

(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
3. Januar 2002 (03.01.2002)

PCT

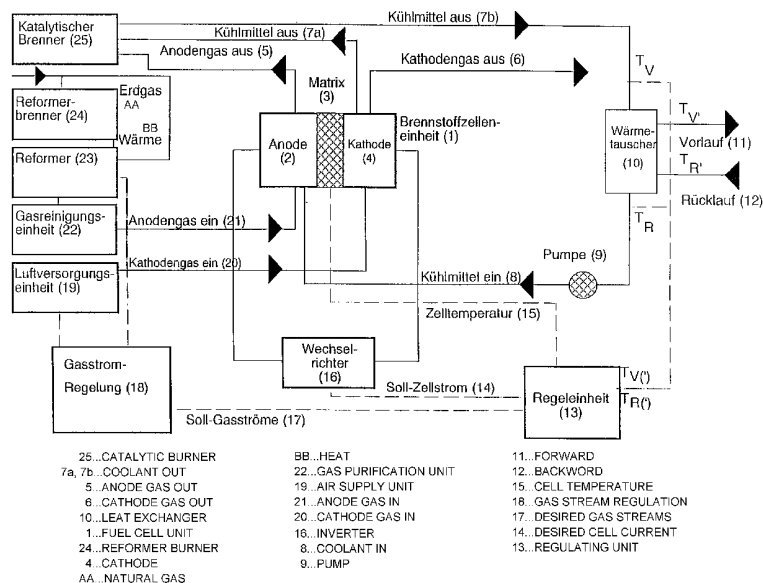
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/01657 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01M 8/00 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHOLTA, Joachim [DE/DE]; Hirschstrasse 35, 89278 Nersingen (DE). JÖRISSEN, Ludwig [DE/DE]; Ludwigstrasse 31, 89231 Neu-Ulm (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/07373
- (22) Internationales Anmeldedatum:
28. Juni 2001 (28.06.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Anwalt: MERKLE, Gebhard; Ter Meer, Steinmeister & Partner GbR, Mauerkircherstrasse 45, 81679 München (DE).
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): CA, JP, US.
- (30) Angaben zur Priorität:
100 31 864.9 30. Juni 2000 (30.06.2000) DE (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ZENTRUM FÜR SONNENENERGIE- UND WASSERSTOFF-FORSCHUNG BADEN-WÜRTTEMBERG, GEMEINNÜTZIGE STIFTUNG [DE/DE]; Hessbrühlstrasse 21c, 70565 Stuttgart (DE).
Veröffentlicht:
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR REGULATING OPERATION OF FUEL CELL INSTALLATIONS CONTROLLED ACCORDING TO HEAT AND/OR POWER REQUIREMENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG DES WÄRME- UND/ODER STROMBEDARFSGEFÜHRTEN BETRIEBS VON BRENNSTOFFZELLENANLAGEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for regulating the heat production of fuel cells in an operating mode which is controlled according to heat and/or power requirements. The invention is characterised in that with a constant or varying cell current, the anode gas stream of the fuel cell is regulated as a correcting variable through the forward or backward temperature of the heat circuit as a controlling variable, or controlled according to a set of characteristics. According to the invention, this enables adjustment to a constant forward temperature with changing heat reduction, as well as extensive separation of heat and electricity production.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/01657 A2



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.

(57) Zusammenfassung: Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Regelung der Wärmeproduktion von Brennstoffzellen im wärme- und/oder strombedarfsgeführten Betrieb, dadurch gekennzeichnet, dass bei konstantem oder variierendem Zellstrom der Anodengasstrom der Brennstoffzelle als Stellgröße über die Vorlauf- oder Rücklaufemperatur des Wärmekreislaufs als Regelgröße geregelt oder nach einem Kennlinienfeld gesteuert wird. Erfindungsgemäss kann hierbei eine Regelung auf konstante Vorlaufemperatur bei wechselnder Wärmeabnahme sowie eine weitgehende Entkoppelung von Strom- und Wärmeproduktion erreicht werden.

