

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
4. November 2004 (04.11.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/095618 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01M 8/06**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/002073

(22) Internationales Anmeldedatum:  
2. März 2004 (02.03.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 18 495.3 24. April 2003 (24.04.2003) DE



(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **BAYERISCHE MOTOREN WERKE [DE/DE];** Aktiengesellschaft, Petuelring 130, 80809 München (DE).

(72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LAMP, Peter [DE/DE];** Mainstr. 25, 86916 Kaufring (DE). **KAMMERER, Jürgen [DE/DE];** Kellerstr. 15, 85276 Pfaffenhofen (DE). **EDLINGER, Bernhard [DE/DE];** Stadtjaegerstr. 26, 86152 Augsburg (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **BMW AG;** Patentabteilung, AJ-3, 80788 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: ENERGY CONVERTING DEVICE, AND REFORMER UNIT AND FUEL CELL UNIT THEREFOR

(54) Bezeichnung: ENERGIEUMWANDLUNGSVORRICHTUNG SOWIE REFORMEREINRICHTUNG UND BRENNSTOFFZELLEINEINRICHTUNG HIERFÜR

(57) Abstract: The invention relates to an energy converting device comprising a reformer unit and a fuel cell unit which is mounted downstream of the reformer unit. The reformer unit is provided with at least one fuel delivery duct, an air delivery duct, and a reformer. A reformat heat exchanger which transfers heat from the hot reformat gas to a fluid in a fluid circuit is disposed between the reformer and the fuel cell unit.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Energieumwandlungsvorrichtung mit einer Reformereinrichtung und einer Brennstoffzelleneinrichtung, welche der Reformereinrichtung nachgeordnet ist, wobei die Reformereinrichtung zumindest über eine Brennstoffzufuhrleitung und eine Luftzufuhrleitung verfügt, und die Reformereinrichtung einen Reformer aufweist, wobei zwischen dem Reformer und der Brennstoffzelleneinrichtung ein Reformatwärmetauscher angeordnet ist, welcher Wärme vom heissen Reformatgas hin zu einem Fluid in einem Fluidkreislauf überträgt.

**WO 2004/095618 A2**

**Energieumwandlungsvorrichtung sowie Reformereinrichtung und  
Brennstoffzelleneinrichtung hierfür**

5

Die Erfindung betrifft eine Energieumwandlungsvorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, eine Reformereinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 13 und eine Brennstoffzelleneinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 18, insbesondere zur Umwandlung von chemischer Energie in elektrische Energie und Wärmeenergie.

Aus dem Stand der Technik sind Hilfsenergieversorgungseinrichtungen (Auxiliary Power Units; APU) bekannt, die in Flugzeugen (Turbinen mit Generator), Nutzfahrzeugen und Schiffen (Dieselmotor mit Generator) oder in der Raumfahrt (Brennstoffzellen) bereits im Serieneinsatz sind. Merkmal einer Hilfsenergieversorgungseinrichtung ist, dass sie unabhängig von dem eigentlichen Antriebsaggregat des Fahrzeugs, das Bordnetz des Fahrzeugs mit Strom versorgen kann.

Bekannte Möglichkeiten sind zum einen der Antrieb eines Generators über ein motorunabhängiges Aggregat, basierend auf interner Verbrennung (Diesel-, Ottomotor) oder externer Verbrennung (Stirling-Motor, Rankine-Cycle) und zum anderen der Einsatz einer Brennstoffzelle. Außerdem sind unterschiedliche Typen von Brennstoffzellen, z. B. Membran-Brennstoffzellen, Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen und Festelektrolytbrennstoffzellen bekannt, die im Prinzip für eine Hilfsenergieversorgungseinrichtung eingesetzt werden können. Außerdem sind auch Reformer und Gasreinigungseinrichtungen bekannt, die es erlauben, aus Benzin, Diesel, Methanol, Erdgas oder anderen höheren Kohlenwasserstoffen ein Synthesegas zu erzeugen, das in den

Brennstoffzellen elektrochemisch in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

Membran-Brennstoffzellen (PEMFC, DMFC) werden bei ca. 80-100°C

5 betrieben und können nur reinen Wasserstoff umsetzen, sodass neben dem eigentlichen Reformer eine aufwendige Gasreinigung notwendig ist. Festelektrolytbrennstoffzellen (SOFC) arbeiten bei 700-1000°C und sind aufgrund der höheren Betriebstemperatur und ihrer Funktionsweise in der Lage, 10 unterschiedliche Synthesegase mit geringeren Reinheitsanforderungen umzusetzen. Dies erlaubt ein relativ einfaches Energieumwandlungssystem, z. B. bestehend aus einer Reformierung mittels partieller Oxidation (POx-Reformer) und einer Festelektrolyt-Brennstoffzelle.

15

Nicht in der Brennstoffzelle zur Stromproduktion benutztes Reformat wird in einer Abgasnachreinigung verbrannt. Abwärme, die im System bei der partiellen Oxidation im Reformer, der chemischen Reaktion im Brennstoffzellenstapel und bei der 20 Nachverbrennung entsteht, wird, sofern sie nicht systemintern zur Vorwärmung von Edukten genutzt wird, durch das Abgas aus dem System entlassen.

Derartige Systeme sind bekannt, haben jedoch den Nachteil, 25 dass der erreichbare Wirkungsgrad noch nicht optimal ist und ein relativ hoher Anteil der dem System zugeführten chemischen Energie in Form von Wärmeenergie mit dem Abgas abgegeben wird. Weiterhin haben bekannte Systeme den Nachteil, dass sie hinsichtlich ihres Bauraumbedarfes wenig anpassbar an 30 herrschende Bauraumbedingungen sind, sodass ein hoher Aufwand zur Integration derartiger Systeme in bauraumbeengten Verhältnissen, z. B. in einem Kraftfahrzeug, erforderlich ist.

