

(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. Oktober 2002 (31.10.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/086997 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01M 8/04**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/04023

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. April 2002 (11.04.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 20 947.9 22. April 2001 (22.04.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **DAIMLERCHRYSLER AG** [DE/DE]; Epplestrasse
225, 70567 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FINGER, Helmut**
[DE/DE]; Bergstrasse 73, 70711 Leinfelden-Echter-
dingen (DE). **FLEDBERBACHER, Peter** [DE/DE];
Fred-Uhlman-Strasse 1, 70619 Stuttgart (DE). **KONRAD,**
Gerhard [DE/DE]; Mendelstrasse 16, 89081 Ulm (DE).
LÖFFLER, Paul [DE/DE]; Leonberger Strasse 49,
70199 Stuttgart (DE). **STUTE, Manfred** [DE/DE]; Kim-
michsweiler Weg 4, 73730 Esslingen (DE). **SUMSER,**
Siegfried [DE/DE]; Im unteren Kienle 9, 70184 Stuttgart
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, 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, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,
SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),
OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii) für alle Bestimmungsstaaten

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: FUEL CELL AIR SUPPLY

(54) Bezeichnung: BRENNSTOFFZELLEN-LUFTVERSORGUNG

(57) Abstract: The invention relates to a two-stage fuel cell air supply system with pure high-speed dynamic compressors, which bring particularly favourable installation space requirements for a vehicle application. In the majority of cases dynamic compressors of radial type are used. The low pressure compressor is driven by a high speed electric motor, which supplies the necessary electrical energy to the system, also supplying the high pressure stage, connected to a turbine as a free-wheeling unit which leads to a certain energy recovery from the originally supplied electrical energy. In addition to the intermediate cooling of both compressor stages, the adjustable blow-by device as a by-pass for the fuel cell has a particular role in guaranteeing the stability of the operation of the entire air supply system and prevention of pumping damage to the compressor at all operating points of the fuel cell.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein zweistufiges Brennstoffzellenluft-Versorgungssystem mit reinen hochtourigen Strömungsmaschinen, die für einen Fahrzeugeinsatz äußerst günstige Bauraumanforderungen mit sich bringen. Im überwiegenden Fall werden Strömungsmaschinen der Radialen Bauweise hierzu eingesetzt. Der Niederdruckverdichter wird durch einen hochdrehenden Elektromotor angetrieben, der die notwendige elektrische Energie in das System einspeist, wodurch auch die Hochdruckstufe entsprechend mitversorgt wird, indem sie als Freiläufer mit einer Turbine gekoppelt ist, die einen gewissen Energierückgewinn, auch der ursprünglich eingeleiteten elektrischen Energie, erzielen kann. Neben der Zwischenkühlung der beiden Verdichtstufen kommt der regelbaren Umblaseeinrichtung als Bypass der Brennstoffzelle eine bedeutende Aufgabe zu, in dem sie für die Stabilität der Betriebsweise des gesamten Luftversorgungssystems, bzw. für die Vermeidung der Pumpgefahr der Verdichter in allen Betriebspunkten der Brennstoffzelle garantieren muß.



WO 02/086997 A2

Brennstoffzellen-Luftversorgung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung mit Verfahrensabläufen der Regelung, hauptsächlich nach den Ansprüchen 1,2 und 4, bzw. 9 bis 12, für ein Luftversorgungssystem von Brennstoffzellen.

Gegenüber den herkömmlichen Brennstoffzellen-Luftversorgungssystemen, die mit relativ niedertourigen Verdrängerkompressoren ausgestattet sind, wird erfindungsgemäß eine zweistufige Verdichtung der Luft mittels reiner, sehr hochtouriger Strömungsverdichter vorgeschlagen.

Hierbei bietet sich bei Auslegungsgesamtdruckverhältnissen von über 3 an, Strömungsmaschinen einzusetzen, die ein Zentrifugalfeld erzeugen, wie z. B. die Radialverdichter es können, um hohe spezifische Arbeiten pro Bauvolumen zu bewerkstelligen.

Will man die Brennstoffzelle für den Fahrzeugantrieb vorsehen, kommt schon aus Gründen der Platzknappheit den hohen spezifischen Leistungen, bezogen auf den Bauraum, eine dominierende Bedeutung zu.

Bedient man sich der Analogie der Verbrennungsmotoren hinsichtlich der zeitlichen Entwicklungstrends, so sieht man, daß die Saugmotoren von den aufgeladenen Motoren Stück für Stück vollständig abgelöst werden und man dürfte erwarten können, daß auch die einfacher darstellbaren Niederdruck-Brennstoffzellen des Fahrzeugantriebs im Laufe der zukünftigen Entwicklungsphasen durch Brennstoffzellen mit höheren Eintrittsdrücken eine Verdrängung erfahren, um die gewünschten hohen Leistungen in den knappen Bauvoluminas unterzubringen.

