

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : C12N 1/12	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/45409 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 15. Oktober 1998 (15.10.98)					
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/01011 (22) Internationales Anmeldedatum: 9. April 1998 (09.04.98) (30) Prioritätsdaten: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">197 14 818.2</td> <td style="width: 33%;">10. April 1997 (10.04.97)</td> <td style="width: 33%;">DE</td> </tr> <tr> <td>198 14 253.6</td> <td>31. März 1998 (31.03.98)</td> <td>DE</td> </tr> </table> (71) Anmelder: PREUSSAG AG [DE/DE]; Karl-Wiechert-Allee 4, D-30625 Hannover (DE). (72) Erfinder: BRONESKE, Jürgen; Zinnaer Strasse 14, D-14943 Felgentreu (DE). PULZ, Otto; Milanring 4, D-14558 Bergholz-Rehbrücke (DE). FRANKE, Horst; Alice-Bloch-Strasse 5, D-14558 Bergholz-Rehbrücke (DE). DÖBEL, Katrin; Ravensbergstrasse 7a, D-14558 Bergholz-Rehbrücke (DE). OEHLMANN, Hans-Ulrich; Henri-Dunant-Strasse 44, D-31141 Hildesheim (DE). UPHOFF, Rainer; Nachtweide 5d, D-38122 Braunschweig (DE). (74) Anwalt: KÖCKERITZ, Günter; Preussag AG, Patente und Lizenzen, Karl-Wiechert-Allee 4, D-30625 Hannover (DE).	197 14 818.2	10. April 1997 (10.04.97)	DE	198 14 253.6	31. März 1998 (31.03.98)	DE	(81) Bestimmungsstaaten: AU, IS, JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
197 14 818.2	10. April 1997 (10.04.97)	DE					
198 14 253.6	31. März 1998 (31.03.98)	DE					
(54) Title: METHOD FOR PRODUCING BIOMASS BY PHOTOSYNTHESIS (54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON BIOMASSE MITTELS PHOTOSYNTHESE (57) Abstract The invention relates to a method for producing biomass by photosynthesis, in particular a method for cultivating microalgae, which makes possible an effective production of biomass by carbon dioxide fixation from CO₂-containing combustion gases. The invention seeks to create a method for producing biomass by photosynthesis, in particular a method for cultivating microalgae, thus making possible effective production of biomass by fixation of carbon dioxide from CO₂-containing combustion gases, while avoiding the disadvantages of hitherto known methods. The invention aims to improve these known methods as regards energy balance, production cost and optimal use of available light energy, so that these methods are suitable for use on an industrial scale. In accordance with the invention, the production of biomass takes place by photosynthesis. To this end, a culture suspension is produced by inoculating a nutrient solution with micro-organisms, and the culture suspension is conditioned with a CO₂-containing gas, the components contained in the gas being saturated so as to give a bubble-free suspension. The suspension is then introduced into a reactor having constant flow characteristics. When the solution is exposed and its flowing speed optimally regulated, the CO₂ contained in the culture suspension is enriched by formation of high-energy carbon compounds and other metabolic products.							
(57) Zusammenfassung Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Biomasse mittels Photosynthese. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Kultivierung von Mikroalgen und ermöglicht eine effektive Produktion von Biomasse durch Fixierung von Kohlendioxid aus CO₂-haltigen Abgasen. Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung von Biomasse mittels Photosynthese, insbesondere zur Kultivierung von Mikroalgen vorzustellen, welches eine effektive Produktion von Biomasse durch Fixierung von Kohlendioxid aus CO₂-haltigen Abgasen unter Vermeidung der Nachteile bekannter Verfahren ermöglicht. Mit der vorliegenden Erfindung sollen bekannte derartige Verfahren hinsichtlich ihrer Energiebilanz, ihres Herstellungsaufwandes und einer optimalen Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Lichtenergie dahingehend verbessert werden, daß diese für einen großtechnischen Einsatz geeignet sind. Erfindungsgemäß erfolgt die Herstellung von Biomasse mittels Photosynthese, wobei durch Beimpfen einer Nährlösung mit Mikroorganismen eine Kultursuspension hergestellt wird und die Kultursuspension mit einem CO₂-enthaltenden Gas unter Sättigung der im Gas enthaltenen Komponenten bis zur Blasenfreiheit konditioniert wird. Die Suspension wird anschließend unter Erzeugung eines gleichmäßigen Strömungsprofils in einen Reaktor geleitet, in dem bei Belichtung und Einstellung einer optimalen Fließgeschwindigkeit der Lösung eine Abreicherung des in der Kultursuspension enthaltenen CO₂ durch Aufbau energiereicher Kohlenstoffverbindungen und Bildung weiterer Stoffwechselprodukte erfolgt.							

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Verfahren zur Herstellung von Biomasse mittels Photosynthese

Beschreibung

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Biomasse mittels Photosynthese. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Kultivation von Mikroalgen und ermöglicht eine effektive Produktion von Biomasse durch Fixierung von Kohlendioxid aus CO₂-haltigen Abgasen.

10 Mikroalgen lassen sich gut kultivieren, und daher sind Techniken zur Nutzung der hohen photosynthetischen Produktivität aus zahlreichen Patenten und Publikationen bekannt (Biotechnology and Bioengineering, Vol.35, 809, 1990, H.Gutermann). Häufig wird das Phytoplankton zur Gewinnung von Wertstoffen oder Pharmazeutika wie Polysacchariden, polyungesättigten Fettsäuren,
15 Farbstoffen, Vitaminen usw. geerntet (Algae and Human Affairs, Cambridge University Press, Cambridge, 1988, K.G.Sprenger et al.). Aber auch als proteinreiche Futterstoffe finden die Biomassen aus Algen Verwendung.

