

(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
26. März 2015 (26.03.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/039643 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
C12M 1/00 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2014/000464
- (22) Internationales Anmeldedatum:
3. September 2014 (03.09.2014)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2013 015 423.5
18. September 2013 (18.09.2013) DE
- (71) Anmelder: AIRBUS DEFENCE AND SPACE GMBH
[DE/DE]; Willy-Messerschmitt-Strasse 1, 85521
Ottobrunn (DE).
- (72) Erfinder: GÖBEL, Johann; Elilandstrasse 13, 81547
München (DE). SCHREIBER, Robert; Kirchweg 7,
82166 Gräfelfing (DE). WAGNER, Jennifer; Heussweg 8,
20257 Hamburg (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: PHOTOBIOREACTOR WITH LATERALLY LIGHT-EMITTING LIGHT CONDUCTOR MATS

(54) Bezeichnung : PHOTOBIOREAKTOR MIT SEITLICH LICHT-AUSKOPPELNDEN LICHTLEITERMATTEN

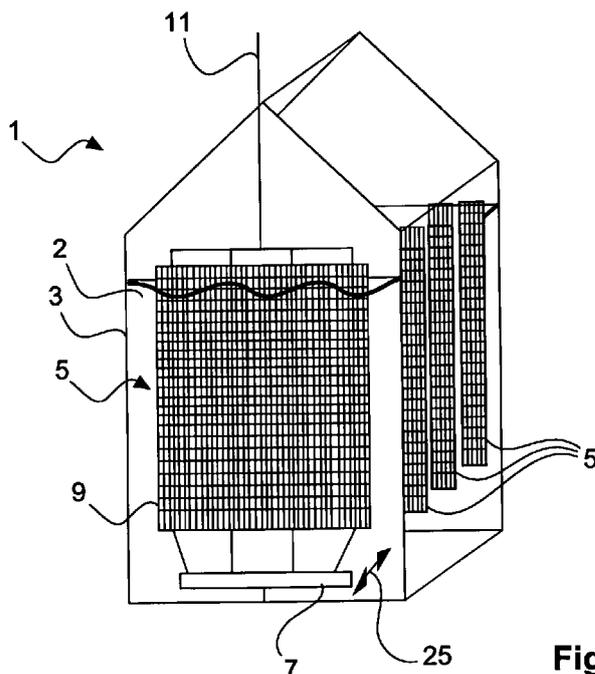


Fig. 1

(57) Abstract: A photobioreactor (1) and a photobioreactor system (100) are proposed, in order to cultivate phototrophic organisms, for example to produce fuels. The photobioreactor (1) has a vessel (3) and at least one laterally light-emitting light conductor mat (5). The vessel (3) is charged with the phototrophic organisms together with a nutrient solution (2). One or preferably more than one light conductor mat(s) (5) is/are arranged within the vessel (3) and each has a multiplicity of light-conducting fibres (9), which are arranged and/or formed in such a way that light that is introduced into the fibre at one end thereof is at least partially emitted laterally from the fibre. Consequently, a large adjacent volume within the vessel (3) can be illuminated over an extent of its surface area by way of the light conductor mat (5), in order in this way to increase efficiency of the photobioreactor (1). The light conductor mats (5) may also be moved by a mat moving device (7), in order to mix the nutrient solution specifically throughout the organisms. A photodetector coupled externally to the fibres can allow on-site monitoring of vital functions of the organisms.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/039643 A1