Gegenüber den Verdrängerverdichtern mit den hohen Druckpulsationen besteht bei den Strömungsverdichtern aufgrund der sehr großen Drehzahlunterschieden zu hohen Werten hin nicht nur Bauraumvorteile, sondern durch die kontinuierliche

Durchströmung der Strömungsmaschinen ergeben sich auch sehr gute Bedingungen für einen geräuscharmen und besonders wirkungsgradgünstigen Betrieb.

Da dem Wasserstoffverbrauch der Brennstoffzelle für die effiziente Bewertung der Fahrleistung die gleiche Bedeutung zukommt als dem Kraftstoffverbrauch beim Verbrennungsmotor, wird der Optimierung des Brennstoffzellen-Luftversorgungssystems genau so eine große Bedeutung beigemessen, wie der Optimierung der Ladungswechseleffizienz des Kolbenmotors. Am Gesamtsystemwirkungsgrad der Brennstoffzelle kann das Luftversorgungssystem gut bis zu einem Drittel der Gewichtung ausmachen kann,.

Wie aus der europäischen Patentanmeldung EP 1 009 053 A1 ersichtlich, wird dort ebenfalls eine zweistufige Aufladung der Brennstoffzelle vorgesehen, doch wird hier auf einen nachteiligen Verdrängerlader abgehoben, der durch einen Elektromotor angetrieben wird. Die Wirkung bezüglich Geräusch und Wirkungsgraddefizit wird offensichtlich nicht berücksichtigt.

Desweiteren wird in dieser Anmeldung die systemwirkungsgradgünstige Zwischenkühlung nicht erwähnt, obwohl dadurch Größenordnungen von bis 20% Wirkungsgradgewinn des Luftversorgungssystems leicht möglich werden.

Der Hinweis zur Abblasung über ein sogenanntes Überdruckventil nach der Hochdruckstufe gibt Anlass, den formulierte Stand der Technik als eine grobe Vorstufe zu deuten. Die positive Wirkung einer regelbaren wirkungsgradbeeinflussenden Umblasung und die entscheidende Bedeutung dieses regelbaren Elementes für den stabilen Betrieb der Brennstoffzelle, in dem es die Gefahr des Verdichterpumpens bei abgesenkten Durchsätzen verhindert, ist wohl nicht erkannt worden.

Die Aufgabe, ein platzsparendes, geräuscharmes und wirkungsgradgünstiges und in großen Durchsatzspannen stabil betreibbares Brennstoffzellen-Luftversorgungssystem zu erstellen, wird durch die Verwirklichung der Vorrichtung mittels der Ansprüche 1, 2, 3 und 4 als Ausgangsbasis wohl grundsätzlich ermöglicht. Entscheidend jedoch für den erfolgreichen Betrieb der Vorrichtung ist die Umsetzung der Verfahrensansprüche 9 bis 12, die die vorteilhafte Regelung der

Energieeinspeisung in den Elektromotor, die Regelung des Umblaseventils genauso wie die der variablen Elemente im Bereich oder in der Turbine, charakterisieren.

Während im Anspruch 1 die Grundschaltung der beiden Strömungsverdichter als Reihenschaltung eines Niederdruckverdichters mit Elektroantrieb und eines Hochdruckverdichters mit einem Turbinenantrieb gegeben wird, bringt der Anspruch 2 eine Erweiterung des Systems über eine Umblasevorrichtung, die für eine stabile Betriebsweise der Strömungsverdichter bzw. des gesamten Luftversorgungssystems mit Brennstoffzelle garantieren kann.

Die Festlegung des Elektroantriebs bei der Niederdruckstufe, mit dem größenordnungsmäßig $2/3$ der Gesamtleistung der beiden Verdichter-Stufen eingespeist wird, begründet sich aus der günstigeren Ausführung des Niederdruckverdichters mit größerem Raddurchmesser und damit den geringeren Drehzahlanforderungen an den Elektromotor. Mit einher gehen dabei die Radkanäle des Niederdruckverdichters, die unter diesen Randbedingungen unter Wirkungsgradgesichtspunkten besser gestaltbar sind als in der Hochdruckstufe, wobei der niedere Eintrittsdruck des Verdichters vorteilhaft mit wirkt und bei den hier erzeugbaren Radbeschauflungen bessere Eigenschaften bzgl. der Pumpstabilität im niederen Massenstrombereich bietet, bzw. eine größere Verdichterkennfeldbreite ermöglicht. Dies wäre nicht der Fall, wenn die Energieeinspeisung über den Elektromotor in der Hochdruckstufe unter Voraussetzung der gleichen oberen Elektromotorendrehzahl erfolgen würde.

Die Räder des Freiläufers werden schon aus Wirkungsgradgründen mit geringeren Durchmessern versehen (günstiger Kanalverlauf, geringere Spaltverluste) und sind im allgemeinen bezüglich der maximalen Drehzahlen praktisch nicht eingeschränkt, da funktionsfähige Lagerungen von Turboladern der interessanten Größe Drehzahlen bis 300 000 1/min schon heute serienmäßig abdecken.

Prinzipiell wird der Betriebsbereich eines Strömungsverdichters durch die Pumpgrenze zu den niederen Massendurchsätzen und durch die Stopfgrenze zu den hohen Massendurchsätzen begrenzt.

