

(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
31. Mai 2001 (31.05.2001)

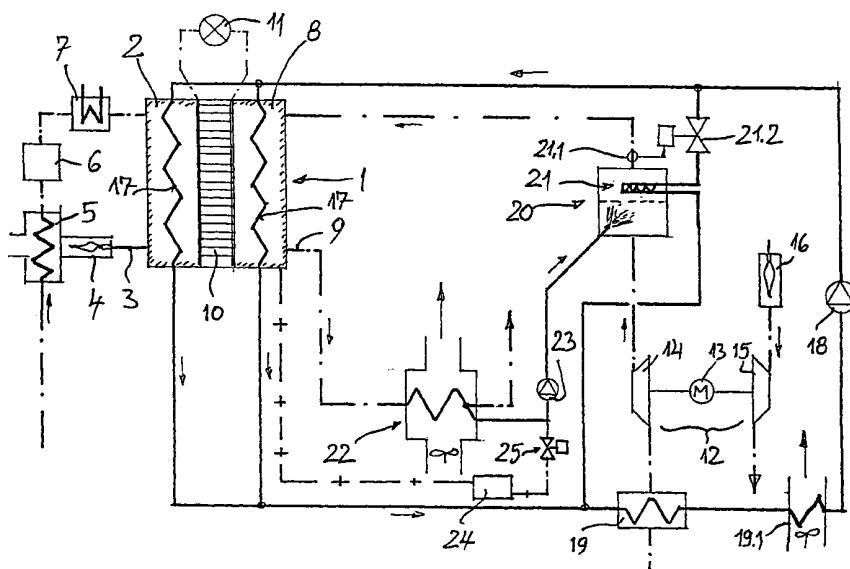
PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/39308 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01M 8/00 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BORNSCHEUER, Walter [DE/DE]; Maria-Theresia-Allee 74, 52074 Aachen (DE). OGRZEWALLA, Jürgen [DE/DE]; Römerstrasse 32, 52428 Jülich (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/11181
- (22) Internationales Anmeldedatum:
11. November 2000 (11.11.2000) (74) Anwälte: LANGMAACK, Jürgen usw.; Postfach 51 08 06, 50944 Köln (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- Veröffentlicht:
— Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.
- (30) Angaben zur Priorität:
199 56 653.4 25. November 1999 (25.11.1999) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FEV MOTORENTECHNIK GMBH [DE/DE]; Neuenhofstrasse 181, 52078 Aachen (DE).
- 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: METHOD FOR IMPROVING THE OUTPUT OF A FUEL CELL, ESPECIALLY A FUEL CELL FOR MOBILE USE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR VERBESSERUNG DER LEISTUNG EINER BRENNSTOFFZELLE, INSBESONDERE BRENNSTOFFZELLE FÜR DEN MOBILEN EINSATZ



(57) Abstract: The invention relates to a method for improving the output of a fuel cell, especially a fuel cell for mobile use, according to which a fuel gas which is compressed under pressure is fed on the anode side, and the resulting anode residual gas is eliminated while utilizing the calorific value thereof. In addition, air that is compressed with the same amount of pressure is fed as oxidation gas on the cathode side, whereby the air is heated before compression and is cooled to the operating temperature of the fuel cell after compression. At least a portion of the cooling capacity for cooling the compressed air is obtained by injecting water, and the resulting cathode residual gas is eliminated.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 01/39308 A2



(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung der Leistung einer Brennstoffzelle, insbesondere einer Brennstoffzelle für den mobilen Einsatz, bei der anodenseitig ein unter Druck verdichtetes Brennstoffgas zugeführt und das entstehende Anodenrestgas unter Ausnutzung seines Brennwertes abgeführt wird, bei dem ferner kathodenseitig unter gleichem Druck verdichtete Luft als Oxidationsgas zugeführt wird, wobei die Luft vor der Verdichtung aufgeheizt und nach der Verdichtung auf die Betriebstemperatur der Brennstoffzelle gekühlt wird, wobei zumindest ein Teil der Kühlleistung zur Abkühlung der verdichteten Luft durch Eindüsen von Wasser aufgebracht wird, und das entstehende Kathodenrestgas abgeführt wird.

