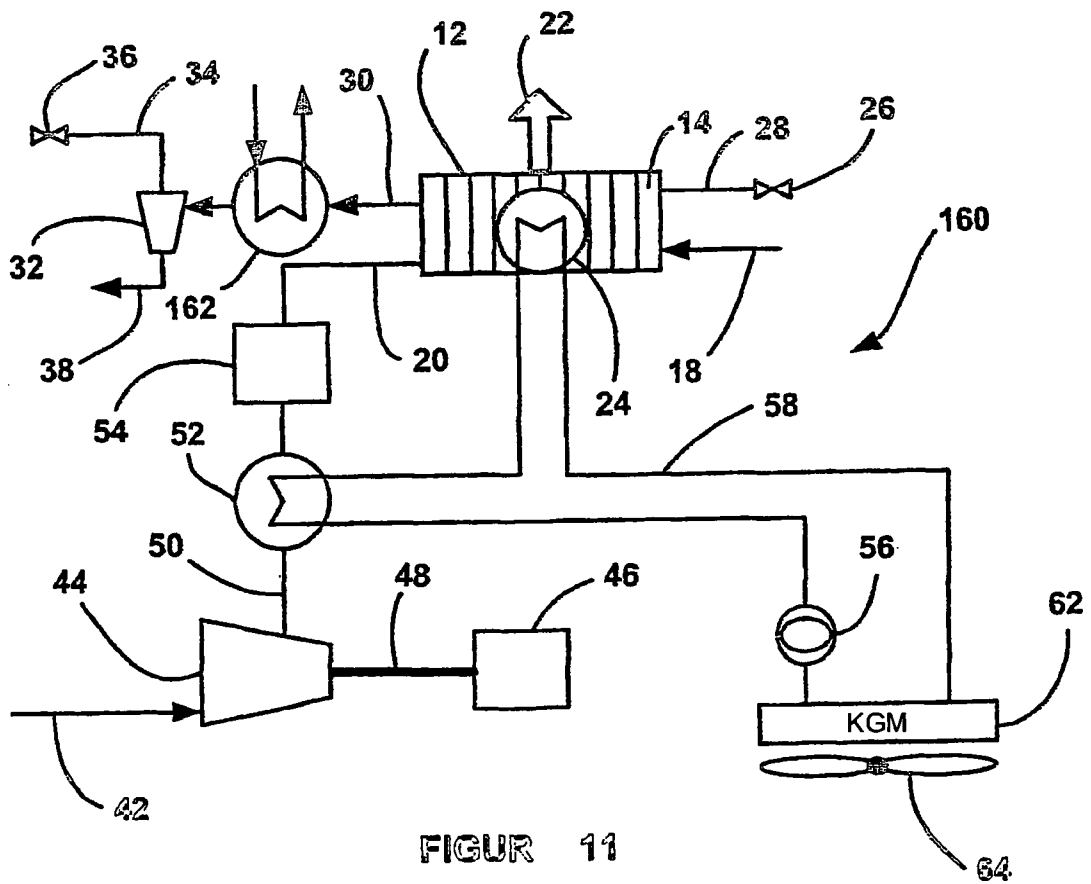
FIGUR 8



FIGUR 9



FIGUR 10



FIGUR 11