Kritisch für die Massenstromspanne der Brennstoffzelle bzgl. dem Strömungsverdichter ist der Bereich der niederen Durchsätze, die im allgemeinen zu

der erwähnten Pumpproblematik führen. Aus diesem Grunde wurde die Brennstoffzelle mit einer Bypass-Leitung parallel zur Brennstoffzelle mit einem regelbaren Ventil versehen. Hierdurch kann der Verdichtermassenstrom auch bei niedersten Brennstoffzellendurchsätzen um den Umblasemassenstrom, der durch die Ventilöffnung und dem Druckverhältnis über das Ventil bestimmt ist, erhöht werden und auch bei relativ hohen Druckverhältnissen in den stabilen Betriebskennfeldbereichen der beiden Verdichter gehalten werden.

Der Anspruch 3 trägt den starken Verbesserungsmöglichkeiten des Systemwirkungsgrades auf einfachste Art durch eine Zwischenkühlung der beiden Verdichterstufen Rechnung. Größenordnungen von bis zu 20% sind bei hohen Massendurchsätzen, bzw. Drücken nach der ersten Stufe leicht erreichbar. Im Vergleich zu den hohen Entwicklungsaufwendungen zur Verbesserung der Komponentenwirkungsgrade in den Maschinen, ist diese Maßnahme extrem kostengünstig, muß jedoch über einem gewissen notwendigen Bauraum bezahlt werden, wenn die Druckverluste nur unwesentlich zu Buche schlagen sollen.

Im Anspruch 4 wird auf variable Strömungsquerschnitte um und in der Turbine eingegangen, die über ein Verstellelement von der Regelung geführt werden können.

Wenn wir variable Strömungsquerschnitte um die Turbine ansprechen, so könnten dies Klappen oder Schieber sein, die vor oder auch nach der Turbine plaziert sind und im wesentlichen eine Aufstaufunktion beinhalten. Nachteil ist jedoch die wirkungsgradschädliche Drosselwirkung der an die Aufstaudrücke angepassten Querschnitte. Ausgeschlossen werden sollte auch nicht der Einsatz von Abblaseventilen bei der hier durchgeführten Klassifizierung der betrachteten Varioelemente um und in der Turbine, die sich ebenfalls über einen Aktuator an die elektronische Regelung anschliessen lassen.

Wirklich vorteilhaft wirksam hinsichtlich einer Effizienz und damit bzgl. Energierückgewinn sind jedoch erst die variablen Strömungsquerschnitte innerhalb der Turbine und zwar am besten die im allgemeinen direkt vor dem Turbinenrad angeordneten Vorleitgitter. Deren engste Kanal-Querschnitte werden durch dreh- oder translatorische Bewegungen der Leitschaufeln verändert. Hierdurch wird nicht nur die engste Durchströmfläche verändert, sondern auch die Zuströmrichtung zum

Turbinenrad, wodurch der Wirkungsgrad der Turbine, bzw. der Energierückgewinn und damit auch der Wirkungsgrad des Gesamtsystems merklich beeinflusst werden kann. Der variablen Turbine kommt im Rahmen der Verfahrensansprüche eine sehr große Bedeutung zu, da damit die gewünschten Prozesseintrittsdrücke der Brennstoffzelle in Verbindung mit den Verdichterstufen genau und wirkungsgradgünstig einregelbar sind.

Da das Austrittsprodukt der Brennstoffzelle Wasserdampf und Luft darstellt, macht es aus energetischer Sicht Sinn den Kondensator nach der Turbine zu plazieren, wie aus dem Anspruch 5 zu entnehmen ist. Die Trennung von Luft und Wasser wird durchgeführt, wobei eine Weiterverwertung des Wassers sich anbietet.

Die Nutzung des Wassers ist für Kühlzwecke von Komponenten, z. B. den Elektromotoren, genauso denkbar wie für die Scheibenwaschanlage. Bei Sonderanwendungen, z. B. bei Fahrzeuge für den Wüsteneinsatz, ließe sich das Wasser auch einer Trinkwasser-Aufbereitungs Vorrichtung zuführen. Bei Camping-Fahrzeugen wäre das konditionierte, bzw. unkonditionierte Wasser zum Kochen oder auch für Wasch-, bzw. Toilettenzwecke nutzbar. Unabhängig von der Nutzung des erzeugten Wassers liesse sich das gesamte oder zumindest ein Teil davon in einem Tank abspeichern, bevor über die Weiterverwendung entschieden wird.

Um innerhalb des Kondensators einen vorteilhaften Unterdruck zur Entwässerung zu bewirken, könnte am Kondensatoraustritt der Luftseite in Verbindung mit der Wasserseite ein entsprechender Diffusor Nutzen bringen. Der Erosionsgefahr am Turbinenrad durch Wasserschlag, im besonderen im Radeintrittsbereich, kann durch verschleißfeste Werkstoffe der Räder oder Oberflächenbeschichtungen entgegnet werden. Da die Temperaturschwankungen in der Turbine nicht sonderlich hoch sind, ist der Einsatz von Keramiken als Radwerkstoff oder Beschichtungsmaterial in diesem Zusammenhang von der Rissanfälligkeit der Keramiken völlig unkritisch.