Bezeichnung: Verfahren zur Verbesserung der Leistung einer Brennstoffzelle, insbesondere Brennstoffzelle für den mobilen Einsatz

5 Beschreibung

Beim Betrieb von Brennstoffzellen, beispielsweise Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen, wird ein Teil der zugeführten chemischen Energie in elektrische Energie umgesetzt, während der andere Teil in Wärme umgesetzt wird. Um eine Überhitzung der Brennstoffzelle zu vermeiden, muß diese gekühlt werden, um eine vorgegebene Betriebstemperatur, beispielsweise etwa 80°C sicherzustellen.

15 Des weiteren muß die kathodenseitig unter Druck mit Betriebstemperatur als Oxidationsgas zugeführte verdichtete Luft einen relativen Feuchtegehalt von etwa 50% aufweisen. Die beim Verdichten der Luft bewirkte Temperaturerhöhung reicht jedoch nicht aus, um die notwendigerweise einzudüsende Wassermenge vollständig zu verdampfen, so daß hier für den Einspritz- und/oder Verdampfungsvorgang eine zusätzliche Wärmeleistung aufgebracht werden muß.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird einer Brennstoffzelle, anodenseitig unter Druck ein verdichtetes Brennstoffgas zugeführt und das entstehende Anodenrestgas unter Ausnutzung seines Brennwertes abgeführt, ferner kathodenseitig unter gleichem Druck verdichtete Luft als Oxidationsgas zugeführt, wobei die Luft vor der Verdichtung aufgeheizt und nach der Verdichtung auf die Betriebstemperatur der Brennstoffzelle gekühlt wird, wobei zumindest ein Teil der Kühlleistung zur Abkühlung der verdichteten Luft durch Eindüsen von Wasser aufgebracht wird, und das entstehende Kathodenrestgas abgeführt wird. Überraschenderweise hat sich herausgestellt, daß trotz der durch die Aufheizung der Ansaugluft benötigten höheren Verdichtungsleistung eine Verbesserung der elektrischen Leistung der Brennstoffzelle erreicht wird, da durch die

deutlich höhere Temperatur nach der Verdichtung die Verdampfung der benötigten Wassermengen deutlich verbessert wird. Besonders vorteilhaft ist es hierbei, wenn die Brennstoffzelle über ein im Kreislauf geführtes flüssiges Kühlmittel gekühlt wird und die hierbei vom Kühlmittel aufgenommene Wärme wenigstens zum Teil zur Aufheizung der Luft vor der Verdichtung genutzt wird. Da beispielsweise PEM-Brennstoffzellen mit einer Betriebstemperatur zwischen 70°C und 80°C betrieben werden und diese Betriebstemperatur durch Kühlung eingehalten werden muß, ergeben sich größere Mengen an Abwärme mit einem Temperaturniveau von max. 80°C, die an sich nicht weiter genutzt werden können. Es ist sogar problematisch, diese Abwärme mit Kühlern wirtschaftlicher Größe unter allen Betriebsbedingungen einer mobil eingesetzten Brennstoffzelle abzuführen, was insbesondere bei hohen Außentemperaturen Schwierigkeiten bereitet. Bei dem erfindungsgemäßen Erfahren wird die als Oxidationsgas benötigte Luft vor der Verdichtung von einer Umgebungstemperatur von etwa 20°C auf eine Temperatur von etwa 75°C vorgeheizt. Bei einer angenommenen elektrischen Leistung der Brennstoffzelle von 50 kW und einer Ansauglufttemperatur von 20°C können so der Luft ca. 4 kW zugeführt werden, die zusätzlich zu der durch den Verdichtungs Vorgang bewirkten Temperaturerhöhung für die Verdampfung der benötigten Wassermenge zur Verfügung stehen. Auch wenn der Verdichter dadurch eine höhere Leistung benötigt, beispielsweise bei dem angegebenen Ausführungsbeispiel 9,3 kW statt 7,8 kW bei einem Verdichtungsverhältnis $P/P_0 = 2,5$, wird eine Nettoeinsparung von 2,5 kW erreicht, die eine Wirkungsgradverbesserung des Gesamtsystems von 5% entspricht.