Unter den Verfahren, die zur Erzeugung eines Massenproduktes angewendet
20 werden, sind zunächst die häufig beschriebenen offenen Systeme zu nennen. Hierunter werden raceway ponds, runde Becken und evt. natürliche Lagunen mit einer Wassertiefe von in der Regel 10 - 30 cm verstanden. In diesen Systemen werden die in Suspension vorliegenden Algen mit Hilfe von Rührvorrichtungen wie

25 z. B. Schaufelrädern, Propellern oder Archimedischen Schrauben agitiert, um ein Absetzen der Mikroorganismen zu verhindern. Gleichzeitig gelangen alle Algen durch intensives Mischen in die oberen, von intensiverem Licht durchstrahlten Wasserschichten (Applied Biochemistry and Biotechnology, Vol.51/52, 681, 1995, H. Matsumoto et al.).

30 Die Produktivität der Mikroalgen in offenen Systemen hängt stark von der Lichtintensität sowie der Fließgeschwindigkeit ab, die eng mit der Technik der Agitation verbunden ist. Typische Biomasseerträge in offenen Systemen liegen

bei 8 - 12 g/m² d.

Eine weitere Steigerung der Biomasseerträge läßt sich durch Verfahren, in denen geschlossene Reaktoren eingesetzt werden, erzielen. Dort lassen sich
5 die Kultivationsbedingungen wie Temperatur, Nährstoffangebot, CO₂-Angebot und Lichtintensität genauer als in offenen Systemen steuern bzw. kontrollieren. Bei den geschlossenen Systemen handelt es sich in der Regel um Platten- oder Röhrenreaktoren, die direkt mit Sonnenlicht bzw. künstlichem Licht bestrahlt werden oder in die das Licht durch Lichtleitsysteme, Spiegel und
10 Linsen eingekoppelt wird (Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, Vol.46, 63, 1992, I.Karube et al.). Die Biomasseerträge liegen abhängig von der Algenspezies sowie vom Kultivierungsverfahren in den genannten Systemen bei 15 - 25 g/m² d.

15 Da der Kohlenstoffgehalt der Biomasse ca. 60 Massen- % beträgt, wird deutlich, daß CO₂ während der Photosynthese den größten Beitrag zum Stoffaufbau liefert und somit nach preisgünstigen CO₂-Quellen gesucht werden muß. Der CO₂-Gehalt der Atmosphäre ist zu gering, um die erforderlichen Produktivitäten zu gewährleisten. Rauchgas und andere industrielle Abgase
20 haben dagegen das Potential, auch große Algenfarmen mit ausreichenden Mengen an CO₂ zu versorgen. Ein Screening nach Algenspezies, die hohe CO₂-Konzentrationen und die im Abgas enthaltenen Spurengase wie SO_x, NO_x und CO tolerieren, ist aus verschiedenen Druckschriften bekannt (Plant Physiol.,82,610, 1986, Y.Marcus et al.; Plant Physiol.91,514, 1989, G.D. Price;
25 Plant Physiol. 94,760, 1990, T.Ogawa). Untersuchungen über das Wachstumsverhalten während der Versorgung der Mikroalgen mit Abgasen zeigten, daß diverse marine Algen, z. B. Tetraselmis suecica, Nannochloropsis/Phaeodactylum, durch eine Verwendung der Abgase nicht in ihrem Wachstum eingeschränkt wurden und die Kulturen für ein Jahr stabil
30 blieben

(Applied Biochemistry and Biotechnology, Vol.51/52, 681, 1995, H. Matsumoto et al.). Diese Ergebnisse können jedoch nicht verallgemeinert werden und sind

stark von der verwendeten Spezies und den Kultivationsbedingungen abhängig.

Weiterhin muß die Ernte der Biomasse auf die jeweiligen Mikroorganismen
5 abgestimmt werden, da die entsprechenden Verfahren stark von der
Erntekonzentration, der Organismengröße sowie den physiologischen
Eigenschaften abhängig sind. Aus der Biotechnologie sowie der
Abwassertechnologie sind eine Vielzahl von Verfahren zur Zellernte und
Feststoffabtrennung bekannt. Beispielhaft seien Tellerzentrifuge,
10 Lamellenseparator und Filtration mit Flockungsmitteln genannt („Micro - algal
Technology“, Cambridge University Press, 1988, M.A.Borowitzka,
L.J.Borowitzka (eds.)).

Gleiches wie für die Ernte gilt auch für den Aufschluß sowie die Extraktion von
Mikroalgen. Die zum Einsatz kommenden Verfahren müssen auf die Zelle und
15 den Verwendungszweck der Biomasse abgestimmt werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur
Herstellung von Biomasse mittels Photosynthese, insbesondere zur Kultivation
von Mikroalgen vorzustellen, welches eine effektive Produktion von Biomasse
20 durch Fixierung von Kohlendioxid aus CO₂-haltigen Abgasen unter Vermeidung
der Nachteile bekannter Verfahren ermöglicht. Mit der vorliegenden Erfindung
sollen bekannte derartige Verfahren hinsichtlich ihrer Energiebilanz, ihres
Herstellungsaufwandes und einer optimalen Ausnutzung der zur Verfügung
stehenden Lichtenergie dahingehend verbessert werden, daß diese für einen
25 großtechnischen Einsatz geeignet sind.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1
gelöst. Vorteilhafte Ausbildungen des Verfahrens sind in den Ansprüchen 2 bis
23 enthalten. Die Erfindung beinhaltet weiterhin die Verwendung besonders
30 bevorzugter Algenspezies.