Ein Grundproblem der zugeführten Luft zur Brennstoffzelle ist deren Reinhaltung von den benachbarten Lagerschmierstoffbereichen der Kompressoren. Der Anspruch 6 und 7 weist auf eine Entkopplung der Brennstoffzellenluft vom Schmierstoffbereich der Lagerungen hin, in dem ein Puffervolumen oder Trennraum dazwischen angeordnet wird, der zumindest unter Umgebungsdruck oder sogar unter einem Überdruck steht und somit eine Sperrwirkung für den Schmierstoffeintrag erbringen

kann. Um den Öleintrag letztlich auszuschließen ergibt eine Druckbeaufschlagung des Puffervolumens ein Sperrluftstrom durch die berührungsfreien Lagerabdichtungen entgegen der möglichen Schmierstoffaustrittsrichtung in das Lagergehäuse hinein.

Das Problem des Schmierstoff-Eintrags in die Brennstoffzellen-Luft besteht bei ölfreien Lagerungen nach Anspruch 8 nicht mehr. Die Entwicklungen von Luft- und noch mehr bei Magnetlagerungen bedeuten jedoch noch einen sehr hohen Entwicklungsaufwand, deren Anstrengungen erst bei zukünftigen Brennstoffzellen-Luftversorgungssystemen Früchte tragen werden.

Dem Verfahrensanspruch 9 kommt eine besondere Bedeutung für den stabilen Betrieb der Brennstoffzelle von der Luftversorgungsseite zu. Ein charakteristisches Merkmal der Strömungsverdichter ist die zu kleinen Durchsätzen auftretende schon erwähnte Instabilitätsgrenze. Um die geforderten Durchsatzspannen der Brennstoffzelle zu garantieren wird die Umblaseeinrichtung des Bypasses ab einem gewissen unteren Durchsatzwert aktiviert und stufenlos im engsten Querschnitt des Ventils an den Luftbedarf der Brennstoffzelle über die Regelung angepaßt. Somit kann der Durchsatzpunkt, bzw. Verdichteraustrittsdruck im Verdichterkennfeld nahe der Pumpgrenze mit bestimmten Toleranzen im Zusammenspiel mit der Dosierung der elektrischen Energiezufuhr zum Niederdruckverdichter-Antrieb gehalten werden, obwohl der Durchsatz der Brennstoffzelle entsprechend dem Bedarf weiter abnimmt. Je näher an die Pumpgrenze herangefahren wird, um so geringer wird die notwendige Umblasemenge, bzw. die Wirkungsgradrücknahme zur Garantierung der stabilen Betriebsweise sein. In einer Verfeinerung des Systems kann es Sinn machen die Verdichter mit einer Pumpsensorik zu versehen, die mit der Regelung verkoppelt ist, wodurch auch die Verbrauchsoptimierung der Zelle weiter erleichtert wird.

Der Anspruch 10 betrifft die Variabilität der Strömungsquerschnitte nach dem Brennstoffzellen-Ausgang in Verbindung mit dem gewünschten Prozess-Eintrittsdruck der Brennstoffzelle. Sinnvollerweise wird man den variablen engsten Strömungsquerschnitt in die Turbine direkt vor das Turbinenrad mittels eines beweglichen Vorleitgitters legen, um einmal die notwendige Aufstauwirkung für das

durchströmende Luft-/Dampfgemisch erzeugen zu können und zum andern wirkungsgradgünstig auf die Rückgewinnung der an der Turbine anstehenden Exergie einzuwirken, um den Hochdruckverdichter effizient anzutreiben und damit Einsparungen bei der elektrischen Energie-Einspeisung am Niederdruckverdichter zu erzielen.

Auf die Einregelung des maximal möglichen Expansionsdruckverhältnisses der Turbine geht der Anspruch 11 ein. Im Hintergrund dieses Regelungsanspruches steht die vorteilhafte Vorstellung, daß der engste Strömungsquerschnitt des gesamten Systems im überwiegenden Betriebsbereich der Brennstoffzelle innerhalb der Turbine liegen soll. Das bedeutet, daß der Massenstrom der Brennstoffzelle hierdurch über die variable Turbine im Zusammenspiel mit der Niederdruck-Energie-Einspeisung bestimmt und maßgebend mitgeregelt wird. Durch dieses Verfahrensmerkmal der Turbinenquerschnittsregelung wird im Bereich der Pumpgrenze auch die Umblaseregelungsphilosophie aus dem Anspruch 9 angesprochen. Durch die Einstellung der maximal möglichen Expansionsdruckverhältnisse an der Turbine wird im besonderen bei den niederen Durchsätzen auch eine weitgehende Entdrosselung am Umblaseventil erreicht, wodurch diese Querschnitte entsprechend der Umblasemenge relativ groß eingeregelt werden und die Verluste damit gering bleiben.