Es wird ein Photobioreaktor (1) sowie ein Photobioreaktorsystem (100) vorgeschlagen, um phototrophe Organismen beispielsweise zur Erzeugung von Kraftstoffen zu kultivieren. Der Photobioreaktor (1) weist einen Behälter (3) und mindestens eine seitlich licht-auskoppelnde Lichtleitermatte (5) auf. In den Behälter (3) werden die phototrophen Organismen zusammen mit einer Nährlösung (2) aufgenommen. Eine oder vorzugsweise mehrere Lichtleitermatten (5) werden innerhalb des Behälters (3) angeordnet und weisen jeweils eine Vielzahl von lichtleitenden Fasern (9) auf, welche derart angeordnet und / oder ausgebildet sind, dass Licht, welches an einem Ende einer Faser in die Faser eingekoppelt wird, zumindest teilweise seitlich aus der Faser austritt. Über die Lichtleitermatte (5) kann somit ein großes angrenzendes Volumen innerhalb des Behälters (3) flächig beleuchtet werden, um auf diese Weise eine Effizienz des Photobioreaktors (1) zu steigern. Die Lichtleitermatten (5) können ferner durch eine Mattenbewegungs Vorrichtung (7) bewegt werden, um die Nährlösung gezielt zu durchmischen. Ein extern an die Fasern angekoppelter Photodetektor kann eine On-Site-Überwachung von Vitalfunktionen der Organismen ermöglichen.

Photobioreaktor mit seitlich licht-auskoppelnden Lichtleitermatten

GEBIET DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Photobioreaktor zur Kultivierung von phototrophen Organismen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Phototrophe Organismen sind Kleinstlebewesen, z.B. in Form von Mikroorganismen, die Licht als Energiequelle für ihren Stoffwechsel direkt nutzen können. Zu den phototrophen Organismen zählen zum Beispiel bestimmte Pflanzen, Moose, Mikroalgen, Makroalgen, Cyanobakterien und Purpurbakterien.

Für unterschiedliche Anwendungszwecke kann es gewünscht sein, Biomasse beispielsweise in Form von Algen in großen Mengen und preisgünstig herstellen zu können. Beispielsweise kann solche Biomasse für die Erzeugung alternativer Biotreibstoffe z.B. für den Transportsektor verwendet werden.

Um Biomasse im industriellen Maßstab erzeugen zu können, werden so genannte Bioreaktoren eingesetzt. Ein Bioreaktor ist eine Anlage zur Produktion von Organismen außerhalb ihrer natürlichen und innerhalb einer künstlichen technischen Umgebung. So genannte Photobioreaktoren werden eingesetzt, um phototrophe Organismen zu kultivieren. Ein Photobioreaktor stellt den phototrophen Organismen dabei sowohl Licht als auch CO₂ sowie gegebenenfalls eine geeignete Nährlösung zur Verfügung, damit diese entsprechend Biomasse aufbauen können.

Generell sind für Photobioreaktoren sowohl offene als auch geschlossene Systeme bekannt. Jeder dieser Typen von Photobioreaktoren weist bestimmte Vorteile und Nachteile auf.

Bei offenen Photobioreaktorsystemen, teilweise auch als open ponds bezeichnet, werden phototrophe Organismen in offenen Becken oder Teichen kontrolliert gezüchtet. Dabei wird meist eine Nährlösung oder Kultursuspension, die alle für den jeweiligen Organismus notwendigen Nährstoffe und CO₂ enthält, in einem Kreislauf gefördert und von der offenen Oberfläche her meist direkt von der Sonne beleuchtet.

Mögliche Vorteile solcher offenen Photobioreaktorsysteme sind ein verhältnismäßig geringer technischer Aufwand sowie ein geringer Stromverbrauch.

Allerdings bringt eine Beleuchtung lediglich über die nach oben offene Fläche mit sich, dass nur geringe Volumina mit ausreichend Licht versorgt werden können. Licht kann in eine mit Organismen versetzte Nährlösung meist nur wenige Zentimeter tief eindringen. Die Tiefe solcher offenen Photobioreaktorsysteme ist somit in der Regel auf 20 bis 30 cm begrenzt. Der geringe mittlere Lichteintrag führt zu geringen flächenbezogenen Wachstumsraten. Für offene Photobioreaktorsysteme muss somit viel Fläche bereitgestellt werden. Hierdurch werden Kosten für solche Photobioreaktoren insbesondere in dicht besiedelten Regionen erheblich erhöht.