**Verfahren zur Regelung des wärme- und/oder
strombedarfsgeführten Betriebs von Brennstoffzellenanlagen**

- 1 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung des wärme- und/oder strombedarfsgeführten Betriebes von Brennstoffzellenanlagen.

Brennstoffzellen, besonders solche mit mittlerer oder höherer
5 Arbeitstemperatur sind aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades und ihrer niedrigen Schadstoff- und Geräuschemissionen zur kombinierten Erzeugung von Strom und Wärme in kleineren und mittleren Einheiten sehr gut geeignet.

- 10 Technisch am weitesten entwickelt ist zur Zeit die Phosphorsäure-Brennstoffzelle (PAFC), die bereits kommerziell angeboten wird. Die angebotene Einheit besitzt eine elektrische Leistung von 200 kW. Die Zelle ist für stromgeführten Betrieb ausgelegt, kann jedoch auch zur Auskopplung von Wärme eingesetzt werden. Systembedingt darf die
15 Rücklaufemperatur höchstens 33 °C betragen. Ist diese höher, wird ein Zusatzkühlsystem aktiviert, welches die überschüssige Wärme an die Umgebungsluft abgibt.

Brennstoffzellen besitzen im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren keine
20 direkte Möglichkeit der Leistungsregelung über die Brennstoffzufuhr, da sowohl der anoden- als auch der kathodenseitige Gasumsatz nur etwa 80 bzw. 50 % betragen darf. Da die Umsatzrate nach dem Faraday'schen Gesetz proportional zum Zellstrom ist, wird bei Brennstoffzellen der Zellstrom als Führungsgröße gewählt und die Gasströme entsprechend
25 dem vorgewählten Zellstrom gesteuert.

Soll die Leistung der Brennstoffzelle nicht nach dem jeweiligen Netzbedarf, sondern nach dem Wärmebedarf der Nutzlast ausgerichtet werden, wird das Verfahren der Kennfeldanpassung gewählt, nach dem die
30 Wärmeabgabe der Zelle in Abhängigkeit betriebsrelevanter Größen ermittelt wird und nach diesem Kennfeld der passende Strom von Hand eingestellt wird (H. Knappstein: Blockheizkraftwerk mit Brennstoffzellen, GASWÄRME International, 43(1994), S. 139-45). Dieses Verfahren wird bei weitgehend stationärem Wärmebedarf oder geringen Schwankungen

1 desselben angewandt, führt jedoch bei stärkeren Schwankungen oder
auch bei einer Änderung der Zellecharakteristik infolge Alterung sowie bei
Änderungen in der Erdgasqualität zu Fehlanpassungen. Diese können
wiederum bewirken, daß entweder nicht ausreichend Wärme zur
5 Verfügung steht oder überschüssige Wärme über den Zusatzkühler
abgeführt werden muß, was dann zu einer Verminderung des
Gesamtwirkungsgrads führt.

Eine Regelung in der Form, daß wie bei Blockheizkraftwerken nach
10 dortigem Stand der Technik Kessel in Stufen ab- oder zugeschaltet
werden, ist bei Brennstoffzellen nicht anwendbar, da ein häufiges An- und
Abschalten zu einer Verschlechterung der Zelle führt bzw. wegen der
auftretenden Anfahrverluste unwirtschaftlich ist.

15 In der Patentliteratur (DE 21 57 722 A und DE 19 49 184 A) wird ein
Regelverfahren zur Regelung der Brennstoffzufuhr von Brennstoffzellen
nach einem Steuersignal genannt. Dieses beinhaltet jedoch kein
Verfahren zur Erzeugung des Steuersignals im Hinblick auf einen
wärmegeführten Betrieb der Brennstoffzelle.

20 EP 03 87 702 A2 beinhaltet ein Verfahren zum Regeln der Vor- bzw.
Rücklauf temperatur einer Warmwasser-Heizungsanlage. Gegenstand
dieses Verfahrens ist die leistungsabhängige Anwendung eines
Zweipunkt- oder Stetigregelverfahrens zur Regelung einer Warmwasser-
25 Heizungsanlage und beinhaltet im Gegensatz zu der vorliegenden Erfin-
dung den fallweise wechselnden Einsatz von Zweipunkt- und
Stetigregelung bei einem Gaskessel. Bezogen auf den Betrieb von
Brennstoffzellen werden keine Aussagen getroffen, insbesondere werden
keine Angaben zum Zellstrom als wirksame Steuergröße für den
30 wärmegeführten Betrieb einer solchen Anlage gemacht.