Aus der EP 0 797 367 B1 ist eine Brennstoffzellenanlage mit 35 Wärmenutzung des Kathodengases und ein Verfahren zu ihrem

Betrieb bekannt. Diese Druckschrift offenbart eine Kombination eines Brennstoffzellenelements, insbesondere eines Festoxid-Brennstoffzellenelements, dessen kathodenseitiges Abgas über einen Wärmetauscher geleitet wird, um dem kathodenseitigen 5 Frischgas Wärme zuzuführen. Anschließend wird das Kathodenabgas teilweise, über einen weiteren Wärmetauscher einer Hochdruckseite einer Gasturbine zugeführt, um einen Teil des im Kathodenabgas enthaltenen Energieinhalts in Bewegungsenergie umzusetzen. Diese Bewegungsenergie wird dann 10 für Versorgungspumpen des Systems, z. B. zur Förderung von Luft oder Kathodenabgas, verwendet. Weiterhin wird vorgeschlagen, die Bewegungsenergie eventuell zum Antrieb eines Generators zu nutzen.

15 Bei dieser Brennstoffzellenanlage ist von Nachteil, dass sie hinsichtlich ihres Bauraumes wenig flexibel ausgebildet ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Energieumwandlungsvorrichtung anzugeben, welche einen 20 gesteigerten, d. h. optimierten Gesamtwirkungsgrad aufweist und/oder einfach an verschiedene und/oder beengte Bauraumverhältnisse anpassbar ist.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine 25 Reformereinrichtung, insbesondere für die Energieumwandlungsvorrichtung, anzugeben, welche sowohl als Reformer als auch als Heizeinrichtung betreibbar ist und insbesondere zwischen diesen Zuständen stufenlos einstellbar ist.

30 Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Brennstoffzelleneinrichtung, insbesondere für die Energieumwandlungsvorrichtung, anzugeben, welche mit geringen Gastemperaturen, d. h. mit geringen Temperaturen der der 35 Brennstoffzelle zuführenden Reaktionsgase (Eduktgase)

betreibbar ist. Weiterhin soll die erfindungsgemäße Brennstoffzelleneinrichtung eine nur geringe Abgastemperatur (Produktgase) aufweisen.

5 Die Aufgabe betreffend die Energieumwandlungsvorrichtung wird mit einer Energieumwandlungsvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in dem vom Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen angegeben. Die Aufgabe betreffend die Reformereinrichtung wird mit einer Reformereinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in dem vom Anspruch 13 abhängigen Ansprüchen angegeben. Die Aufgabe betreffend die Brennstoffzelleneinrichtung wird mit einer Brennstoffzelleneinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 18 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den vom Anspruch 18 abhängigen Ansprüchen angegeben.

20 Eine erfindungsgemäße Reformereinrichtung kann sowohl als Reformer für eine nachgeschaltete Brennstoffzelleneinrichtung als auch als Standheizer/Zuheizer betrieben werden, wobei der Brennraum der Reformereinrichtung durch Einbau eines Katalysatorträgers, d. h. eine keramische oder metallische Matrix, mit aufgebrachtem Katalysator sowie die Luft-, Brennstoff- und Kühlwasserzufuhr und deren Regelung derart modifiziert ist, dass die Umsetzung des Kraftstoffes und damit die Synthesegas- und Wärmeproduktion der Reformereinrichtung innerhalb der Grenzwerte "vollständige Verbrennung = maximale Wärmeproduktion" und "vollständige Reformierung = maximale Synthesegasproduktion" frei wählbar ist. Dies bedeutet, dass 25 die erfindungsgemäße Reformereinrichtung wahlweise als Standheizer/Zuheizer oder als partieller Oxidationsreformer (POx-Reformer) oder als eine Mischung aus beiden funktioniert.

30 Ein weiteres bevorzugtes Merkmal der erfindungsgemäßen Reformereinrichtung ist, dass neben Benzin bzw. Diesel und

Luft ein weiteres Medium, z. B. ein Anodenabgas aus einer Festelektrolyt-Brennstoffzelle oder Wasserdampf, eingespeist werden kann.

- 5 Ein weiteres bevorzugtes Merkmal der erfindungsgemäßen Reformereinrichtung ist, dass im Gegensatz zu einem POx-Reformer nach dem Stand der Technik das Synthesegas (=Reformat) durch die spezielle Konstruktion des Wärmetauschers, der integraler Bestandteil der Reformereinrichtung ist, mit einer typischen Reformat- oder Abgastemperatur von etwa 300°C-400°C, insbesondere 350°C oder darunter verlässt. Die Wärmemenge, die das Synthesegas zwischen der Betriebstemperatur der Reformierung (Temperatur des Synthesegases ca. 800°C - 1050°C) und der Auslasstemperatur aus der erfindungsgemäßen Reformereinrichtung (Synthesegasauslasstemperatur ca. 350°C) abgibt, wird dem Kühlwasser aufgegeben und ist somit nutzbar, wodurch der Gesamtwirkungsgrad hoch ist.
- 20 Erst die erfindungsgemäß beschriebene Abkühlung des Reformats erlaubt es, kostengünstig und mit relativ geringem konstruktivem Aufwand, eine im Fahrzeug räumlich getrennte Unterbringung der Reformereinrichtung und einer zugehörigen Brennstoffzelleneinrichtung oder des Antriebsmotors 25 (insbesondere in der Funktion als Motorvorwärmleinrichtung für den Kaltstart) zu erreichen und somit eine Flexibilität im Packaging zu realisieren, welche für einen flexiblen, d. h. an unterschiedliche Bauraumgegebenheiten anpassbaren Verbau in einem Fahrzeug erwünscht ist. Weiterhin ist vorteilhaft, dass 30 für die Reformereinrichtung nur der Montageraum eines Standheizers oder eines Zuheizers benötigt wird und die Anbindung ans Kühlwassernetz ohne Änderung gegenüber einem Standheizer/Zuheizer gemäß dem Stand der Technik bestehenbleiben kann.