4

Nach der vorliegenden Erfindung erfolgt die Herstellung von Biomasse mittels Photosynthese, wobei durch Beimpfen einer Nährlösung mit Mikroorganismen eine Kultursuspension hergestellt wird und die Kultursuspension mit einem CO₂-enthaltenden Gas unter Sättigung der im Gas enthaltenen Komponenten bis zur Blasenfreiheit konditioniert wird. Dabei wird in der Kultursuspension ein pH-Wert von > 5,0 und < 7,0 eingestellt, wodurch die Mikroorganismen einem Konditionierungsstreß (pH-Streß) unterliegen, wodurch der Fettanteil der Biomasse insgesamt sowie der Anteil spezieller Fettsäuren wie beispielsweise der Anteil mehrfachungesättigter Fettsäure überraschend gesteigert werden kann. Die quantitative Zusammensetzung der Zellinhaltsstoffe kann nach einem besonderen Merkmal der Erfindung gezielt modifiziert werden, wobei ein Fettgehalt von mehr als 20 % in der Trockenbiomasse erreicht wird. Weiterhin erfolgt während der logarithmischen, bis weit in die stationäre Wachstumsphase der Mikroorganismen eine Zuführung weiterer organischer Kohlenstoffquellen.

Nach einem bevorzugten Merkmal der Erfindung werden als weitere C-Quellen der Kultursuspension Einfach- und/oder Mehrfachzucker, und zwar insbesondere Glucose, in einer Konzentration von 0,3 bis 10 g/l Kultursuspension zugegeben.

Durch diese mixotrophe Ernährungsweise der Mikroorganismen wird das Potential, der Algenzelle Kohlenstoff auf verschiedenen Stoffwechselwegen mit Hilfe unterschiedlicher biochemischer Prozesse für die Bildung von zelleigener, energiereicher Substanz zu assimilieren, voll ausgeschöpft. Außerdem können die Prozesse der Photorespiration, durch die 1 bis 10 % des neu assimilierten Kohlenstoffes verlorengehen, minimiert werden.

Die Suspension wird anschließend unter Erzeugung eines gleichmäßigen Strömungsprofils in einen Reaktor geleitet, in dem bei Belichtung und Einstellung einer optimalen Fließgeschwindigkeit der Lösung eine Abreicherung

des in der Kultursuspension enthaltenen CO₂ durch Aufbau energiereicher Kohlenstoffverbindungen und Bildung weiterer Stoffwechselprodukte erfolgt.

5 Mit der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren vorgestellt, welches sich gegenüber bislang bekannten Verfahren durch ein reduziertes Kontaminationsrisiko, reproduzierbare Kultivationsbedingungen, hohe Flexibilität in Bezug auf Umwelteinflüsse, geringeren Platzbedarf und reproduzierbare Biomassequalitäten auszeichnet.

10 Nach einem besonderen Merkmal der Erfindung handelt es sich bei dem Stoffwechselprodukt um ein O₂-haltiges Gas, welches durch Phasentrennung nach Durchgang durch den Reaktor abgetrennt wird und einer weiteren Verwendung zugeführt werden kann. Diese Sauerstoffproduktion macht das erfindungsgemäße Verfahren besonders effizient.

15 Nach einem bevorzugten Merkmal der Erfindung werden als Mikroorganismen phototrophe Organismen und/oder Zellkulturen, insbesondere Mikroalgen eingesetzt. Es wurde gefunden, daß mit den Mikroalgenspecies *Chlorella vulgaris* und/oder *Scenedesmus* spp./*Microcystis* (Mischkultur) sich besonders
20 gut die oben beschriebenen Vorteile des Verfahrens erreichen lassen.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung werden nach dem vorliegenden Verfahren Algenbiomasse und deren Stoffwechselprodukte erzeugt, wobei als Nährlösung Wasser und Stoffe, die für den Aufbau energiereicher
25 Kohlenstoffverbindungen erforderlich sind, eingesetzt werden. Dabei handelt es sich um Stickstoffverbindungen, Phosphate, Kalium-, Calcium-, Magnesiumverbindungen und Spurenelemente. Nach einem anderen Merkmal der Erfindung enthält die Nährlösung auch organische Substanzen, z. B. Kohlenhydrate wie Zucker und/oder Acetate und/oder puffernde Substanzen
30 wie Tris und/oder Borax und/oder Kalk.

Nach einem besonderen Merkmal der Erfindung kann die Nährlösung auch nährstoffhaltige Abwässer, einschließlich Klärschlämme und/oder synthetische Lösungen enthalten. Dadurch wird ein äußerst effektiver Einsatz derartiger Abwässer ermöglicht.

5

Ein ebenfalls bevorzugtes Merkmal der Erfindung beinhaltet, daß als CO₂-enthaltendes Gas ein Abgas, und zwar insbesondere ein Abgas aus Verbrennungsprozessen, Kalkbrennprozessen und /oder metallurgischen Prozessen eingesetzt wird. Damit müssen derartige Abgase nicht mehr an die Umwelt abgegeben werden, sondern können einer sinnvollen Verwendung zugeführt werden. Die Algenspezies erhalten darüberhinaus ausreichende Mengen an CO₂, um die erforderliche Produktivität zu gewährleisten.

10

15 Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung erfolgt die Konditionierung der Kultursuspension mit dem CO₂-enthaltenden Gas unter Sättigung der im Gas enthaltenen Komponenten in einem Gaswäscher. Die Komponenten des Gases lösen sich dabei in der Kultursuspension bis zur Sättigung und Komponenten der Kultursuspension, deren Konzentration die Gaslöslichkeit in der Kultursuspension überschreitet, werden ausgetragen. Die Suspension verläßt
20 den Gaswäscher blasenfrei. Mit dem Gaswäscher ist ein geregelter CO₂-Eintrag bei geringen CO₂-Verlusten möglich.