Das Thema Anfahren, bzw. Starten der Stromerzeugung der Brennstoffzelle steht unmittelbar mit dem Starten dessen Luftversorgungssystems in Verbindung, die der Anspruch 12 von der Verfahrensseite her betrachtet. Das Hauptmerkmal stellt die Energieeinspeisung zumindest teilweise aus dem Stromspeicher in den Elektromotor des Niederdruckverdichters dar, der das Gesamtsystem damit anschieben kann. Der Freiläufer kommt dann ebenfalls über die in Druckenergie umgewandelte Exergie vor der Turbine und der folgenden Expansion in der Turbine in Gang. Falls eine Varioturbine vorliegt, kann es Sinn machen, den engsten Querschnitt der Turbine in der Anfahrphase zu kleinen Werten hin zu schließen, wodurch der Freiläufer an der indirekten aerodynamisch gekoppelten Energieumwandlung vom Niederdruckverdichter, bzw. Elektromotor stark profitieren kann. Eine anfängliche weite Öffnung des Umblaseventil sorgt ebenfalls für eine schnelle Einbeziehung des Freiläufers in die Energieumwandlungskette, wodurch auch der schnelle Hochlauf des Freiläufers

bei nahezu geschlossenem Leitgitter der Turbine eine starke Unterstützung erfährt. Diese Verfahrensschritte des Zusammenspiels zwischen der Energiequelle, bzw. dem Niederdruckverdichter, der Umblaseeinrichtung und der Varioturbine wird sich nicht nur auf die Startphase beschränken, sondern wird in analoger Form bei jedem Lastwechsel der Zelle in mehr oder weniger verstärkter Weise an den betreffenden Stellgliedern bei dem Regelungsvorgang der genannten Komponenten wiederholen. Als wichtigste zeitliche Ergebnisse dieses Reglungsablaufs während der Anlauf- oder der Lastwechselphasen sind die schnelle Erzeugung der optimalen Zustandsdaten wie Druck und Temperatur der Luft, die in den Eintritt der Brennstoffzelle strömt und mit diesem Zustand die chemische Reaktion in der Brennstoffzelle zwischen Wasserstoff und dem Luftsauerstoff optimal unterstützt und dafür mit garantiert, daß die mechanische Haltbarkeit der sensiblen Teile, wie z. B. die Membran, nicht gefährdet werden.

Ein Großteil der Merkmale des Brennstoffzellen-Luftversorgungssystems läßt sich aus der Prinzipschaltungsskizze **Fig. 1** entnehmen.

Aus der Umgebung wird gefilterte Luft durch den Niederdruckverdichter (14) mit dem Zustand 1 angesaugt. Das Verdichterrad des Niederdruckverdichters (14) steht über eine Antriebswelle (15) mit dem Elektromotor (11) in Verbindung, der das wesentliche Aggregat darstellt, um Energie über den Niederdruckverdichter in die Luftströmung und damit in das gesamte System der Brennstoffzellen-Luftversorgung einzuspeisen. Die Energiezuführung erfolgt entweder direkt aus der Brennstoffzelle (10) oder aus dem Stromspeicher (13) über die Kabel (12). Der totale Zustandspunkt 2 nach dem Niederdruckverdichter ist praktisch durch diese Einspeise-Energiemenge des Elektromotors geprägt.

Ein Element, das in der Übersichtsskizze nicht eingezeichnet ist, ist ein Zwischenkühler, der auf jeden Fall eingesetzt wird, wenn der Wasserstoffverbrauch hinsichtlich niedriger Verbräuche optimiert werden soll. Zum andern kann es eine Notwendigkeit sein, daß die Eintrittstemperatur der Zelle unterhalb eines Wertes bleiben muß, um die mechanische Haltbarkeit der Membran nicht zu gefährden. Die Zwischenkühlung führt zu einer Begünstigung einer reduzierten Leistungsaufnahme des Hochdruckverdichters (16), da die Leistungsaufnahme direkt proportional zu

dessen Eintrittstemperatur ist. Eine Kühlung nach dem Hochdruckverdichter (16) mit dem Zustandspunkt 2' wird bei den gängigen Stufendruckverhältnissen als weniger sinnvoll erachtet und dürfte nur dann in Betracht gezogen werden, wenn eine Zwischenkühlung aus bestimmten Gründen nicht möglich ist oder die Druckverhältnisse doch sehr hoch sein sollen und ein Temperaturschutz der Zelle deshalb notwendigerweise durchgeführt werden muß. In wieweit ein Wärmetauscher, der zwischen dem Nieder- und Hochdruckverdichter (14, 16) oder nach dem Hochdruckverdichter (16) plaziert wird, mit einem Kühlmedium beaufschlagt wird, das aus dem Kondensatoraustritt ausströmenden Medien Luft-Wasser stammt, hängt im wesentlichen von den energetischen Verhältnissen Kühlmedium zu zu kühlender Luft, den Randbedingungen und den Optimierungszielsetzungen ab.