Eine erfindungsgemäße Brennstoffzelleneinrichtung ist als Stromerzeugungsmodul ausgebildet und besteht aus einem Festelektrolytbrennstoffzellen-Stapel, einem Anodengaswärmetauscher und insbesondere einem Kathodenluftwärmetauscher, wobei kaltes, insbesondere von der Reformereinrichtung zur Verfügung gestelltes Reformat durch die Wärme des Anodenabgases im Anodengaswärmetauscher auf eine Temperatur aufgewärmt wird, die einen Eintritt in den heißen Festelektrolytbrennstoffzellen-Stapel erlaubt. Gleichzeitig wird das Anodenabgas auf eine Temperatur abgekühlt, die eine weitere Verteilung im Fahrzeug in einfacher Weise ohne Verwendung aufwendig isolierter Leitungen aus hochtemperaturbeständigen Materialien erlaubt. Dieser Vorgang kann mittels des Anodengaswärmetauscher oder eines zusätzlichen, dem Anodengaswärmetauscher nachgeschalteten Zusatzwärmetauscher, erfolgen, wobei das Vorsehen des Zusatzwärmetauschers eine bevorzugte Ausführungsform darstellt.

Weiterhin ist es vorteilhaft, die Brennstoffzelleneinrichtung durch einen Kathodenluftwärmetauscher, der die Kathodenzuluft von Umgebungstemperatur auf eine Temperatur aufwärmst, die einen Eintritt in den heißen Festelektrolytbrennstoffzellen-Stapel erlaubt, weitergebildet ist und dabei die Wärme der Kathodenabluft und/oder des in der Nachverbrennung erzeugten Abgases ausnutzt.

Weiterhin ist es gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Kathodenluftwärmetauschers vorteilhaft, dass auf der Kathodengasauslassseite einer Brennstoffzelle vor dem Kathodengaswärmetauscher die Einspeisung von Anodenabgas und damit die vollständige Umsetzung noch brennbarer Bestandteile im Anodenabgas mit der Kathodenluft möglich wird. Eine mögliche Ausführungsform hierfür ist, dass die 35 Wärmetauscherflächen der Kathodenabluftseite mit einem

entsprechenden Oxidationskatalysator belegt sind. Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung ist, dass die Bestandteile Anodengaswärmetauscher, Festelektrolytbrennstoffzellen-Stapel und 5 Kathodenluftwärmetauscher teilweise oder jeweils ganz zu einer Einheit zusammengefasst und modularisch ausgebildet sind. Die Bereitstellung der elektrischen Energie erfolgt durch die elektrochemische Umwandlung des Reformatgases im Festelektrolytbrennstoffzellen-Stapel in im Wesentlichen 10 bekannter Art und Weise.

Eine erfindungsgemäße Reformereinrichtung und eine erfindungsgemäße Brennstoffzelleneinrichtung sind erfindungsgemäß zu einer Energieumwandlungsvorrichtung derart 15 zusammengeschaltet, dass einer der Brennstoffzelleneinrichtung kathodenseitig nachgeordneten Nachbrennkammer sowohl Frischreformatgas, als auch Anodenabgas sowie ggf. Nachbrennfrischluft und Kathodenabgas zuführbar sind. Hierfür ist vorgesehen, dass in der frischreformatgasführenden Leitung 20 ein erstes Dreiwegeventil angeordnet ist und in einer Anodenabgasleitung nach dem Anodengaswärmetauscher und ggf. nach dem Zusatzwärmetauscher ein zweites Dreiwegeventil angeordnet ist, mit dem ein Teilstrom des Restreformatgases abzweigbar und der Nachbrennkammer zuführbar ist, während der 25 andere Teilstrom dem Reformer zugeführt wird, wodurch der elektrische Wirkungsgrad des Systems steigt. Vorteilhaft bei dieser Anordnung ist, dass z. B. beim Startvorgang der Energieumwandlungsvorrichtung Abgas bzw. Reformatgas geringerer Qualität nach Art eines Bypasses um den 30 Festelektrolytbrennstoffzellen-Stapel herumführbar ist und dieser somit vor eventuellen Beschädigungen geschützt ist. Ebenso kann in vorteilhafter Art und Weise Reformatgas zwischen dem Brennstoffzellenstapel und dem Kathodenluftwärmetauscher aufgeteilt werden. Insbesondere bei 35 Teillast gewährleistet dies zusätzliche Flexibilität im

Wärmemanagement der Kathodenzuluft und des Brennstoffzellenstapels. Die Dreiwegeventile in der Frischreformatgasleitung und der Anodenabgasleitung sind bei Vorrichtungen gemäß dem Stand der Technik zwangsweise als so genannte Heißgasventile auszubilden, da die Gastemperaturen üblicher Reformereinrichtungen bzw. Brennstoffzelleneinrichtungen in diesen Bereichen etwa 700°C bis 900°C betragen. Bei einer erfindungsgemäßen Energieumwandlungsvorrichtung mit einer erfindungsgemäßen Reformereinrichtung und einer erfindungsgemäßen Brennstoffzelleneinrichtung sind die Temperaturen im Bereich der Dreiwegeventile wesentlich geringer und betragen in etwa 300°C oder darunter, sodass hier Standardbauteile eingesetzt werden können, was die Kosten und den konstruktiven Aufwand erheblich reduziert. Weiterhin kann dem Dreiwegeventil in der Anodenabgas-, d. h. der Restreformat-Leitung, nachgeordnet eine Gasfördereinrichtung zur Überwindung des Druckverlustes zwischen der Anodenabgasseite der Brennstoffzelleneinrichtung und der Reformereinrichtung angeordnet sein. Durch die dadurch erzielte Zirkulierung des Anodenabgases lässt sich die Ausnutzung der im Brennstoff enthaltenen chemischen Energie zur Stromerzeugung und damit der elektrische Wirkungsgrad und der Gesamtwirkungsgrad deutlich steigern. Die Gasfördereinrichtung zusammen mit dem zugehörigen Dreiwegeventil können bei der erfindungsgemäßen Anordnung ebenfalls als Standardbauteile ausgeführt werden, da die vorliegenden Gastemperaturen ca. 300°C oder weniger betragen.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Energieumwandlungsvorrichtung mit einer erfindungsgemäßen Reformereinrichtung und einer erfindungsgemäßen Brennstoffzelleneinrichtung;

Fig. 2 eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Energieumwandlungsvorrichtung gemäß Fig. 1.