30

Für das Einspritzen der benötigten Wassermengen, um bei der gegebenen Betriebstemperatur für die kathodenseitig zuzuführende Luft einen Feuchtegehalt von etwa 50% zu erzielen und andererseits für die Abführung der durch die Verdichtung der Luft zugeführten Wärmemenge durch Kühlung, ist in vorteilhafter Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ferner vorgesehen, daß zumindest ein Teil der Kühlleistung zur Ab-

35

kühlung der verdichteten Luft durch Eindüsen von Wasser auf-
gebracht wird. Die durch die Wärmezufuhr bei der angesaugten
Luft und durch die Verdichtung und zugeführte Wärme kann
hierbei zum überwiegenden Teil durch die Eindüsung und Ver-
5 dampfung des ohnehin benötigten Wassers aufgebracht werden.
Zur Anpassung an wechselnde Betriebszustände kann es zweckmä-
ßig sein, wenn die kathodenseitig zuzuführende Luft zusätz-
lich noch durch ein weiteres Kühlmedium regelbar gekühlt
wird, das beispielsweise vom Kühlkreislauf der Brennstoffzel-
10 le abgezweigt werden kann.

In besonders vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist
vorgesehen, daß das einzudüsende Wasser aus dem Kathodenrest-
gas auskondensiert wird. Diese Verfahrensweise hat den Vor-
15 teil, daß das zur Kühlung in die vorerwärmte und dann ver-
dichtete, kathodenseitig zuzuführende Luft eingeführte Wasser
praktisch im Kreislauf geführt werden kann. Der besondere
Vorteil besteht hierbei darin, daß zur Kühlung der verdichte-
ten Luft Reinstwasser verwendet werden kann, das durch Aus-
20 kondensieren aus dem Kathodenrestgas weitgehend wieder zu-
rückgewonnen und im Kreislauf geführt werden kann. Nur gerin-
ge Teilmengen, die nach dem Auskondensieren aus dem Kathoden-
restgas an die Umgebung abgegeben werden, müssen dann ent-
sprechend aus einem Vorrat ersetzt werden. Diese Maßnahme
25 kommt dem mobilen Einsatz einer derartigen Brennstoffzelle
entgegen, da es beim mobilen Einsatz, beispielsweise an Fahr-
zeugen oder dergl. immer problematisch ist, sich verbrauchende
Betriebsmittel in einem Vorratstank mitzuführen. Durch die
hiermit gegebene Kreislaufführung des für den Brennstoffzel-
30 lenprozeß einerseits und für die Kühlung andererseits benö-
tigten Wassers kann die mitzuführende Wassermenge entspre-
chend reduziert werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird anhand eines schemati-
35 schen Schaltbildes näher erläutert.

Eine PEM-Brennstoffzelle 1 wird auf ihrer Anodenseite 2 mit einem verdichteten Brennstoffgas, beispielsweise einem wasserstoffreichen Reformergas beschickt. Die Anodenseite 2 ist mit einem Anodenrestgasaustritt 3 versehen, aus dem das noch
5 brennbare Anteile enthaltende Anodenrestgas abgezogen wird. Der Brennwert des Anodenrestgases kann noch genutzt werden, beispielsweise über einen Brenner 4, mit dem über einen Wärmetauscher 5 die zur Bildung des Reformergases benötigten Gaskomponenten aufgeheizt werden. Das in einem Reformier 6 ge-
10 bildete Reformergas wird vor seinem Eintritt auf der Anodenseite 2 der Brennstoffzelle 1 über eine Kühler 7 auf die notwendige Betriebstemperatur zurückgekühlt, die bei einer PEM-Brennstoffzelle beispielsweise etwa 80°C beträgt.

15 Der Kathodenseite 8 der Brennstoffzelle 1 wird als Oxidationsgas Luft mit einer Temperatur von etwa 80°C und einem Wassergehalt von mindestens 50% zugeführt. Nach Ablauf der chemisch-physikalischen Vorgänge innerhalb der Brennstoffzelle tritt diese Luft über den Auslaß 9 als Kathodenrestgas wieder
20 aus. Das anodenseitig zugeführte Brennstoffgas und die kathodenseitig zugeführte wasserhaltige Luft wird jeweils unter gleichem Druck der Brennstoffzelle zugeführt, der zwischen 2 und 4 bar liegen kann.

25 Die elektrische Leistung wird an der Polymer-Elektrolyt-Membran 10 über entsprechende Kontakte abgegriffen und kann von einem Verbraucher 11 nutzbar gemacht werden.