Nach dem Hochdruckverdichter (16) und noch vor dem Eintritt in die Brennstoffzelle (10), folgt die für die Funktion des Gesamtsystems entscheidende Verzweigung, aus der der Umblasekanal (23) eine Verbindung zum Austrittskanal (24) der Brennstoffzelle bildet. Im Umblasekanal, bzw. dem Brennstoffzellen-Bypass, ist ein regelbares Ventil (19) eingebaut, das je nach Verdichterkennfeldpunkt im Bereich der Pumpgrenze eine gewisse Öffnung erfährt, damit der Massenstrom durch die Verdichter größer ist als der Brennstoffzellen-Luftstrom. Hierdurch wird ein Pumpen der Verdichter ausgeschlossen.

Das Luft-Dampfgemisch in der Austrittsverrohrung (24) und der Bypass-Massenstrom führen dann zum Zustandspunkt 3 vor der Turbine (17), die auch variable Elemente beinhalten kann, die mittels einer Betätigungseinrichtung (20) von einer Regelung (22) angesprochen werden.

Die Turbine (17) ist für eine effiziente Energierückgewinnung verantwortlich und treibt über die Welle den Hochdruckverdichter (16) an. Der Gefahr der Erosion durch Wassertropfenaufschläge an der Eintrittsbeschaufelung des Turbinenrades wird ggf. durch Einsatz von verschleißfesten Werkstoffen entgegen gearbeitet.

Eine wichtige Entwicklungsaufgabe ist, wie schon erwähnt, die Garantierung der Ölfreiheit der Brennstoffzellen-Luftversorgung, die neben weiterentwickelten Abdichtkonzepten herkömmlicher Lagerungen (18) auch Lagerungen (18) mit völliger Ölfreiheit, wie z. B. Luft- oder Magnetlagerungen in Zukunft interessant werden lassen.

Nach der Turbine (17) erfährt das Gemisch Luft-Wasserdampf-Wasser den temperaturreduzierten Zustandspunkt 4 vor dem Kondensator (21).

Im Kondensator (21) erfolgt die Trennung der Wasseranteile von der Luft, die dann über eigene Austrittsöffnungen des Kondensators 5L und 5W in das nachfolgende Austrittsrohrsystem der Luftversorgungseinrichtung wegströmen. Im Austrittsrohrsystem können sich Elemente befinden, die für einen Unterdruck des Kondensators sorgen und für die Weiternutzung des Kondensats zuständig sind.

Der Kernintelligenz zur Nutzung des Brennstoffzellen-Luftsystem steckt im Regler (22), der die drei regelbaren Komponenten: Elektromotor mit den Signalen (31), das Umblaseventil (19) mit den Signalen 32 und ggf. die Varioelemente bzgl der Turbine (17) mit den Signalen (33) im Zusammenspiel optimal führen soll. Wie bei den Verbrennungsmotoren üblich, wird der Regler (22) auch bei der Brennstoffzelle dazu im allgemeinen mit hinterlegten elektronischen Daten versehen, um bei den angefahrenen Betriebspunkten eine optimale Einstellung, bzw. Kombination der betreffenden Aktuatorpositionen zu bewirken.

Nummernverzeichnis der Fig. 1

- 1 Strömungsverdichter mit Elektroantrieb, Eintrittsebene
- 2 Strömungsverdichter mit Elektroantrieb, Austrittsebene
Eintrittsebene Zwischenkühler/ Eintrittsebene Strömungsverdichter
des Freiläufers
- 2' Strömungsverdichter des Freiläufers, Austrittsebene
Eintrittsebene Brennstoffzelle
- 3 Eintrittsebene Turbine (Starrturbine mit oder ohne Abblasevorrichtung oder
Varioturbine)
- 4 Austrittsebene Turbine
ggf. Eintrittsebene Kondensator
- 5L Austrittsebene Kondensator Luft
- 5W Austrittsebene Kondensator Wasser

- 10 Brennstoffzelle
- 11 Elektromotor
- 12 Elektroleitung zur Brennstoffzelle, Stromspeicher
- 13 Stromspeicher, Akku
- 14 Strömungsverdichter von Elektromotor angetrieben
- 15 Strömungsverdichter-Radrücken, Verbindungsteil zur Lagerung
- 16 Strömungsverdichter Freiläufer
- 17 Turbine Freiläufer (Starrturbine mit oder ohne Abblasevorrichtung oder
Varioturbine)
- 18 Rotorlagerung (Kugellagerung, Gleitlagerung, Luftlagerung, Magnetlagerung)
- 19 Umblaseventil zwischen nach Hochdruckverdichter mit vor Turbineneintritt
- 20 Betätigung der Variovorrichtung der Turbine

- 21 Kondensator
- 22 Regelung des Luftversorgungssystems
- 23 Verbindungsleitung nach Hochdruckverdichter zu vor Turbineneintritt
- 24 Austrittsverrohrung der Brennstoffzelle zur Turbine
- 25 Austrittsverrohrung des Niederdruckverdichters
- 30 Freiläufer: Strömungsverdichter mit Turbine über starre Welle verbunden
- 31 Signal für die Energiezuteilung aus Brennstoffzelle und/oder Stromspeicher des Elektromotors
- 32 Signal für Schliess-/Öffnungs-Position des Umblaseventil-Aktuators
- 33 Signal für den Aktuator des Vario-Elements der Turbine