25

Ein bevorzugtes Merkmal der Erfindung beinhaltet, daß das aus Verbrennungsprozessen stammende CO₂-enthaltende Abgas in einem Abgaskühler temperiert wird und das dabei entstehende Kondensat mit dem CO₂-enthaltende Abgas über einen Gaswäscher in den Reaktor geleitet wird. Das Kondensat wird damit Bestandteil der Kultursuspension und einer sinnvollen Verwendung zugeführt .

30

Nach einem besonders bevorzugten Merkmal der Erfindung wird das gleichmäßige Strömungsprofil der konditionierten Kultursuspension dadurch

erzeugt, daß diese in einen Reaktor geleitet wird, der ein photosynthetisch und hydrodynamisch aktives Dünnschichtsystem umfaßt.

Das Dünnschichtsystem besteht nach diesem Merkmal aus mindestens einem
5 Modul, wobei das Modul aus einer Vielzahl von zueinander beabstandeten, übereinanderliegenden und parallel zueinander verlaufenden Dünnschichtgefäßen besteht, deren Eintritts- und Austrittsseiten über Anschlußstücke und Verbinder mit einem Modulverlauf beziehungsweise Rücklauf verbunden sind. Die einzelnen Verbinder weisen dabei jeweils eine
10 Querschnittsfläche auf, die ein gleichmäßiges Strömungsprofil über alle Glasrohre ermöglicht. Dabei nimmt die Querschnittsfläche der Verbinder in Fließrichtung des Modulvorlaufes zu, während die Querschnittsfläche der Verbinder des Modulrücklaufes in Fließrichtung abnimmt. Modulvor- und -rücklauf bestehen aus jeweils aus einem Rohr mit Anschlußstücken für die
15 Verbinder, wobei die Querschnittsfläche des Modulvorlaufes in Fließrichtung abnimmt und die Querschnittsfläche des Modulrücklaufes in Fließrichtung zunimmt.

Durch die querschnittsreduzierten beziehungsweise -erweiterten Verbinder und
20 querschnittsreduzierten beziehungsweise -erweiterten Modulvor- und -rückläufe wird ein gleichmäßiges Strömungsprofil über alle Dünnschichtgefäße ermöglicht.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird das gleichmäßige
25 Strömungsprofil der konditionierten Kultursuspension dadurch erzeugt, daß diese in einen Reaktor eingeleitet wird, der aus mindestens einem einstückig extrudierten transparenten Plattenmodul besteht, welches eine Vielzahl von übereinanderliegenden und parallel zueinander verlaufenden durchgehenden Kanälen aufweist, deren Eintritts- und Austrittsseiten in einen
30 Flüssigkeitssammler und/oder Flüssigkeitsverteiler münden, wobei der Flüssigkeitsverteiler in Fließrichtung eine Querschnittsreduzierung und der Flüssigkeitssammler eine Querschnittserweiterung aufweist. Dadurch kann

erfindungsgemäß über alle Kanäle eine optimale, gleichmäßige Fließgeschwindigkeit der Lösung im Reaktor eingestellt werden. Es wird mit überraschend einfachen Mitteln erreicht, daß mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten turbulente Verhältnisse im Kulturmedium erhalten werden, die für eine optimale Lichtenergieausnutzung erforderlich sind. Darüberhinaus kann der Strömungswiderstand im Vergleich zu den bekannten Lösungen erheblich verringert werden.

Letztendlich wird dadurch die erforderliche Pumpleistung wesentlich reduziert, wodurch die Energiebilanz besonders vorteilhaft verbessert wird. Die Verbindung mehrerer Plattenmodule ermöglicht außerdem den Aufbau beliebig großer Reaktoren für den großtechnischen Einsatz aus einfachen Standardbauteilen.

Nachfolgend soll die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden.

In der Abbildung zeigt die

Figur 1: eine beispielhafte Ausführungsform des Reaktors und den schematischen Ablauf des Verfahrens,

Figur 2: eine weitere Variante eines Reaktors mit Dünnschichtsystemen.

Aus dem Brennprozeß eines Kalkbrennofens wird ein Abgas 27a mit einer CO₂-Konzentration von ca. 25 % einem Abgaskühler (nicht dargestellt) zugeführt. Im Abgaskühler wird das CO₂-enthaltende Abgas auf eine Temperatur von ca. 35 °C temperiert. Während des Kühlprozesses entsteht ein Kondensat .

Das CO₂-enthaltende Abgas und das Kondensat werden über einen Gaswäscher 5 in einen Reaktor geleitet, wobei im Gaswäscher 5 eine Kultursuspension 4a mit dem CO₂-enthaltenden Abgas 27a und dem Kondensat (nicht dargestellt) unter Sättigung der im Abgas enthaltenen Komponenten bis zur Blasenfreiheit konditioniert wird.

Die Kultursuspension 4a besteht aus einer Nährlösung und einer Mikroalgenspecies *Chlorella vulgaris*. Die Nährlösung besteht aus Wasser 9, anorganischen Nährstoffen und Tris(hydroxymethyl)-aminomethan .

Das Wasser wird dabei als Abwasser aus dem Kalkbrennofen zur Verfügung
5 gestellt. Im Abwasser sind in geringer Konzentration anorganische Nährstoffe gelöst.

Die Nährlösung (NL) beinhaltet dabei folgende anorganische Nährstoffe.

Komponente	Einsatzmenge (g/l)
<i>Makrobestandteile</i>	
Harnstoff	0,3
Ammoniumnitrat	0,4
Kaliumdihydrogenphosphat	0,34
Magnesiumsulfat	0,5
Eisensulfat	0,5
<i>Mikrobestandteile I pro Liter Stammlösung (0,01 ml / l NL)</i>	
Zinksulfat	74,0
Borax	5,7
Kobaltsulfat	23,8
Kupfersulfat	23,6
Mangansulfat	410
<i>Mikrobestandteile II pro Liter Stammlösung (0,01 ml / l NL)</i>	
Ammoniummolybdat	9,2

Tris(hydroxymethyl)-aminomethan ist eine organische Substanz, die als Säurepuffer der Nährlösung in einer Konzentration von ca. 1,0 g/l zugesetzt wird.