EP 03 77 151 A1 beinhaltet ein Verfahren zur Regelung von
Hochtemperaturbrennstoffzellen, welches die Zelltemperatur über die
Vor- und Nachverbrennung von Gasströmen regelt und im Gegensatz zur

1 vorliegenden Erfindung primär keine Regelung der Wärmeproduktion
bewirken soll.

US 50 23 151 A beinhaltet die Regelung des Kühlkreislaufs von
5 Brennstoffzellen mit dem Ziel einer konstanten zellseitigen
Kühlwassereinlaßtemperatur mittels eines regelbaren Bypasses für einen
im Kühlwasserkreislauf befindlichen Wärmetauscher. Die Wärmeabgabe
der Brennstoffzelle selbst wird hiernach nicht geregelt und somit auch
kein Verfahren zur Durchführung eines wärmegeführten Betriebs
10 angegeben.

In DE 43 22 765 C1 sowie in WO 98/32185 wird ein Verfahren zur Regelung
der elektrischen Leistung von Brennstoffzellen über die Regelung des
Oxidationsmittel-Massenstroms beschrieben. Dieses Verfahren ist für
15 den Blockheizkraftwerksbetrieb von Brennstoffzellen nicht sinnvoll, da
sich nach diesem Verfahren der elektrische Wirkungsgrad des Systems im
Teillastbetrieb verschlechtern würde.

In DE 195 17 813 C2 wird ein Verfahren zur Regelung der Stromerzeugung
20 von Brennstoffzellen im wärmegeführten Betrieb beschrieben, nach dem
der Strom der Brennstoffzelle als Stellgröße über die Vorlauf- oder
Rücklauftemperatur des Kühlwärmekreislaufs als Regelgröße mit Hilfe
eines kontinuierlichen oder quasikontinuierlichen Regelverfahrens
geregelt wird. Zu diesem Zweck wird dort auch die Regelung der Gasströme
25 über einen zweiten, gegebenenfalls mit einem gegenüber der Brennstoff-
zellen-Stromregelung mit einem zeitlichen Vorlauf versehenen Regelpfad
beschrieben.

Ziel bei der Konstruktion einer zur Strom- und Wärmeversorgung
30 geeigneten Anlage ist ein möglichst einfacher und damit kostengünstiger
Systemaufbau. Die vorliegende Erfindung bezweckt gegenüber dem durch
DE 195 17 813 C2 gegebenen Stand der Technik eine weitere
Vereinfachung der Systemauslegung verbunden mit einer erweiterten
Regelbarkeit des Systems.

1 Die Erfindung bezweckt die kontinuierliche sowie die Brennstoffzelle
schonende und verlustfreie Anpassung der Wärmeproduktion der
Brennstoffzelle an den aktuellen Wärmebedarf unter Berücksichtigung
eines möglichst einfachen Systemdesigns.

5

Darüber hinaus bezweckt die Erfindung eine Entkoppelung der Strom-
und Wärmeerzeugung, soweit dieses innerhalb des Systems möglich ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Fahrweise der Brennstoff-
zelle zu entwickeln, die diese Anpassung unter möglichst einfachem
10 Systemdesign ermöglicht und einen ausreichenden Abstand zu den
Grenzwerten der Prozeßführung auch bei ständigen Schwankungen des
Wärme- oder Strombedarfs gewährleistet.

15 Die erfindungsgemäße Lösung besteht in der Regelung der
Wärmeproduktion der Brennstoffzelle anhand der Vor- oder
Rücklauf-temperatur des Wärmekreislaufs. Als Stellgröße dient hierbei der
der Brennstoffzelle zugeführte Anodengasstrom, in dem bei konstantem
oder variierendem Stackstrom der Anodengasstrom über die Vorlauf- oder
20 Rücklauf-temperatur des Wärmekreislaufs in Abhängigkeit der benötigten
Wärmemenge geregelt oder nach einem Kennlinienfeld gesteuert wird.