30 Während die Druckerhöhung des Brennstoffgases über den Pumpendruck und die Temperaturerhöhungen bei seiner Erzeugung erfolgt, muß die als Oxidationsgas verwendete Luft über eine Verdichtereinheit 12 verdichtet werden. Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine Turboverdichtereinheit dargestellt, die für die Startphase über einen elektrischen
35 Hilfsmotor angetrieben werden kann. Im Betrieb wird der Verdichter 14 von einer Turbine 15 angetrieben, die beispielsweise mit heißen Brenngasen eines Brenners 16 beaufschlagt wird,

der mit Kathodenrestgas und ggf. einem zusätzlichen Brenngas befeuert wird. Anstelle des dargestellten Turboverdichters können auch andere Verdichterbauformen, ggf. in Kombination eingesetzt werden, wie beispielsweise ein sogenanntes Roots-Gebläse.

Statt des Antriebs des Turboverdichters 14 über den elektrischen Hilfsmotor 13 kann es auch zweckmäßig sein, wenn in einer Tandemanordnung ein turbinengetriebener Verdichter und parallel hierzu ein elektronisch getriebener weiterer Verdichter angeordnet wird. Hierdurch ist es möglich, sowohl in der Anlauf- und Startphase als auch zur Abdeckung eines Spitzenbedarfs über den elektronisch betriebenen Verdichter dem System Luft unter Druck zuzuführen.

Um nun die PEM-Brennstoffzelle auf ihrer vorgegebene Betriebstemperatur von etwa 80°C halten zu können, ist diese anodenseitig und kathodenseitig jeweils mit Kühlkanälen 17 versehen, durch die im Kreislauf mit Hilfe einer Pumpe 18 Kühlwasser geführt werden kann.

Mit der aus der Brennstoffzelle 1 über das Kühlwasser mit etwa 75°C bis 80°C abgeführten Wärmemenge wird nun über einen Wasser-Luft-Wärmetauscher 19 die vom Verdichter 14, beispielsweise mit einer Temperatur von 20°C angesaugte Umgebungsluft aufgeheizt, so daß auf der Druckseite des Verdichters 14 die Luft ein entsprechend höheres Temperaturniveau von etwa 200°C aufweist, bei einem angenommenen Verdichtungsverhältnis $P/P_0 = 2,5$.

Das aus dem Wärmetauscher 19 abfließende Kühlwasser wird über einen Nachkühler 19.1, der beispielsweise als Luftkühler ausgebildet ist, auf eine benötigte Grundtemperatur zurückgekühlt.

Da über den Wärmetauscher 19 ein Teil der durch die Kühlung der Brennstoffzelle 1 anfallenden Wärmemenge im System zur

Verdampfung der einzudüsenden Wassermengen abgenommen wird, muß aus dem Kühlwasser über den Nachkühler 19.1 nur noch die restliche Wärmemenge abgeführt werden, so daß der hierzu benötigte Kühler kleiner ausgebildet werden kann und entsprechend eine geringere Antriebsleistung benötigt, sofern nicht
5 beim Einsatz in einem Kraftfahrzeug der Fahrtwind zur Kühlung genutzt werden kann.

Da die als Oxidationsgas benötigte Luft jedoch nur mit der
10 deutlich geringeren Betriebstemperatur der Brennstoffzelle von etwa 80°C zugeführt werden darf, andererseits für den Betrieb der Brennstoffzelle ein hoher Wassergehalt der zuzuführenden Luft notwendig ist, wird über einen Einspritzkühler 20 der verdichteten Luft Wasser zur Befeuchtung und zur Kühlung
15 zugeführt.

Um auf wechselnde Betriebszustände reagieren zu können, bei denen eine Kühlung des Oxidationsgases durch die Wassereindüsung nicht mehr ausreicht oder zur Einhaltung einer Basis-
20 kühlleistung, kann über eine zusätzliche dem Einspritzkühler 20 nachgeschaltete Kühleinheit 21 die Luft ggf. geringfügig nachgekühlt werden. Diese zusätzliche Kühleinheit 21 kann je nach Einsatzfall vom Kühlkreislauf der Brennstoffzelle 1 abgegriffen werden.

25 Statt einer Beaufschlagung der zusätzlichen Kühleinheit 21 über den Kühlwasserkreislauf der Brennstoffzelle ist es auch möglich, diesen Bereich als Luftkühler auszulegen, so daß beim Einsatz an einem Kraftfahrzeug hier der Fahrtwind als
30 Kühlmedium benutzt werden kann. Die Nutzung des Kühlwasserkreislaufs besitzt jedoch des Vorteil einer besseren Regelbarkeit, da über einen entsprechenden Temperaturfühler 21.1 und ein zugeordnetes Stellventil 21.2 eine sehr genaue Temperaturführung des als Oxidationsgas der Brennstoffzelle 1 ka-
35 thodenseitig zuzuführenden wasserhaltigen Luft bewirkt werden kann.