5 Eine erfindungsgemäße Energieumwandlungsvorrichtung 1 (Fig. 1) besitzt eine erfindungsgemäße Reformereinrichtung 2, eine erfindungsgemäße Brennstoffzelleneinrichtung 3 und eine Verteilungseinrichtung 4.

10 Die erfindungsgemäße Reformereinrichtung 2 weist einen, im Wesentlichen bekannten Reformer 10, dem über eine Brennstoffzuführleitung 11 Brennstoff und über eine Frischluftzuführleitung 12 Umgebungsluft zuführbar ist. Der Reformer 10 arbeitet nach dem katalytischen Prinzip, d. h., 15 dass entlang einer Reformermatrix, auf der sich ein Katalysator befindet, der Kraftstoff in ein Reformatgas umgewandelt wird.

20 Eine weitere mögliche Arbeitsweise des Reformers 10 ist die Umwandlung des Kraftstoff und der Umgebungsluft zu dem Reformatgas im Wege einer so genannten offenen Verbrennung, welche im Reformerbetrieb üblicherweise als fette Verbrennung, d. h. mit Kraftstoffüberschuss, abläuft.

25 Weiterhin weist die Reformereinrichtung 2 Mittel zum Einstellen des Kraftstoff-Luftverhältnisses im Reformer 10 auf. Beispielsweise sind diese Mittel als Drosselventil in der Frischluftzuführleitung (nicht gezeigt) ausgebildet. Diese Mittel zum Einstellen des Kraftstoff-Luftverhältnisses im 30 Reformer 10 sind dabei derart ausgelegt, dass das Kraftstoff-Luftverhältnis von einem so genannten fetten Gemisch, d. h. einem Gemisch mit Kraftstoffüberschuss, mit einem Lambda-Wert von ungefähr  $\lambda=0,3$  bis 0,35 bis zu einem stöchiometrischen Verhältnis zwischen Sauerstoff und Kraftstoff, d. h. einem 35 Lambdawert von  $\lambda=1$  einstellbar ist. Bei einer Verbrennung des

Kraftstoffs mit einem Lambda-Wert von  $\lambda < 1$  liegt eine so genannte fette Verbrennung vor, sodass das Abgas als Reformatgas vorliegt und Wasserstoff enthält. Bei einem Lambda-Wert von  $\lambda=1$  (stöchiometrisches Kraftstoff-Luftverhältnis) liegt eine so genannte vollständige Verbrennung vor, sodass im Abgas, welches den Reformer 10 verlässt, lediglich  $\text{CO}_2$  und Wasser enthalten ist, also im wesentlichen kein Reformatgas vorliegt. Somit arbeitet der Reformer 10 im Bereich kleiner Lambda-Werte ( $\lambda = 0,3$  bis  $0,35$ ) als reiner Reformer und im Bereich des stöchiometrischen Kraftstoff-Luftverhältnisses ( $\lambda = 1$ ) als reiner Heizer, wobei durch die Zugabe von Frischluft jeder beliebige Zwischenbetriebspunkt zwischen den beiden Extrembetriebspunkten Reformer und Heizer eingestellt werden kann.

Gas, welches den Reformer 10 verlässt, d.h. Reformatgas oder Abgas oder eine Mischung aus beiden, wird einem dem Reformer 10 nachgeschalteten Reformatgaswärmetauscher 13 zugeleitet und durchströmt diesen. Hierbei wird dem Reformatgas bzw. dem Abgas Wärme entzogen und einem Fluid, z. B. einem Kühlwasser in einer Fluidleitung 14, zugeführt. Bevor das Reformatgas den Reformatgaswärmetauscher erreicht, liegt es mit einer Gastemperatur von ca.  $900-1100^\circ\text{C}$  vor (Stelle B). Den Reformatgaswärmetauscher 13 verlässt das Reformatgas bzw. das Abgas mit einer Temperatur von  $200-350^\circ\text{C}$  (Stelle A).

Weiterhin weist der Reformer 10 einen Anschluss auf, an dem eine Restreformat-Leitung 15 angeschlossen ist. In der Restreformat-Leitung 15 wird - wie weiter unten beschrieben - Anodengas, welches ggf. noch Restbestandteile des Reformats enthält, gefördert. Die Restbestandteile an Reformat werden im Reformer 10 dem Reformatgas beigemischt oder zu Wärme umgesetzt.

Im Betrieb als reiner Heizer liefert die Reformereinrichtung 10 an der Stelle A lediglich Abgas und stellt dem Reformgaswärmetauscher 13 eine maximale Wärmemenge zur Verfügung, welche dem Fluid in der Fluidleitung 14 aufgegeben wird. Somit arbeitet die Reformereinrichtung 10 als Heizgerät und kann insbesondere in Fahrzeugen beispielsweise als Standheizung oder als Zusatzheizung eingesetzt werden. Die Frischluftzuführleitung 12 wird durch ein Gebläse 16 mit Frischluft, z. B. Umgebungsluft, versorgt.

10

Eine erfindungsgemäße Brennstoffzelleneinrichtung 3. weist zumindest eine Brennstoffzelle, insbesondere zumindest einen Festelektrolytbrennstoffzellen-Stapel 20, auf, welcher in bekannter Art und Weise einen Anodengaseinlass 21, einen 15 Anodengasauslass 22, einen Kathodengaseinlass 23 und einen Kathodengasauslass 24 aufweist.