Die konditionierte Kultursuspension zirkuliert im Reaktor welcher gemäß der Figur 1 aus einer Plattenmodulanlage 1 aus einstückig extrudierten transparenten Plattenmodul 1a...1n, einem Ausgleichsbehälter 6, einer Systempumpe 8, einer Meßstrecke 7, einem Vorlauf 2, einem Rücklauf 3 und dem Gaswäscher 5 besteht und wird mit Hilfe der natürlichen Sonneneinstrahlung 12 belichtet. Die konditionierte Kultursuspension gelangt aus dem Ausgleichsbehälter 6 durch die Systempumpe 8 über den Vorlauf 2 in das Plattenmodul 1a.

Das Plattenmodul 1a weist eine Vielzahl von übereinanderliegenden und parallel zueinander laufenden durchgehenden Kanälen auf, deren Eintritts- und

Austrittsseiten in einem Flüssigkeitssammler 21 bzw. Flüssigkeitsverteiler 15 münden.

Der Flüssigkeitsverteiler 15 besitzt dabei in Fließrichtung eine Querschnittsreduzierung 19 und der Flüssigkeitssammler 21 besitzt eine
5 Querschnittserweiterung 22.

Dadurch wird im Plattenmodul ein gleichmäßiges Strömungsprofil der konditionierten Kultursuspension gewährleistet.

Die gleiche Wirkung wird selbstverständlich auch in einem Reaktor nach Figur
10 2 erreicht. Dieser Reaktor besteht aus einem photosynthetisch und hydrodynamisch aktiven Dünnschichtsystem aus mindestens einem Modul A mit einer Vielzahl von zueinander beabstandeten, übereinanderliegenden und parallel zueinander verlaufenden, röhrenförmigen Dünnschichtgefäßen B, deren Eintritts- und Austrittsseiten über Anschlußstücke C, D und Verbinder E
15 für die übereinanderliegenden Dünnschichtgefäße jeweils eine Querschnittsfläche aufweisen, die in Fließrichtung des Modulvorlaufes F zunimmt und in Fließrichtung des Modulrücklaufes G abnimmt. Dabei bestehen Modulvor- und -rücklauf F und G jeweils aus einem Rohr mit Anschlußstücken H und I für die Verbinder E, wobei die Querschnittsfläche des Modulvorlaufes F
20 in Fließrichtung abnimmt und die Querschnittsfläche des Modulrücklaufes G in Fließrichtung zunimmt.

Im Plattenmodul erfolgt das Biomassewachstum, die Abreicherung des gelösten CO₂ und die Anreicherung von Sauerstoff 28.

25 Nach dem Plattenmodul gelangt die Kultursuspension 4a über den Rücklauf 3 und den Gaswäscher 5 in den Ausgleichsbehälter 6 zurück.

Das CO₂-enthaltende Abgas 27a wird mit Hilfe des Gaswäschers 5 in der Kultursuspension 4a gelöst, und der im Verlauf der photobiologischen Prozesse
30 gebildete Sauerstoff 28 mit den nicht genutzten Komponenten des Abgases 27b wird ausgetragen.

Die Konditionierung des CO₂-enthaltende Abgases erfolgt in Abhängigkeit der pH - und Temperatur- und Optischen Dichtewerten der Kultursuspension, welche in der Meßstrecke 7 vor der Systempumpe 8 erfaßt werden.

Die Messung, Steuerung, Regelung und Speicherung von Zustandsgrößen der Kultursuspension und des CO₂-enthaltenden Abgases erfolgt dabei über eine zentrale Meß-, Steuer-, Regel- und Speichereinheit 29.

Die Trockenmassekonzentration der Mikroalgenspecies *Chlorella vulgaris* in der Kultursuspension beträgt ca. 2 g Trockensubstanz/l. Im Verlaufe des Wachstums der Biomasse werden energiereiche Kohlenstoffverbindungen aufgebaut. Die Biomasseernte erfolgt bei einer Trockenmassekonzentration in der Kultursuspension von > 2 g/l .

Mit Hilfe der Systempumpe 8 wird die Kultursuspension einer Ernteeinrichtung (nicht dargestellt) zugeführt.

Die Erntevorrichtung besteht aus einem Zwischenspeicher, einer Förderpumpe und einer Zentrifuge. Die Zentrifuge trennt die Biomasse von der Nährlösung, welche wieder in den Reaktor zurückgeführt wird. Die Biomasse besitzt eine Trockenmassekonzentration von ca. 120 g/l und ist dementsprechend feststoffreich, aber pumpfähig.

20

Die somit erhaltene Biomasse wird einer Verarbeitungseinrichtung (nicht dargestellt) zugeführt. Diese Verarbeitungseinrichtung ist eine Einrichtung, die auf extraktiver Basis arbeitet. Die Biomasse wird einer Lösungsmittlextraktion unterzogen, wobei die energiereichen Kohlenstoffverbindungen als Energieträger gewonnen werden.

25

In einem weiteren Verfahrensschritt (nicht dargestellt) werden die gewonnen energiereichen Kohlenstoffverbindungen einer Veresterung unterworfen und somit ein Biodiesel hergestellt. Bis zum Zeitpunkt des Verbrauchs wird der Biodiesel in einem Speicher zwischengelagert.