Da das in den Einspritzkühler 20 eingedüste Wasser gleichzeitig der Befeuchtung der als Oxidationsgas benötigten Luft dient, ist bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel das am Austritt 9 anfallende Kathodenrestgas über einen Kühler 22, beispielsweise einem Luftkühler geführt, der als Kondensator ausgebildet ist, so daß das aus dem Kathodenrestgas auskondensierte Wasser mit Hilfe einer Pumpe 23 in den Einspritzkühler 20 zurückgeführt werden kann, um so die Luft zu kühlen und zu befeuchten. Damit wird auch das für die Befeuchtung und zur Kühlung benötigte Wasser ebenfalls im Kreislauf geführt und muß nur in dem Maße ergänzt werden, wie ein Restwassergehalt im Kühlerkondensator 22 nicht auskondensiert werden kann, sondern mit der aus dem Kühler/Kondensator 22 austretenden Abluft ausgetragen wird.

15

Da in einer PEM-Brennstoffzelle kathodenseitig bei der elektro-chemischen Umsetzung des Brennstoffgases entsprechend der umgesetzten Menge Wasser in Form von Reinstwasser ausfällt, kann dieses in einen Sammelbehälter angeführt werden. Aus diesem Sammelbehälter 24 können dann sowohl aus dem Kühler 22 mit der Abluft abgeführte, nicht auskondensierte Wassermengen ersetzt werden, als auch bei einem erhöhten Bedarf an Kühlleistung im Einspritzkühler 20 zusätzliche Wassermengen über die Pumpe 23 eingedüst werden. Dies kann über eine entsprechende Ansteuerung der Pumpe 23 sowie eines Ventils 25 bewirkt werden. Die Ansteuerung kann in Abhängigkeit von der Lufttemperatur erfolgen, die beispielsweise über den Temperaturfühler 21.1 erfaßt und über eine hier nicht dargestellte Steuereinheit als Stellsignal für eine Änderung der Pumpenleistung und/oder eine Öffnung des Ventils 25 umgesetzt wird. Bei Einsatz einer volumetrisch arbeitenden Pumpe besteht die Möglichkeit, über die Steuereinheit in Verbindung mit der Pumpe unmittelbar die jeweils dem Kühler 20 zugeführte Wassermenge zu erfassen und ggf. zu dosieren, so daß die Wassermenge nicht ausschließlich in Abhängigkeit von der Temperaturlage der aus dem Kühler 20 austretenden Luft zugemessen wird. Damit ist die Möglichkeit gegeben, als Kühlwasser für

35

den Betrieb der Brennstoffzelle 1 benötigtes Reinstwasser zu verwenden, wobei nur ein geringer Vorrat zur Ergänzung der mit der Abluft abgeführten, durch Kondensation nicht zurückgewinnbaren Wassermengen ergänzt werden muß.

5

Ansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung der Leistung einer Brennstoffzelle, insbesondere einer Brennstoffzelle für den mobilen Einsatz, bei der anodenseitig ein unter Druck verdichtetes Brennstoffgas zugeführt und das entstehende Anodenrestgas unter Ausnutzung seines Brennwertes abgeführt wird, bei dem ferner kathodenseitig unter gleichem Druck verdichtete Luft als Oxidationsgas zugeführt wird, wobei die Luft vor der Verdichtung aufgeheizt und nach der Verdichtung auf die Betriebstemperatur der Brennstoffzelle gekühlt wird, wobei zumindest ein Teil der Kühlleistung zur Abkühlung der verdichteten Luft durch Eindüsen von Wasser aufgebracht wird, und das entstehende Kathodenrestgas abgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffzelle über ein im Kreislauf geführtes flüssiges Kühlmittel gekühlt wird und die hierbei vom Kühlmittel von der Brennstoffzelle aufgenommene Wärme wenigstens zum Teil zur Aufheizung der Luft vor der Verdichtung genutzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das einzudüsende Wasser durch Kühlung aus dem Kathodenrestgas auskondensiert wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Kühlung der verdichteten Luft soviel Wasser eingedüst wird, daß der Brennstoffzelle kathodenseitig Luft mit einem Wassergehalt von mind. 50% zugeführt wird.
-