Dem Anodengaseinlass 21 vorgeordnet ist ein Anodengaswärmetauscher 26, durch welchen Frischreformat über 20 eine Frischreformatzuführleitung 27 zugeführt wird. Mit seinem zweiten Kreis ist der Anodengaswärmetauscher 26 mit dem Anodengasauslass verbunden und wird somit von heißem, 900-1100°C heißem Anodenabgas durchströmt. Das heiße Anodenabgas gibt dabei Wärme an das relativ niedrig temperierte 25 Anodenfrischgas, d. h. das Reformatgas aus der Reformereinrichtung 2, ab und wärmt dieses vor dem Eintritt in die Brennstoffzelle 20 an. Nach dem Durchströmen des Anodengaswärmetauschers 26 besitzt das Anodenabgas eine Temperatur von etwa 200-350°C (Stelle C). Nach dem 30 Anodengaswärmetauscher 26 wird das Anodenabgas, welches ggf. Restreformat enthalten kann, über eine Reformatrücklaufleitung 15, 28 über ein erstes Dreiwegeventil 29 und ggf. ein Gebläse 30 dem Reformer 10 zugeführt.

Das erste Dreiwegeventil 29 oder auch das Gebläse 30 alleine ermöglicht das geregelte und/oder gesteuerte Abzweigen eines Teilstroms des Restreformatgases bzw. des Anodenabgases in eine erste Zweigleitung 31, welche mit einer dem 5 Kathodengasauslass der Brennstoffzelle 20 nachgeordneten Nachbrennkammer 32 verbunden ist.

In der Frischreformatzuführleitung 27 ist dem Anodengaswärmetauscher 26 vorgeordnet ein zweites 10 Dreiwegeventil 33 angeordnet, welches über eine zweite Zweigleitung 34 mit der Nachbrennkammer 32 verbunden ist. Über das zweite Dreiwegeventil 33 kann geregelt und/oder gesteuert ein Teilstrom des Frischreformatgases über die zweite Zweigleitung 34 der Nachbrennkammer 32 zugeführt werden. 15 Weiterhin führt ggfs. vom Gebläse 16 eine Frischluftzuführleitung 35 zur Nachbrennkammer 32.

In der Nachbrennkammer 32 wird kathodenseitiges Abgas, welches den Kathodengasauslass 24 der Brennstoffzelle 20 verlässt, 20 ggf. unter geregelter und/oder gesteuerter Zugabe von Restreformat über die Zweigleitung 31 und/oder die geregelte und/oder gesteuerte Zugabe von Frischreformat über die Zweigleitung 34 vollständig verbrannt, sodass nach der Nachbrennkammer 32 brennstofffreies heißes Abgas vorliegt 25 (Stelle D).

Der Nachbrennkammer 32 ist abgasseitig ein Kathodengaswärmetauscher nachgeordnet, welcher einerseits von dem heißen, brennstofffreien Abgas aus der Nachbrennkammer 32 30 durchströmt wird, wobei das heiße, brennstofffreie Abgas Wärme abgibt. Andererseits ist der Kathodengaswärmetauscher 36 mit dem Gebläse 16 über eine Frischluftzuführleitung 37 und mit dem Kathodengaseinlass 23 der Brennstoffzelle 20 verbunden, sodass der Kathodengaswärmetauscher 36 von Frischluft 35 durchströmbar ist, welche im Kathodengaswärmetauscher 36 Wärme

vom heißen, brennstofffreien Abgas aufnimmt und somit vorerhitzt in die Brennstoffzelle 20 gelangt.

Das Abgas, welches den Kathodengaswärmetauscher 36 verlässt, 5 hat eine Temperatur von ca. 200-300°C, was ein sehr geringes Temperaturniveau darstellt.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind der Reformer 10 und der 10 Reformgaswärmetauscher 13 zur Reformereinrichtung 2 und der Brennstoffzellenstapel 20, der Anodengaswärmetauscher 26, die Nachbrennkammer 32 und der Kathodengaswärmetauscher 36 zur Brennstoffzelleneinrichtung 3 modular zusammengefasst.

15 Weiterhin kann vorteilhafterweise das erste Dreiwegeventil 29, das zweite Dreiwegeventil 33 und ggf. das Gebläse 30 zur Verteilungseinrichtung 4 modular zusammengefasst sein, wobei die so entstehenden Module in einfacher Art und Weise lediglich durch Niedertemperaturleitungen verbunden werden 20 müssen, da aus keinem der Modulauslässe Heißgas, d. h. Gas mit einer Temperatur von beispielsweise über 400°C, gelangt. Somit können die Reformereinrichtung 2, die 25 Brennstoffzelleneinrichtung 3 und die Verteilungseinrichtung 4 mit großer Variabilität beispielsweise in einem Kraftfahrzeug positioniert werden und mittels kostengünstiger und mit geringem Konstruktions- und Fertigungsaufwand herstellbarer Leitungen zur Ausbildung der Energieumwandlungsvorrichtung 1 verbunden werden.

30 Eine erfindungsgemäße Energieumwandlungsvorrichtung 1 hat zudem den Vorteil, dass, insbesondere bei einem variablen Reformerbetrieb zwischen den Betriebspunkten Reformer und Heizer der Einbau eines Zusatzheizers oder einer Standheizung vollständig entfallen kann und trotzdem die Komfortmerkmale

einer Zuheizung und Standheizung sowie die Möglichkeit einer Motorvorwärmung im Kaltstartbetrieb gegeben sind.

Die elektrische Energie wird von der Brennstoffzelle 20 an 5 Anschlussklemmen 40a, 41a zur Verfügung gestellt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung (Fig. 2) ist zwischen dem Anodengaswärmetauscher 26 und dem ersten Dreiwegeventil 29 ein weiterer Wärmetauscher, z. B. ein 10 Zusatzwärmetauscher 40, angeordnet, welcher einerseits von Temperatur-reduziertem Anodenabgas, welches den Anodengaswärmetauscher 26 verlassen hat, durchströmt wird. Andererseits ist der Zusatzwärmetauscher 40 mit der 15 Frischluftzuführleitung 37 verbunden, sodass Wärme des Anodenabgases an die zugeführte Frischluft abgegeben wird, welche somit über eine Brückenleitung 41, welche den Zusatzwärmetauscher 40 mit dem Eingang des Kathodenwärmetauschers 36 verbindet, gelangt. Somit kann eine weitere Temperaturreduzierung des Restreformatgases in der 20 Restreformatgasleitung 15,28 erreicht werden und zudem eine Vorwärmung der Kathodenfrischluft erzielt werden, bevor sie dem Kathodenwärmetauscher 36 zugeführt wird.