Die Erfindung nutzt die Tatsache aus, daß Brennstoffzellen über einen
weiten Lastbereich kontinuierlich regelbar sind und innerhalb weiter
25 Umsatzbereiche gefahren werden können.

Die Erfindung besteht somit in der Anwendung einer kontinuierlichen
Regelung oder Steuerung des Anodengasstroms bei konstantem oder
variierendem Zell- bzw. Stackstrom.

30

Der Wärmekreislauf kann durch einen Wärmetauscher in einen die
Brennstoffzelleneinheit umfassenden Kühlmittelkreislauf und in einen
Nutzwärmekreislauf, welcher dann den Wärmetauscher und den
Wärmeverbraucher, der auch aus einem oder mehreren Wärmetauscher-

- 1 kreisläufen bestehen kann, umfaßt, aufgeteilt sein.

Erfindungsgemäß erfolgt die Regelung der Wärmemenge durch Steuerung des Anodengasstroms über die Gasversorgungseinheit. Der durch den Brennstoffzellen-Stapel fließende Strom kann hierbei ganz oder teilweise mitgeführt werden. Gegenüber dem in DE 195 17 813 C2 beschriebenen Verfahren, erfolgt erfindungsgemäß eine Regelung des Gasstroms unabhängig oder mit nur teilweise mitgeführtem Zell- bzw. Stackstrom, so daß ein Betrieb des Systems mit variablem Umsatzgrad in der Brennstoffzelle resultiert. Für die Mitführung des Stackstroms sind erfindungsgemäß mehrere Konzepte möglich:

1. Konstanthaltung des Stackstroms und damit Variation a) des Umsatzgrades und b) der Wärmemenge unter fast vollständiger Konstanthaltung der Stromerzeugung.
2. Teilweise Mitführung des Stackstroms unter Wirkungsgradaspekten. Die Optimierung kann hierbei sowohl a) im Hinblick auf den elektrischen Wirkungsgrad oder b) im Hinblick auf den Gesamtnutzungsgrad des Systems erfolgen.
3. Entkoppelung der Strom- und Wärmeerzeugung durch getrennte Regelung von Stack- und Anodengasstrom. Hierbei kann der Vorrang sowohl auf den Strom- als auch auf den Wärmebedarf gelegt werden, sobald Zellparameter (z.B. der gasseitige Umsatzgrad) die Systemgrenzen erreichen. In diesem Fall wird bei Wärmeregelungsvorrang der Stackstrom so mitgeführt, daß im Brennstoffzellen-Stack die zulässigen Systemgrenzen, speziell der zulässige Gas-Umsatzgrad eingehalten wird. Bei Stromregelungsvorrang wird dagegen der Anodengasstrom soweit mitgeführt, daß im Brennstoffzellen-Stack der zulässige Gas-Umsatzgrad eingehalten wird. Solange dies nicht der Fall ist, können Gassströme und Stackstrom unabhängig voneinander variiert werden. In beiden Fällen ist der Stackstrom die Stellgröße für die elektrische Leistung, während der Gasstrom die Stellgröße für die Wärmemenge darstellt.