5

Nach einem weiteren Beispiel wird die erhaltene Biomasse als Futtermittel-beziehungsweise Futtermittelzusatz eingesetzt.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird eine Modifizierung der
10 quantitativen Zusammensetzung der Zellinhaltsstoffe ermöglicht. Als Ausführungsbeispiel gilt die wesentliche Erhöhung der Fettgehalte auf vorzugsweise mehr als 20 % in der Trockenbiomasse. Der Zusatz von ca. 1 % der erfindungsgemäßen Algenbiomasse zum Gesamtfutter bei Legehennen bringt überraschende Ergebnisse. Die höheren Legeleistungen bei
15 Legehennen, sowohl in ökologischer als auch konventioneller Haltung, werden auf die gesundheitsfördernden synergistischen Wirkungen der natürlichen, biologisch-gebundenen, ausgewogenen, bioaktiven Zellinhalts-Wirkstoffe der Mikroalge *Chlorella vulgaris*, wie Ballaststoffe, insbesondere lösliche, resistente Stärke, Oligosaccharide, Polysaccharide, Vitamine, essentielle mehrfach
20 ungesättigte Fettsäuren, essentielle Aminosäuren, Mineralien und Spurenelemente zurückgeführt.

Wirkungen dieser Stoffkomplexe sind die Förderung der Darm-Mikroflora und die Bildung von immunbiologisch und -physiologisch aktiven Substanzen, die Senkung des Blutzucker-, Cholesterinspiegels und des Bluthochdrucks,
25 antitumorale und atimutagene Effekte.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Biomasse mittels Photosynthese, wobei
5 durch Beimpfen einer Nährlösung mit Mikroorganismen eine Kultursuspension hergestellt wird,
- die Kultursuspension mit einem CO₂-enthaltenden Gas unter Sättigung der im Gas enthaltenen Komponenten bis zur Blasenfreiheit konditioniert wird, wobei in der Kultursuspension ein pH-Wert von >5,0 und <7,0
10 eingestellt wird und der Kultursuspension während der logarithmischen bis weit in die stationäre Wachstumsphase der Mikroorganismen weitere organische Kohlenstoff-Quellen zugeführt werden,
- die Suspension unter Erzeugung eines gleichmäßigen Strömungsprofils in einen Reaktor geleitet wird, in dem bei Belichtung und Einstellung einer optimalen Fließgeschwindigkeit eine Anreicherung des in der
15 Kultursuspension enthaltenen CO₂ durch Aufbau energiereicher Kohlenstoffverbindungen und Bildung weiterer Stoffwechselprodukte erfolgt.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als weitere organische C-Quellen der Kultursuspension Einfach- und/oder Mehrfachzucker zugegeben werden.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als weitere organische C-Quelle der Kultursuspension Glucose in einer Konzentration von 0,3 bis 10 g/l Kultursuspension zugegeben wird.

4. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
die quantitative Zusammensetzung der Zellinhaltsstoffe der Biomasse
gezielt modifiziert wird, wobei ein Fettgehalt von mehr als 20 % in der
5 Trockenbiomasse erreicht wird.
5. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
das Stoffwechselprodukt ein O₂-haltiges Gas ist, welches durch
10 Phasentrennung nach Durchgang durch den Reaktor abgetrennt wird und
der weiteren Verwendung zugeführt wird.
6. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
15 die im Reaktor erzeugte Biomasse aus der Kultursuspension abgetrennt
und zu einer feststoffreichen, aber noch pumpfähigen Wasser/Biomasse-
Suspension aufbereitet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6,
20 dadurch gekennzeichnet, daß
die Abtrennung der Biomasse unter Ausnutzung von Dichteunterschieden
in Absetzbecken und/oder Zentrifugen und/oder unter Ausnutzung der
Teilchengröße in Filtereinrichtungen erfolgt und die Kulturlösung in das
Reaktorsystem zurückgeführt wird.
25
8. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
Algenbiomasse und deren Stoffwechselprodukte erzeugt werden und als
Nährlösung Wasser und Stoffe, die für den Aufbau energiereicher
30 Kohlenstoffverbindungen erforderlich sind, eingesetzt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet, daß
die Nährlösung Stickstoffverbindungen, Phosphate, Kalium-, Calcium-,
Magnesiumverbindungen und Spurenelemente enthält.

- 5 10. Verfahren nach den Ansprüchen 8 und 9,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Nährlösung organische Substanzen, z. B. Kohlenhydrate wie Zucker
und/oder Acetate und/oder puffernde Substanzen wie
Tris(hydroxymethyl)-aminomethan) und/oder Borax und/oder Kalk enthält.

10

11. Verfahren nach den Ansprüchen 8 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, daß
als Nährlösung nährstoffhaltige Abwässer, einschließlich Klärschlämme
und/oder synthetische Lösungen verwendet werden.

15

12. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
als Mikroorganismen phototrophe Organismen und/oder Zellkulturen
eingesetzt werden.

20

13. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, daß
als Mikroorganismen Mikroalgen eingesetzt werden.

- 25 14. Verfahren nach den Ansprüchen 12 und 13,
dadurch gekennzeichnet, daß
als Mikroorganismen die Mikroalgenspecies *Chlorella* ssp. und/oder
Scenedesmus spp. und/oder *Microcystis* ssp. als Rein- oder Mischkultur
eingesetzt werden.

30

15. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß

als CO₂-enthaltendes Gas ein Abgas eingesetzt wird.

16. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
5 als CO₂-enthaltendes Gas ein Abgas aus Verbrennungsprozessen,
Kalkbrennprozessen und /oder metallurgischen Prozessen eingesetzt
wird.
17. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
10 dadurch gekennzeichnet, daß
die Konditionierung der Kultursuspension mit dem CO₂-enthaltenden Gas
im Gaswäscher erfolgt, wobei sich die Komponenten des Gases in der
Suspension bis zur Sättigung lösen und eine blasenfreie Kultursuspension
erzeugt wird.
- 15 18. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
das CO₂-enthaltende Abgas in einem Abgaskühler temperiert wird und
das dabei entstehende Kondensat mit dem CO₂-enthaltenden Abgas über
20 einen Gaswäscher in den Reaktor geleitet wird.
19. Verfahren nach Anspruch 18,
dadurch gekennzeichnet, daß
das Gas im Gegenstrom zur Kultursuspension durch den Gaswäscher
25 geführt wird.
20. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
das gleichmäßige Strömungsprofil der konditionierten Kultursuspension
30 erzeugt wird, indem diese in einen Reaktor eingeleitet wird, der ein
photosynthetisch und hydrodynamisch aktives Dünnschichtsystem aus
mindestens einem Modul (A) mit einer Vielzahl von zueinander

beabstandeten, übereinanderliegenden und parallel zueinander verlaufenden, röhrenförmigen Dünnschichtgefäßen (B) besteht, deren Eintritts- und Austrittsseiten über Anschlußstücke (C, D) und Verbinder (E) mit einem Modulvorlauf (F) beziehungsweise Rücklauf (G) verbunden sind, wobei die einzelnen Verbinder (E) für die übereinanderliegenden Dünnschichtgefäße (B) jeweils eine Querschnittsfläche aufweisen, die in Fließrichtung des Modulvorlaufes (F) zunimmt und in Fließrichtung des Modulrücklaufes (G) abnimmt und Modulvor- und -rücklauf (F, G) jeweils aus einem Rohr mit Anschlußstücken (H, I) für die Verbinder (E) bestehen, wobei die Querschnittsfläche des Modulvorlaufs (F) in Fließrichtung abnimmt und die Querschnittsfläche des Modulrücklaufes (G) in Fließrichtung zunimmt.

21. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, daß

das gleichmäßige Strömungsprofil der konditionierten Kultursuspension erzeugt wird, indem diese in einen Reaktor eingeleitet wird, der aus mindestens einem einstückig extrudierten transparenten Plattenmodul besteht, welches eine Vielzahl von übereinanderliegenden und parallel zueinander verlaufenden durchgehenden Kanälen aufweist, deren Eintritts- und Austrittsseiten in einen Flüssigkeitssammler und/oder Flüssigkeitsverteiler münden, wobei der in Fließrichtung gesehene Flüssigkeitsverteiler eine Querschnittsreduzierung und der Flüssigkeitssammler eine Querschnittserweiterung aufweist, wodurch über alle Kanäle eine optimale, gleichmäßige Fließgeschwindigkeit der Suspension im Reaktor eingestellt wird.

22. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Belichtung der im Reaktor befindlichen Kultursuspension durch natürliche direkte und/oder diffuse Sonneneinstrahlung und/oder künstliche Beleuchtung erfolgt.

23. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Biomasse zu einem Energieträger weiterverarbeitet wird.

5

24. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Biomasse zur Produktion von chemischen und/oder pharmazeutischen
Grund- und Wirkstoffen weiterverarbeitet wird.

10

25. Verwendung der nach den Ansprüchen 1 bis 24 hergestellten Biomasse
als Futtermittel- und/oder Futtermittelzusatz.

15

26. Verwendung der Mikroalge *Chlorella* ssp. mit der Fähigkeit zur
Assimilation von Kohlendioxid zur Herstellung von Biomasse.

27. Verwendung der Mikroalgenmischkultur *Scenedesmus* spp. und/oder
Microcystis ssp. mit der Fähigkeit zur Assimilation von Kohlendioxid zur
Herstellung von Biomasse.