Außerdem kann es an der frei liegenden Oberfläche zu einer starken Verdunstung und damit zu Aufsalzungseffekten kommen. Über die frei liegende Oberfläche kann ferner eine erhebliche Menge an CO₂ in die Atmosphäre diffundieren. Im Gegenzug können über die frei liegende Oberfläche Verschmutzungen in einen offenen Photobioreaktor gelangen, diesen kontaminieren und damit eine Produktreinheit gefährden. Ferner gestaltet sich eine eventuell notwendige Heizung oder Kühlung solcher offenen Photobioreaktorsysteme schwierig. Bei ausschließlicher

Beleuchtung mit Sonnenlicht ergibt sich außerdem eine Tageszeitenabhängigkeit, wobei tiefer liegende Schichten häufig nur unzureichend beleuchtet werden, wohingegen direkt an der Oberfläche des offenen Systems sehr hohe Beleuchtungsintensitäten auftreten können, die gegebenenfalls zur so genannten Photoinhibition führen können.

Die Summe der genannten Nachteile beziehungsweise beschränkenden Randbedingungen kann insbesondere dazu führen, dass offene Photobioreaktorsysteme in Form von open ponds häufig nur in ganz bestimmten geographischen Bereichen ganzjährig eingesetzt werden können.

Um einerseits einen Einfluss von Umweltbedingungen zu reduzieren und um andererseits einen höheren Ertrag bei der Kultivierung von phototrophen Organismen zu erreichen, wurden geschlossene Photobioreaktorsysteme entwickelt. In solchen geschlossenen Systemen wird eine Nährlösung zusammen mit den Organismen durch einen geschlossenen Kreislauf geleitet und dabei meist von außen her beleuchtet.

Beispielsweise werden bei einem Rohr-Photobioreaktor Glas- oder Kunststoffrohre zu einem geschlossenen Kreislauf zusammengesetzt und die darin eingeschlossenen Organismen mittels einer zentralen Einheit, die beispielsweise geeignete Pumpen und Sensoren beinhalten kann, mit Nährstoffen und CO₂ versorgt.

Geschlossene Photobioreaktoren erlauben in der Regel eine hohe Prozesskontrolle, da die Organismen und die umgebende Nährlösung in dem geschlossenen System gut geheizt beziehungsweise gekühlt werden können, ein pH-Wert überwacht und gegebenenfalls angepasst werden kann und zusätzliches Licht zur Verfügung gestellt werden kann. Die geschlossenen Systeme erlauben bei geringem Flächenbedarf eine hohe Produktivität, da beispielsweise mehrere geschlossene Systeme übereinander angeordnet werden können oder Rohre eines Systems in

vertikaler Richtung verlaufen können und dabei von allen Seiten her beleuchtet werden können. Dabei ist aber immer mit Abschattungseffekten zu rechnen. Außerdem sind auch eine hohe Produktreinheit bei geringen Kontaminationen, geringe Verdunstung sowie geringe elektromagnetische Beeinträchtigungen (EMV) möglich.

Allerdings sind ein technischer Aufwand und entsprechende Anlagen-Investitionskosten beim Aufbau komplexer geschlossener Photobioreaktoren im Vergleich zu offenen Systemen in der Regel sehr hoch.

Es wurde bereits eine Vielzahl von technischen Lösungen entwickelt, um eine Effizienz von Photobioreaktoren zu steigern. Als Maß für die Effizienz eines Photobioreaktors kann hierbei die Menge notwendiger Ressourcen wie beispielsweise bereitzustellende Energie in Form von Licht und/oder Elektrizität, bereitzustellende Fläche, bereitzustellende Nährstoffe, etc. in Relation zum Ertrag des Photobioreaktors in Form von Biomasse mit möglichst hohen Mengen darin chemisch gespeicherter Energie verstanden werden.