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Luftversorgung von Brennstoffzellen mit Kompressoren **dadurch gekennzeichnet**,
daß ein Strömungsverdichter (14) niederdruckseitig mit einem Elektromotor (11) verbunden ist
und daß ein weiterer in Reihe nachgeschalteter Hochdruckverdichter (16) der Strömungsmaschinenbauart mit einer Turbine (17) als Freiläufer (30) fest gekoppelt ist, die mit der Austrittsverrohrung (24) der Brennstoffzelle (10) verbunden ist.
2. Vorrichtung zur Luftversorgung von Brennstoffzellen nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**,
daß nach dem Hochdruckverdichter (16) vor der Brennstoffzelle (10) eine Verbindungsleitung (23) zur Austrittsverrohrung (24) der Brennstoffzelle (10) führt, in die ein regelbares Ventil (19) eingebracht ist.
3. Vorrichtung zur Luftversorgung von Brennstoffzellen nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**,
daß nach dem Niederdruckverdichter (14) in der Austrittsverrohrung (25), die zum Hochdruckverdichter führt, ein Zwischenkühler plaziert wird.
4. Vorrichtung zur Luftversorgung von Brennstoffzellen nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**,
daß im Bereich um die Turbine (17) des Freiläufers (30) oder innerhalb der Turbine (17) variable Elemente bzgl. der Strömungsquerschnitte vorliegen, die über die Betätigungseinrichtung (20) mit einer Regelung koppelbar sind.

5. Vorrichtung zur Luftversorgung von Brennstoffzellen nach Anspruch 1
dadurch gekennzeichnet,
daß nach der Turbine (17) ein Kondensator (21) angeordnet ist, der einen Ausgang für das Wasser (W) und einen Ausgang für die Luft (L) aufweist und daß an den Ausgängen (W, L) Vorrichtungen zur Unterdruckerzeugung anschließbar sind.
6. Niederdruckverdichter und Elektromotor nach Anspruch 1
dadurch gekennzeichnet,
daß ein abgedichteter Trennraum zwischen dem Schmierstoffbereich der Lagerung des Niederdruckverdichters (14) und Elektromotors (11) zum Verdichterbereich der Luftstromförderung besteht, der zumindest unter Umgebungsdruck oder einem Überdruck für eine Sperrluftbeaufschlagung steht.
7. Hochdruckverdichter und Rotorlagerung nach Anspruch 1
dadurch gekennzeichnet,
daß ein Trennraum zwischen dem Schmierstoffbereich der Lagerung (18) des Freiläufers (30) zum Verdichterbereich der Luftstromförderung des Hochdruckverdichters (16) besteht, der zumindest unter Umgebungsdruck oder einem Überdruck für eine Sperrluftbeaufschlagung steht.
8. Lagerung Niederdruckverdichter, Freiläufer nach Anspruch 1
dadurch gekennzeichnet,
daß von den Lagerungen des Niederdruck- oder Hochdruckverdichters zumindest die Lagerung (18) nach den Merkmalen einer Luft- oder Magnetlagerung ölfrei gestaltet ist.

9. Verfahren zur Regelung einer Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 und 2 zur Brennstoffzellen-Luftversorgung
dadurch gekennzeichnet,
daß der bekannte Soll-Luftmassenstrom der Brennstoffzelle über die Energiezufuhr zum Elektromotor (11) mittels der Signale (31) in Verbindung mit der geregelten Einstellung der Schließ-/Öffnungspositionen des Umblaseventils (19), bzw. Bypass-Stroms der Brennstoffzelle, entsprechend der Signale (32) des Reglers (22) eingestellt wird und dabei von der Sensibilität des Regelungssystems her auch Betriebslinien, bzw. Betriebspunkte im Verdichter kennfeld sehr nahe der Instabilitätsgrenze (Pumpgrenze) erlauben.
10. Verfahren zur Regelung einer Vorrichtung nach den Ansprüchen 1, 2 und 4 zur Brennstoffzellen-Luftversorgung
dadurch gekennzeichnet,
daß der variable engste Querschnitt im Bereich um die Turbine (17) oder innerhalb der Turbine (17) entsprechend dem vorhandenen Massenstrom und der Turbineneintrittstemperatur mittels der Betätigungseinrichtung (20) in Abhängigkeit vom Regelungssignal (33) derart geregelt verändert wird, daß sich der Soll-Eintrittsluftdruck der Brennstoffzelle (17) einstellen kann.
11. Verfahren zur Regelung einer Vorrichtung nach den Ansprüchen 1, 2 und 4 zur Brennstoffzellen-Luftversorgung
dadurch gekennzeichnet,
daß der variable engste Querschnitt im Bereich um die Turbine (17) oder innerhalb der Turbine (17) entsprechend dem vorhandenen Massenstrom und der Turbineneintrittstemperatur mittels der Betätigungseinrichtung (20) in Abhängigkeit vom Regelungssignal (33) derart geregelt verändert wird, daß sich das maximal mögliche Expansionsverhältnis über der Turbine (17) einstellen kann.