20

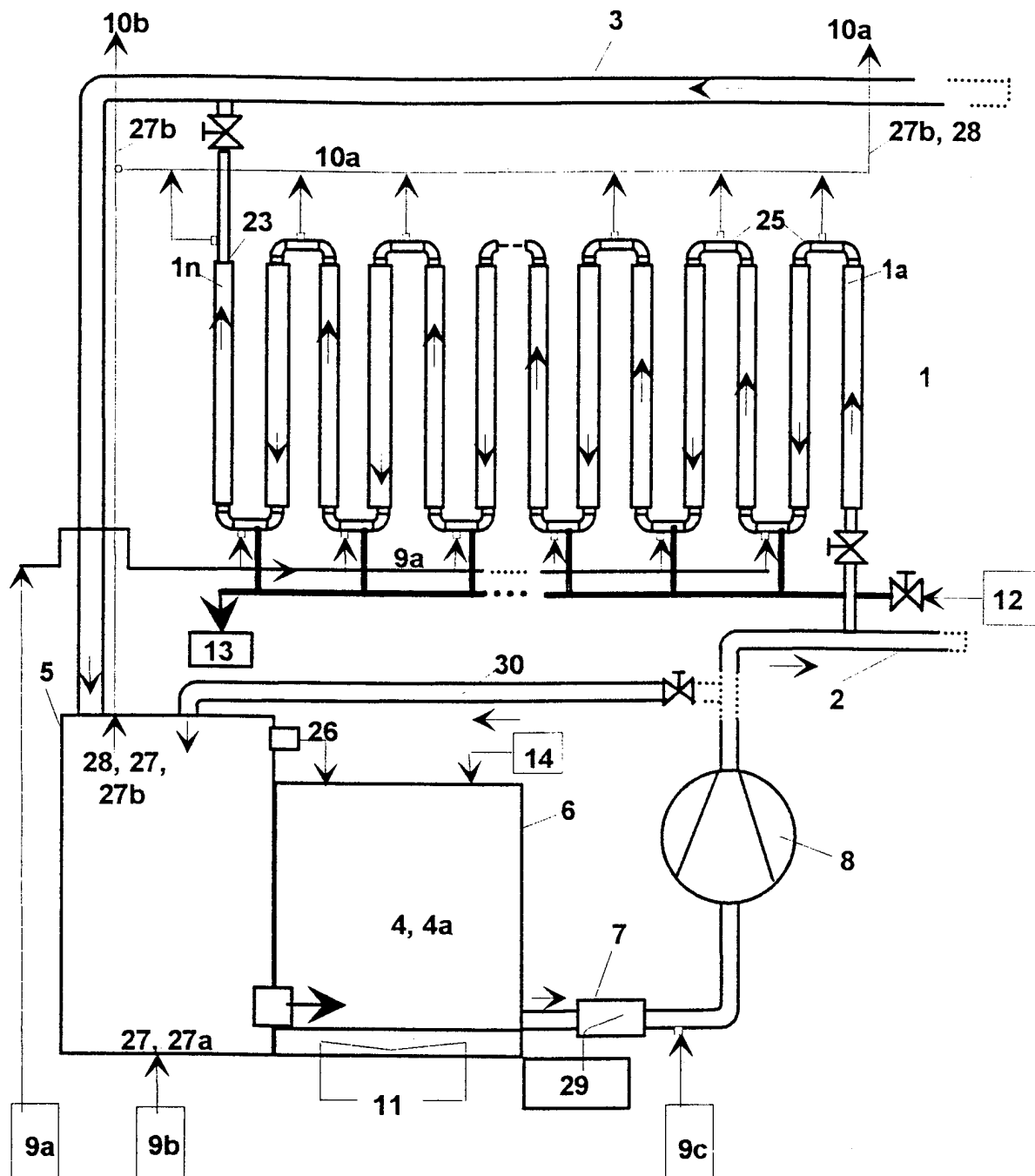


Fig. 1

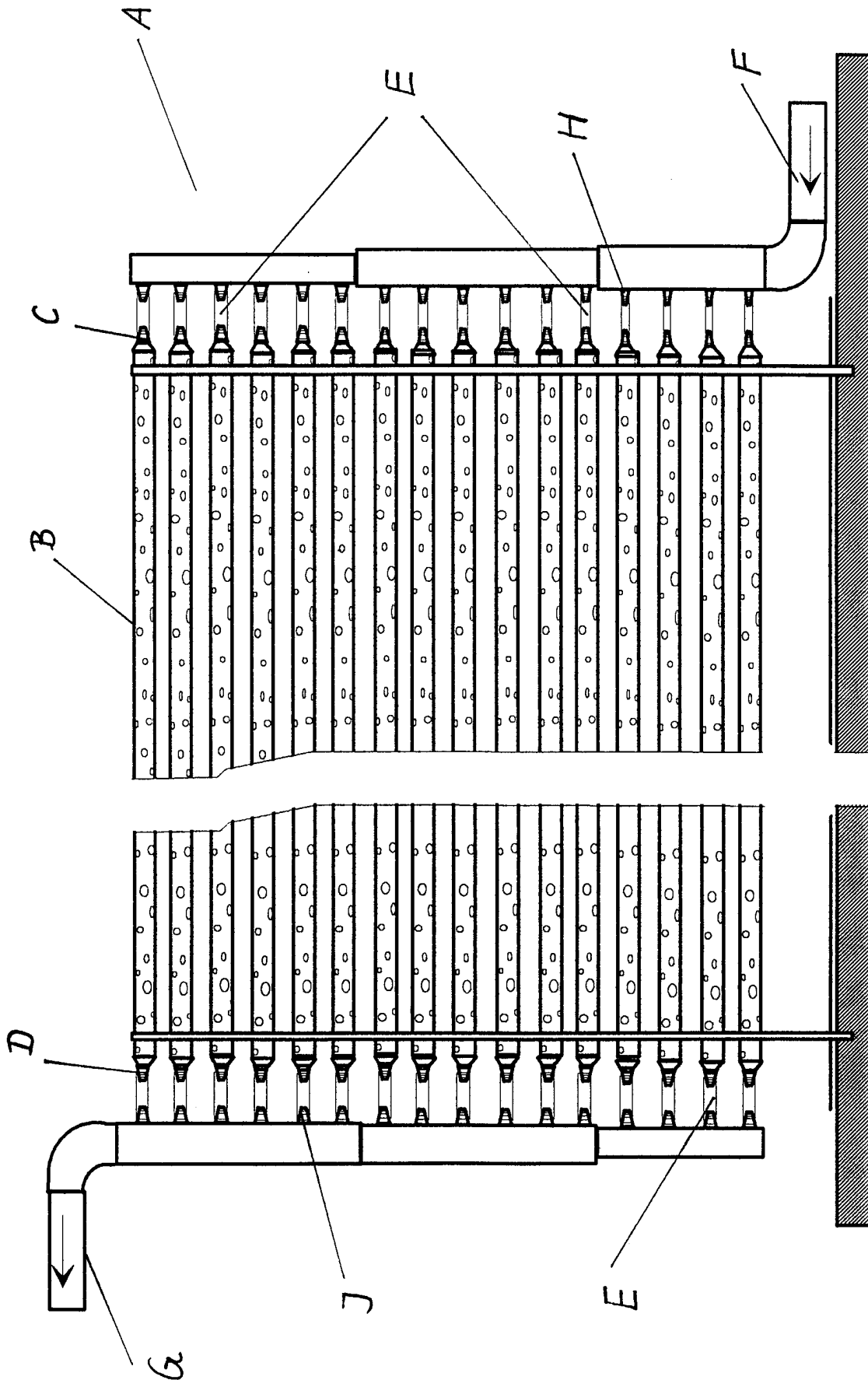


Fig. 2