Beispielsweise wurde in der EP 2 520 642 A1 ein Photobioreaktor mit rotatorisch oszillierenden Lichtquellen beschrieben.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Es kann als eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung angesehen werden, einen Photobioreaktor zur Kultivierung von phototrophen Organismen bereitzustellen, der eine hohe Effizienz bei geringen Anlagen-Investitionskosten und / oder geringen Betriebskosten ermöglicht.

Diese Aufgabe kann erfüllt werden durch einen Photobioreaktor gemäß dem unabhängigen Anspruch. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen sowie in der nachfolgenden Beschreibung angegeben.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Photobioreaktor vorgeschlagen, der einen Behälter und wenigstens eine seitlich licht-auskoppelnde Lichtleitermatte aufweist. Der Behälter ist dazu ausgestaltet, phototrophe Organismen zusammen mit einer Nährlösung aufzunehmen. Die Lichtleitermatte ist innerhalb des Behälters angeordnet und weist eine Vielzahl von lichtleitenden Fasern auf, welche derart angeordnet und / oder ausgebildet sind, dass Licht, welches an einem Ende einer Faser in die Fasern eingekoppelt wird, zumindest teilweise seitlich aus den Fasern austritt.

Ideen zu Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Photobioreaktors können unter anderem als auf den folgenden Gedanken und Erkenntnissen beruhend angesehen werden: phototrophe Organismen sollen zu ihrer Aufzucht möglichst gut mit Licht und Nährstoffen versorgt werden. Allerdings kann sich Licht insbesondere in einer stark mit Organismen versetzten Nährlösung nur über sehr kurze Distanzen von wenigen Zentimetern ausbreiten. Ein Photobioreaktor, bei dem die Nährlösung in einem Behälter aufgenommen ist und der Behälter lediglich von außen her beleuchtet wird, muss daher bei verhältnismäßig kleinem Volumen eine möglichst große beleuchtbare Außenoberfläche bereitstellen. Damit einher geht die Notwendigkeit einer großen für den Photobioreaktor zur Verfügung zu stellenden Grundfläche, beispielsweise wie bei einem open-pond-System, oder eines komplexen strukturellen Aufbaus, wie bei herkömmlichen geschlossenen Systemen wie zum Beispiel Rohr-Photobioreaktoren. Entsprechend Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Photobioreaktors wird nun vorgeschlagen, in einem die Nährlösung aufnehmenden Behälter eine oder mehrere spezielle Lichtleitermatten anzuordnen. Die Lichtleitermatte ist dabei speziell dazu ausgebildet, in die

die Lichtleitermatten bildenden Fasern an ihren Enden eingekoppeltes Licht nicht nur an gegenüber liegenden Enden der Fasern auszukoppeln sondern seitlich, das heißt quer zu einer Oberfläche der Lichtleitermatte auszukoppeln. Die Lichtauskopplung kann dabei möglichst homogen über eine gesamte Oberfläche der Lichtleitermatte hin erfolgen. Damit kann erreicht werden, dass große Mengen Licht im Inneren des Behälters des Photobioreaktors weitgehend homogen verteilt über die Oberfläche der Lichtleitermatte eingebracht werden können. Durch die Verwendung der wenigstens einer seitlich lichtauskoppelnden Lichtleitermatte können für den vorgeschlagenen Photobioreaktor somit eine erhöhte Effizienz sowie möglicherweise weitere, weiter unten näher zu beschreibende Vorteile erreicht werden.

Gemäß einer Ausführungsform kann bei einem erfindungsgemäßen Photobioreaktor die Lichtleitermatte derart angeordnet werden, dass ein minimaler Abstand zwischen einer Position in dem Behälter und einem nächstliegenden Bereich der Lichtleitermatte für wenigstens 90% der möglichen Positionen innerhalb des Behälters kürzer als 10 cm, vorzugsweise ca. 5 cm, ist.