Bei der erfindungsgemäßen Energieumwandlungsvorrichtung ist es 25 von besonders großem Vorteil, dass durch die erfindungsgemäße Reformereinrichtung 10 eine Mehrfachverwendung von Bauteilen durch den modularen Aufbau verwirklicht werden kann, sodass die Komponenten für verschiedene Applikationen nur unwesentlich modifiziert werden müssen. Somit kann eine hohe 30 Integrationsfähigkeit dieser Komponenten in verschiedenste Fahrzeuge erreicht werden, da in einfacher Art und Weise die Möglichkeit besteht, die Schnittstellen bzw. die Kopplungsstellen zu standardisieren. Somit können die Einzelteile der Energieumwandlungsvorrichtung in erheblich

höheren Stückzahlen gefertigt werden, was zu einer Kostenreduzierung führt.

Weiterhin erlaubt die erfindungsgemäße 5 Energieumwandlungsvorrichtung den vollständigen Entfall von Zuheizern und Standheizungen ohne Einbußen im Komfort bzw. bei den Kaltstarteigenschaften des Antriebsmotors.

Die erfindungsgemäße Energieumwandlungsvorrichtung stellt eine 10 hocheffiziente Stromversorgung mit gekoppelter Wärmenutzung bei extrem hohem Wirkungsgrad, welcher .. durch Rezirkulierungsmaßnahmen von Anodenabgas noch gesteigert ist, zur Verfügung. Besonders vorteilhaft ist, dass im gesamten 15 System der Energieumwandlungsvorrichtung die Heißgas führenden Bauteile bzw. Leitungen in Modulen integrierbar sind, sodass Verbindungen zwischen den Modulen ohne Einsatz von Hochtemperaturkomponenten in einfacher Art und Weise ausgebildet werden können.

20 Weiterhin kann durch den modularisierten Aufbau der Reformereinrichtung, der Brennstoffzelleneinrichtung und der Verteilungseinrichtung die erfindungsgemäße Energieumwandlungsvorrichtung mit großer Flexibilität an unterschiedliche Bauraumbedingungen in unterschiedlichen 25 Fahrzeugen angepasst werden.

Ein weiterer großer Vorteil der Erfindung ist, dass bis zum Erreichen eines optimalen Betriebspunktes des Reformers 10 Reformatgas von ggf. geringerer Qualität nicht zwangsläufig 30 durch die Brennstoffzelle 20 geleitet werden muss, sondern über das zweite Dreiwegeventil 33 direkt in die Nachbrennkammer 32 geleitet werden kann, sodass eine Beschädigung bzw. Verunreinigung der Brennstoffzelle 20 vermieden ist.

Ein weiterer großer Vorteil ist, dass die Reformereinrichtung und die Brennstoffzelleneinrichtung auch unabhängig voneinander betrieben werden können. Insbesondere kann die Brennstoffzelleneinrichtung auch ohne Reformereinrichtung 5 betrieben werden wenn eine andere Quelle für Reformat aus anderen gründen im Fahrzeug vorhanden ist.

**Patentansprüche**

- 5 1. Energieumwandlungsvorrichtung mit einer Reformereinrichtung (2) und einer Brennstoffzelleneinrichtung (3), welche der Reformereinrichtung (2) nachgeordnet ist, wobei die Reformereinrichtung (2) zumindest über eine Brennstoffzuführleitung (11) und eine Luftzuführleitung 10 (12) verfügt, und die Reformereinrichtung einen Reformer (10) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Reformer (10) und der Brennstoffzelleneinrichtung (3) ein Reformatwärmetauscher (13) angeordnet ist, welcher Wärme vom heißen Reformatgas hin zu einem Fluid überträgt.
- 15 2. Energieumwandlungsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Reformer (10) mit einer Restreformatleitung (15), d.h. mit einer Anodenabgasleitung in Verbindung steht.
- 20 3. Energieumwandlungsvorrichtung nach Anspruch 1 und/oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzelleneinrichtung (3) einen Anodengaswärmetauscher (26) aufweist, welcher Wärme vom heißen Anodenabgas zum Anodenfrischgas (= Reformatgas) 25 überträgt.
4. Energieumwandlungsvorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzelleneinrichtung (3) zumindest eine Brennstoffzelle (20) aufweist welcher anoden- und/oder kathodenabgasseitig eine Nachbrennkammer (32) zugeordnet 30 ist.

5. Energieumwandlungsvorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Nachbrennkammer (32) ein Kathodengaswärmetauscher (36) nachgeordnet ist, welcher Wärme vom Abgas der Nachbrennkammer (32) zum Kathodenfrischgas überträgt.
- 10 6. Energieumwandlungsvorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einer Restreformatrücklaufleitung (15, 28) ein erstes Dreiwegeventil (29) angeordnet ist, welches mit einer ersten Zweigleitung (31) verbunden ist, die mit der Nachbrennkammer (32) verbunden ist.
- 15 7. Energieumwandlungsvorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einer Frischreformatzuführleitung (27) ein zweites Dreiwegeventil (33) angeordnet ist, welches mit einer zweiten Zweigleitung (34) in Verbindung steht, welche in die Nachbrennkammer (32) mündet.
- 20 8. Energieumwandlungsvorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Brennstoffzelle (20), der Anodengaswärmetauscher (26), die Nachbrennkammer (32) und ggfs. der Kathodengaswärmetauscher (36) zu einer Brennstoffzelleneinrichtung (3) modularisch zusammengefasst sind.
- 25 9. Energieumwandlungsvorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Reformer (10) und der Reformatgaswärmetauscher (13) zu einer Reformereinrichtung (2) modularisch zusammengefasst sind.

10. Energieumwandlungsvorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Dreiwegeventil (29), das zweite Dreiwegeventil (33) und ein Gebläse (30) zu einer Verteilungseinrichtung (4) modulartig zusammengefasst sind.  
5
11. Energieumwandlungsvorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Anodengaswärmetauscher (26) und dem ersten Dreieventil (29) ein Zusatzwärmetauscher (40) angeordnet ist, welcher Wärme vom Anodenabgas an das Kathodenfrischgas überträgt.  
10
12. Energieumwandlungsvorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine zentrale Luftversorgungseinheit (16) vorhanden ist, welche Frischluft für den Reformer (10), die Nachbrennkammer (32) und die Brennstoffzelle (20) liefert.  
15
20. 13. Reformereinrichtung, insbesondere für eine Energieumwandlungsvorrichtung (1) nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, mit einem Reformer (10), einer Brennstoffzufuhr (11) und einer Luftzufuhr (12) und einem Reformatausgang (27), dadurch gekennzeichnet, dass dem Reformer (10) ein Reformatwärmetauscher (13) nachgeschaltet ist, welcher Wärme vom Reformatgas auf ein Fluid in einer Fluidleitung (14) überträgt.  
25
14. Reformermodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass für die Einspeisung von Restreformatgas eine Restreformatgaseinlass (15) vorhanden ist.  
30
15. Reformermodul nach Anspruch 13 und/oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zum Einstellen des Kraftstoff-Luft-Verhältnisses im Reformer (10) vorhanden sind.  
35

16. Reformereinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Kraftstoff-Luftverhältnis in einem Bereich von  $\lambda = 0,3$  bis  $\lambda = 1$  5 einstellbar ist.

17. Reformereinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Reformer (10) und der Reformatgaswärmetauscher (13) zu einer 10 Reformereinrichtung (2) modularisch zusammengefasst sind.

18. Brennstoffzelleneinrichtung (3), insbesondere für eine Energieumwandlungsvorrichtung (1) nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12 mit zumindest einer Brennstoffzelle 15 (20) und einer einer Elektrode der Brennstoffzelle (20) abgasseitig nachgeordneten Nachbrennkammer (32) zur Nachverbrennung des Elektrodenabgases, dadurch gekennzeichnet, dass der Nachbrennkammer (32) ein 20 Wärmetauscher (36) nachgeschaltet ist, welcher Wärme vom die Nachbrennkammer (36) verlassenden Abgas an ein Elektrodenfrischgas der Brennstoffzelle (20) überträgt.

19. Brennstoffzelleneinrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Nachbrennkammer (32) 25 kathodenabgasseitig angeordnet ist.

20. Brennstoffzelleneinrichtung nach Anspruch 18 und/oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass anodenabgasseitig ein Anodenabgaswärmetauscher (26) der Brennstoffzelle (20) 30 nachgeschaltet ist, welcher Wärme vom Anodenabgas zum Anodenfrischgas überträgt.

21. Brennstoffzelleneinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass dem 35 Anodengaswärmetauscher bezüglich des Anodenabgasstromes

stromabwärts ein Zusatzwärmetauscher (40) nachgeschaltet ist, welcher Wärme vom Anodenabgas zum Kathodenfrischgas überträgt.

5 22. Brennstoffzelleneinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Nachbrennkammer (32) mittels eines ersten Dreiwegeventils (29) zumindest ein Teilstrom des Anodenabgases zuführbar ist.

10

23. Brennstoffzelleneinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Nachbrennkammer (32) mittels eines zweiten Dreiwegeventils (33) zumindest ein Teilstrom des Frischreformatgases zuführbar ist.

15

24. Brennstoffzelleneinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzelle (20), der Anodenabgaswärmetauscher (26), der Kathodengaswärmetauscher (36), die Nachbrennkammer (32) und ggf. der Zusatzwärmetauscher (40) modularisch zu einer Brennstoffzelleneinrichtung (3) zusammengefasst sind.

20

25 25. Brennstoffzelleneinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Dreiwegeventil (29), das zweite Dreiwegeventil (33) und ein Gebläse (30) zu einer Verteilungseinrichtung (4) modularisch zusammengefasst sind.

25

30 26. Brennstoffzelleneinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass wenn ein Gebläse (30) vorhanden ist das Dreiwegeventil (29) nicht vorhanden ist und die Steuerung und/oder Regelung der Anodenabgasstromes zum Reformer (10) mittels des Gebläses (30) erfolgt.