12. Verfahren zur Regelung einer Vorrichtung nach den Ansprüchen 1, 2 und 4 zur Brennstoffzellen-Luftversorgung

dadurch gekennzeichnet,

daß der Anfahr-/Startvorgang oder Lastwechselvorgang des Brennstoffzellen-Luftversorgungssystems zumindest teilweise über die elektrische Energiezufuhr aus dem Stromspeicher (13) zum Elektromotor (11) und damit der Leistungszumessung des Niederdruckverdichters mittels der Signale (31) erfolgt,

dabei die Einstellungen der Schließ-/Öffnungspositionen des Umblaseventils (19), bzw. Bypass-Massenstroms der Brennstoffzelle, entsprechend der Signale (32) des Reglers (22) durchgeführt werden,

und ggf. der variable engste Querschnitt des Start- oder Lastwechselzustandes um oder in der Turbine (17) mittels der Signale (33) des Reglers (22) derart beeinflußt werden, daß die Bereitstellung der notwendigen Prozess-Eintrittsdrücke und Prozess-Eintrittstemperaturen in der Brennstoffzellen-Start-/Lastwechsel-Phase gegeben ist.

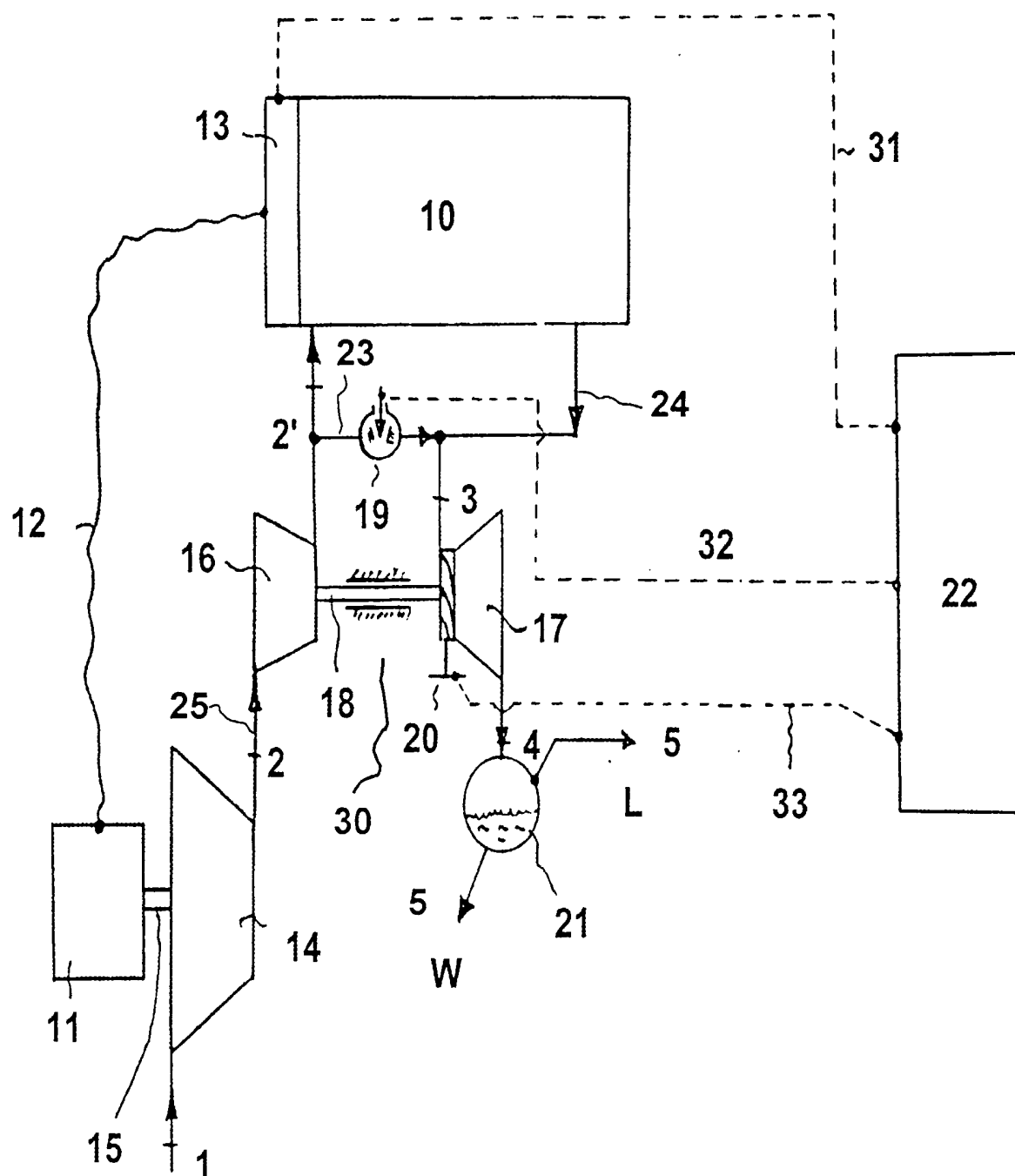


Fig. 1