- 1 Die konkrete Regelung des Anodengasstroms hängt von dem gewählten Betriebsgas und der verwendeten Gasaufbereitung- bzw. versorgungseinheit ab. Im einfachsten Fall wird lediglich ein Gasstrom aus einem Vorratsbehälter geregelt und das Restanodengas der Brennstoffzelle
5 entweder verbrannt oder mittels einer bekannten Rezyklierung wieder in den Einlaß der Brennstoffzelle zurückgeführt. In allen anderen Fällen fällt bei der Brenngaserzeugung ein CO₂-haltiges Gas an, welches nach Umsatz in der Brennstoffzelle zu einem Schwachgas führt, welches einer Restgasverbrennung in einem Flamm- oder katalytischen Brenner
10 zugeführt werden kann. Die bei diesem Prozeß entwickelte Wärme wird entweder dem Primär(Kühl)- oder Sekundär(Nutzwärme)-Kreislauf des Systems zugeführt oder zur teilweisen oder vollständigen Deckung der in der Anodengasaufbereitung benötigten Reaktionswärme verwendet.
- 15 Unabhängig von der realisierten Variante wird beim erfindungsgemäßen Regelverfahren unmittelbar oder mittelbar der Ausgangsgasstrom der Gasaufbereitungseinheit geregelt oder gestellt. Die Regelung oder Steuerung des Brennerstroms der Gasaufbereitungseinheit erfolgt in einer an sich bekannten eigenständigen Steuerung/Regelung. Soweit der
20 Restgasstrom der Gasaufbereitungseinheit zur Bereitstellung von Reaktionswärme zugeführt wird, wird ein entsprechend geringerer Primärgasanteil zur Bereitstellung von Reaktionswärme eingesetzt.

25 Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden näher beschrieben und ist in den Figuren 1 und 2 näher veranschaulicht:

Fig. 1: Schaltbild eines erfindungsgemäßen Regelverfahrens in einem Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk

30 Fig. 2: Zeitlicher Verlauf der Ist-Werte für die elektrische Leistung und für den Wärmestrom (linke y-Achse) sowie des Zellstroms, der Zellspannung, des anodenseitigen Umsatzgrades und der Vor- und Rücklauftemperatur (rechte y-Achse) bei Regelung auf konstante Vorlauftemperatur T_V im Nutzwärmekreis

1 Figur 1 gibt das Schaltbild eines erfindungsgemäßen Regelverfahrens in
einem Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk wieder.

Eine Brennstoffzelleneinheit 1, die aus mindestens einer aus Anode 2,
5 Matrix 3 und Kathode 4 bestehenden Einzelzelle aufgebaut ist, wird von
einer aus Reformerbrenner 24, Reformier 23 und Gasreinigungseinheit 22
bestehenden Brenngasversorgungseinheit anodenseitig über Leitung 21
und durch eine Luftversorgungseinheit 19 über Leitung 20 kathodenseitig
mit Betriebsgasen versorgt. Die Restgase werden gassetig über einen
10 Anodengasausgang 5 in einen katalytischen Brenner 25 und luftseitig
über einen Kathodengasausgang 6 abgeführt. Die Brennstoffzellen-
einheit 1 wird von einem aus einer Pumpe 9, einer Kühlmittelzuführung 8,
einer Kühlmittelabführung 7a und 7b sowie einem Wärmetauscher 10
bestehendem Kühlmittelkreislauf gekühlt. Im Wärmetauscher 10 wird das
15 Kühlmittel mit einem aus Vorlauf und Rücklauf bestehendem Nutzwärme-
kreislauf gekühlt. Die Vorlauftemperatur T_V des Kühlmittels wird der Re-
geleinheit 13 zugeführt, welche über die Gasstrom-Regelung 18 die
Temperatur T_V durch Variation des anodenseitigen Gasstroms und damit
des anodenseitigen Umsatzgrades auf einen konstanten Wert regelt. Der
20 kathodenseitige Gasstrom wird nach Stand der Technik in Abhängigkeit
vom Zellstrom und der Kühlmitteltemperatur T_R geregelt. Der Zellstrom,
der durch den Wechselrichter 16 eingestellt wird, wird hierbei auf einem
konstanten Wert gehalten. Als Stellgröße für die produzierte Wärmemenge
dient der Anodengasstrom. Wahlweise kann der Zellstrom ebenfalls
25 variiert werden, um wechselnde Stromanforderungen zu erfüllen. Im
Ausführungsbeispiel wird die Anlage damit sowohl wärme- als auch
strombedarfsgeführt betrieben. Grenzen der Entkoppelung liegen
lediglich vor, wenn z.B. bei hohem Strombedarf ein maximaler
Anodenumsatzgrad eingestellt wird und die produzierte Wärmemenge
30 dennoch über dem Bedarfswert zur Aufrechterhaltung von T_V liegt. In
diesem Fall wird im Ausführungsbeispiel auf Vorrang der
Wärmemengenregelung geschaltet und so der Zellstrom solange
vermindert, bis bei maximalem Umsatzgrad die Wärmeproduktion dem
Bedarf angepaßt ist. Die Ausgangssignale der Anodengasstromregelung