35

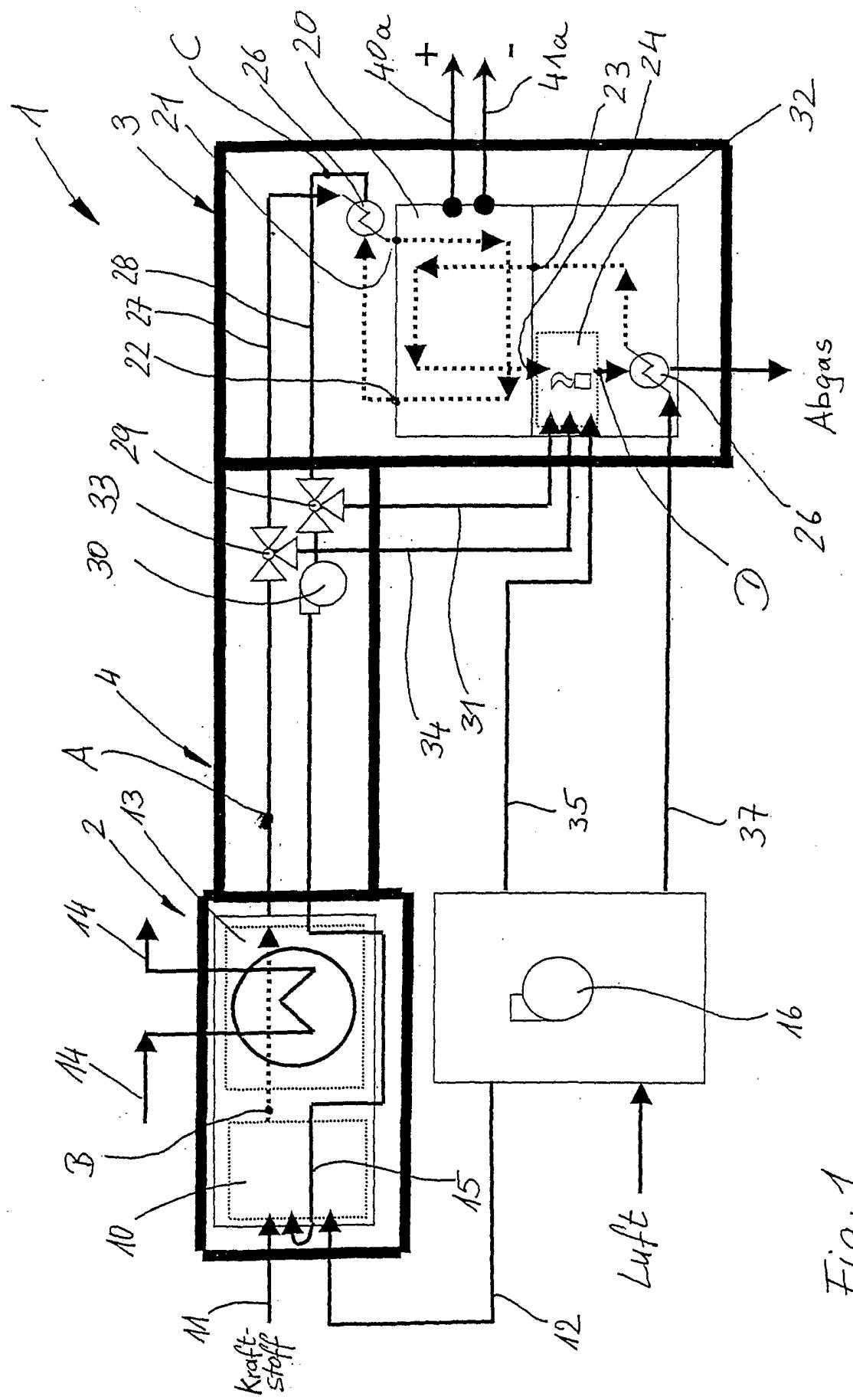
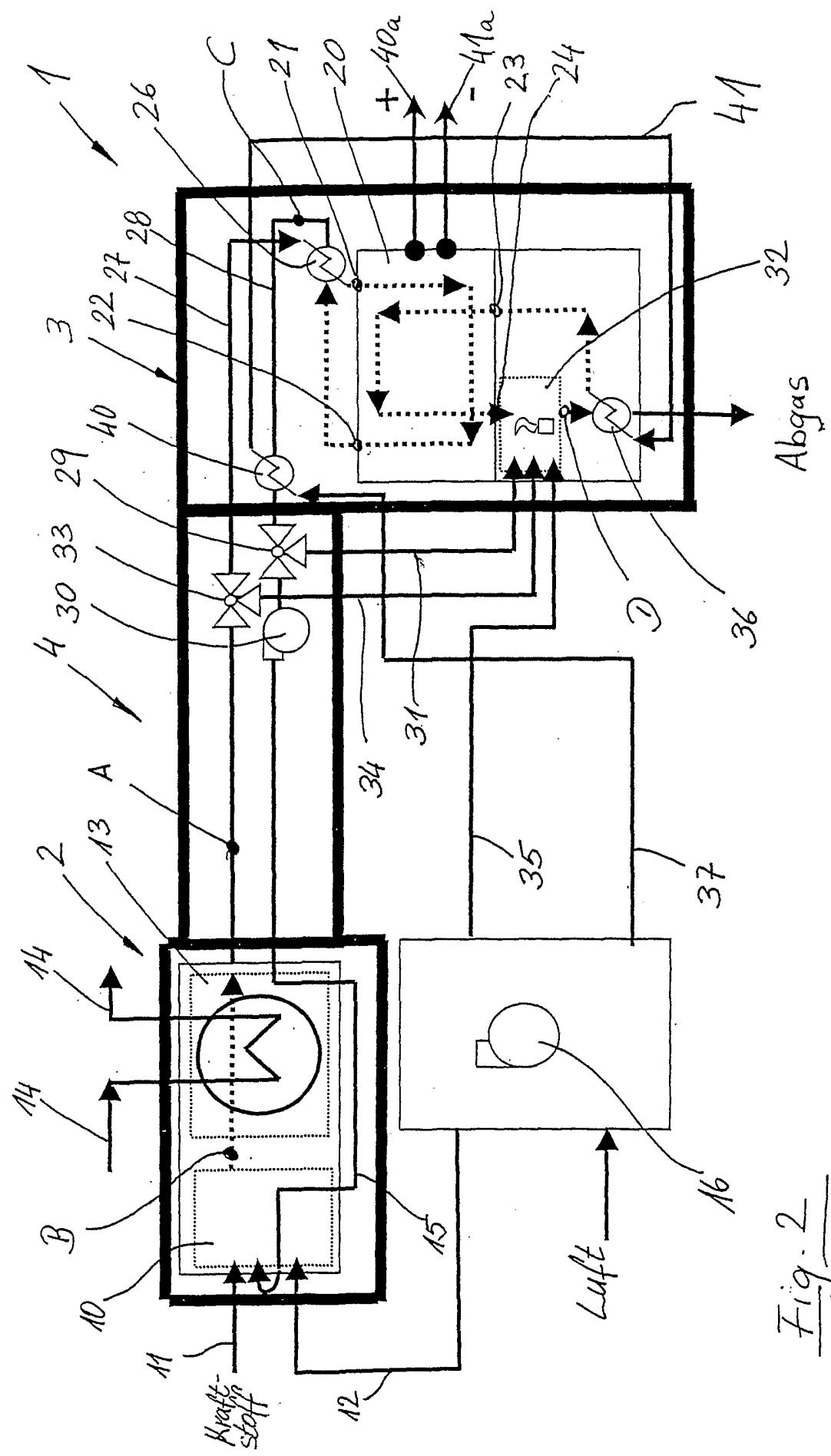


Fig. 1

Fig. 2