1 werden zur Ansteuerung von Gasdurchflußreglern (nicht gezeigt), die
zusammen mit einer Gasversorgung die Gasversorgungseinheit bilden,
verwendet. Zur Regelung des Anodengasstroms wird die Regeleinheit 13
5 als eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) nach dem PID-
Verfahren in Verbindung mit einer Begrenzung des Anodengasstroms
nach einem Minimal- und Maximalwert aufgebaut. Durch geeignete Wahl
der Zeitkonstanten wird eine praktisch überschwingungsfreie Regelung
der Vorlauftemperatur T_V nach sprungförmiger Änderung der
Wärmeabnahme im Nutzwärmekreislauf erreicht. Hierbei werden
10 Zeitkonstanten von 5 bis 10 Minuten für die Regelung der Vorlauftempe-
ratur bis zur Konstanz auf den Sollwert erreicht.

In Figur 2 ist die Zeitabhängigkeit der Wärme- und Stromproduktion bei
einem erfindungsgemäßen Regelverfahren wiedergegeben. Es zeigt sich,
15 daß bei einer durch Anhebung der nutzwärmeseitigen Rücklauftempera-
tur vorgegebenen Wärmelastreduktion die nutzwärmeseitige Vorlauftem-
peratur mittels einer erfindungsgemäßen Regelung des anodenseitigen
Gasumsatzes auf konstantem Niveau geregelt werden kann. Die Strompro-
duktion bleibt dabei fast konstant.

20 Erfindungsgemäß kann damit eine Regelung auf konstante Vorlauftempe-
ratur bei wechselnder Wärmeabnahme sowie eine weitgehende Entkoppe-
lung von Strom- und Wärmeproduktion erreicht werden.

25

30

Patentansprüche

- 1 1. Verfahren zur Regelung der Wärmeproduktion von Brennstoffzellen
im wärme- und/oder strombedarfsgeführten Betrieb, dadurch gekenn-
zeichnet, daß bei konstantem oder variierendem Zell- oder Stackstrom der
Anodengasstrom der Brennstoffzelle als Stellgröße über die Vorlauf- oder
5 Rücklauftemperatur des Wärmekreislaufs als Regelgröße geregelt oder
nach einem Kennlinienfeld gesteuert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Zell-
oder Stackstrom unter Konstanthaltung mitgeführt wird.
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Zell-
oder Stackstrom teilweise mitgeführt wird, wobei die Optimierung im Hin-
blick auf den elektrischen Wirkungsgrad oder den Gesamtwirkungsgrad
des Systems erfolgt.
- 15 4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch ge-
trennte Regelung von Zell- oder Stack- und Anodengasstrom eine Entkop-
pelung der Strom- und Wärmeerzeugung erreicht wird.
- 20 5. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch
gekennzeichnet, daß der Wärmekreislauf durch einen direkten Kreislauf
unter Einbeziehung von Brennstoffzelleneinheit und Verbraucher gebil-
det wird.
- 25 6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch
gekennzeichnet, daß der Wärmekreislauf aus einem Kühlmittelkreislauf,
einem Wärmetauscher und einem Nutzwärmekreislauf gebildet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Nutz-
wärmekreislauf aus einem oder mehreren Wärmetauscherkreisläufen ge-
30 bildet wird.
8. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß die Vorlauftemperatur des Kühlmittel- oder

1 Nutzwärmekreislaufs geregelt wird.

9. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß als Anodengas Wasserstoff oder ein durch
5 Reformierung und Gasreinigung erhaltenes, wasserstoffreiches Gas ein-
gesetzt wird.

10. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß zur Regelung des Anodengasstroms eine
10 SPS-gesteuerte Regelung nach dem PID-Verfahren in Verbindung mit ei-
ner Begrenzung des Anodengasstroms nach einem Minimal- und Maximal-
wert verwendet wird.

15

20

25

30

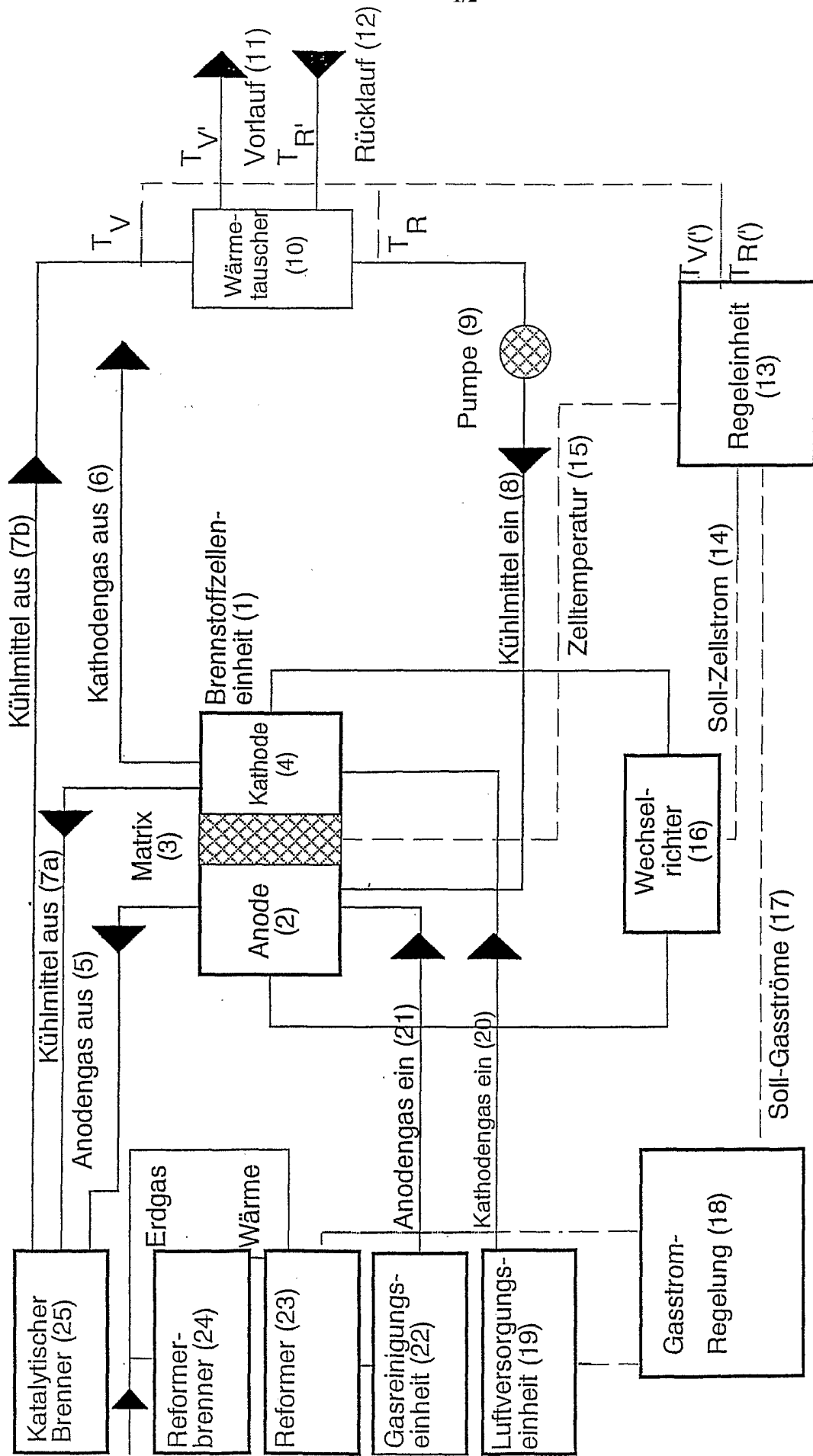


Fig. 1

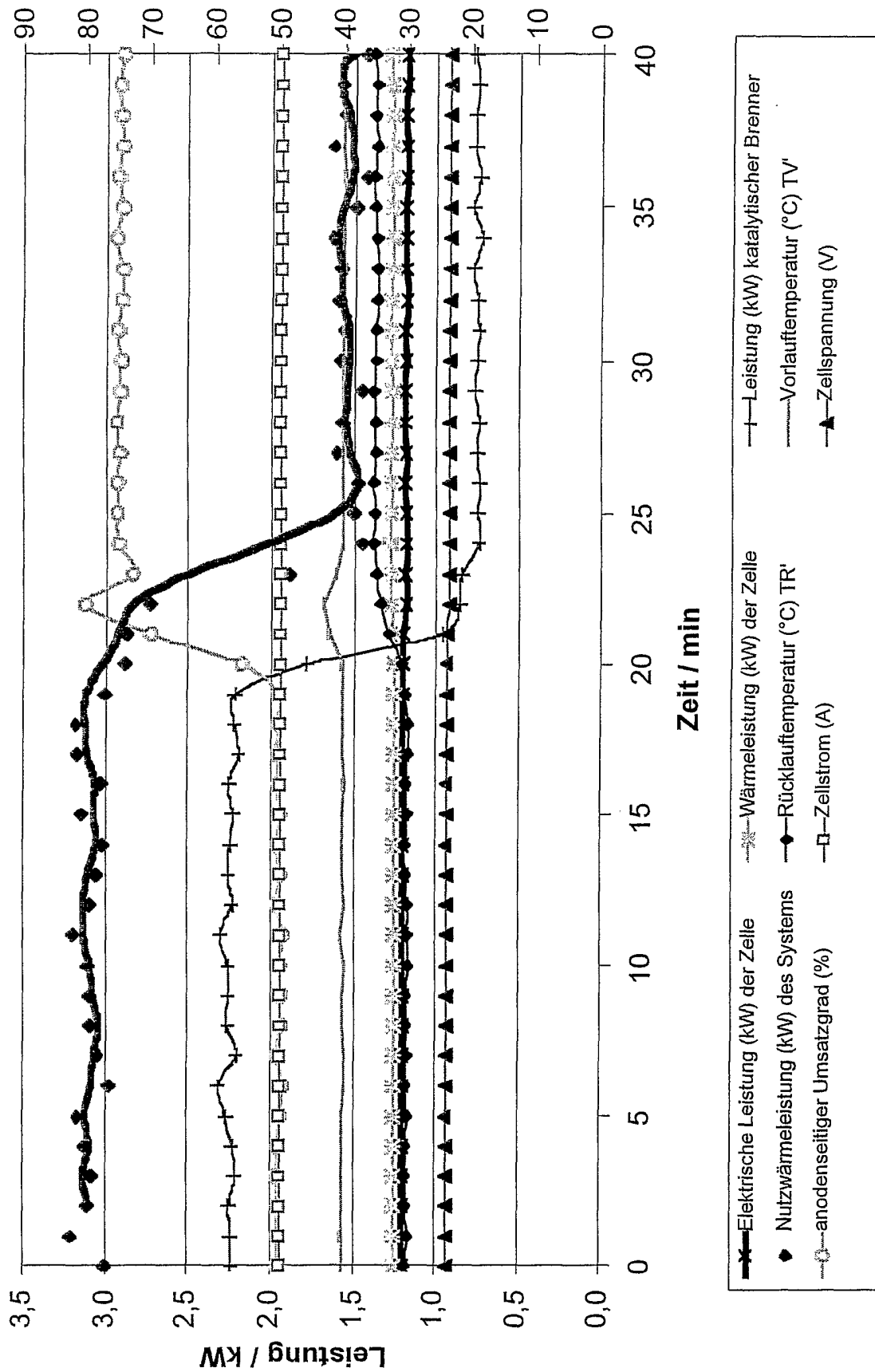


Fig. 2