Mit anderen Worten kann die Lichtleitermatte derart ausgebildet und in dem Behälter angeordnet werden, dass in einem überwiegenden Volumenanteil des Behälters jeder Ort weniger als 10 cm, vorzugsweise weniger als 5 cm weit von einem nächstliegenden Bereich der Lichtleitermatte entfernt ist und somit von dort aus der Lichtleitermatte ausgekoppeltem Licht auch durch eine trübe Nährlösung hindurch erreicht werden kann. Somit können erhebliche Volumenanteile des Behälters effizient mit Licht versorgt werden, ohne dass hierfür der Behälter im Verhältnis zum darin aufgenommenen Volumen eine sehr große Oberfläche aufweisen müsste.

Insbesondere kann gemäß einer Ausführungsform der Erfindung der Behälter in jeder Raumrichtung Abmessungen von mehr als 50 cm, vorzugsweise mehr als 100 cm aufweisen.

Mit anderen Worten kann der Behälter des Photobioreaktors im Verhältnis zu seiner Außenoberfläche ein großes Volumen aufweisen. Insbesondere kann der Behälter in jeder Raumrichtung Abmessungen aufweisen, die wesentlich größer sind als eine typischerweise vorherrschende Eindringtiefe von Licht in einer mit Organismen versetzten Nährlösung eines Photobioreaktors.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung kann der Photobioreaktor statt einer einzelnen Lichtleitermatte auch eine Mehrzahl von seitlich licht-auskoppelnden Lichtleitermatten aufweisen, welche verteilt über das gesamte Volumen des Behälters angeordnet sind. Die Lichtleitermatten können dabei möglichst gleichmäßig und homogen über das gesamte Behältervolumen verteilt angeordnet sein, so dass Licht gleichmäßig über das gesamte Behältervolumen eingekoppelt und verteilt werden kann.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung sind die lichtleitenden Fasern in der Lichtleitermatte derart lokal gekrümmt angeordnet, dass zumindest in Bereichen mit minimalem Krümmungsradius Teile von in einer Faser geleitetem Licht lokal seitlich aus der Faser ausgekoppelt werden.

Durch ein geeignetes lokales Krümmen der Fasern in der Lichtleitermatte kann erreicht werden, dass darin geleitetes Licht nicht mehr an der Oberfläche einer Faser intern totalreflektiert wird, sondern zumindest teilweise aus der Faser seitlich ausgekoppelt wird. Beispielsweise können in der Lichtleitermatte die lichtleitenden Fasern derart angeordnet werden, dass ausreichend lokal gekrümmte Bereiche entstehen und eine Vielzahl dieser ausreichend lokal gekrümmten Bereiche möglichst gleichmäßig über die Oberfläche der Lichtleitermatte hin verteilt sind.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung sind die lichtleitenden Fasern in der Lichtleitermatte verwoben. Durch ein Verweben von lichtleitenden Fasern kann ein Gewebe mit regelmäßigen Strukturen und insbesondere mit regelmäßig ausgebildeten ausreichend lokal gekrümmten Bereichen erzeugt werden.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung können die lichtleitenden Fasern lokale Brechungsindexvariationen aufweisen. Solche lokale Brechungsindexvariationen können auf unterschiedliche Weise beispielsweise durch lokale Kerben, Ritzen, Anschmelzen oder in Form eines Laser-Gratings erzeugt werden. Die lokalen Brechungsindexvariationen können insbesondere an einer Vielzahl von Positionen entlang der Längsrichtung der lichtleitenden Faser erzeugt werden und sich in der Nähe von deren Oberfläche oder auch tief im inneren Volumen der Faser befinden. An solchen lokalen Brechungsindexvariationen kann sich in der lichtleitenden Faser ausbreitendes Licht derart geeignet gebrochen werden, dass es seitlich aus der Faser austritt. Durch eine geeignete Verteilung solcher lokaler Brechungsindexvariationen über die Fasern hinweg und somit über die gesamte Lichtleitermatte hinweg kann ein geeignetes seitliches Auskoppeln von Licht aus der Lichtleitermatte möglichst homogen über eine gesamte Seitenfläche der Lichtleitermatte erreicht werden.

Alternativ oder ergänzend können gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in die lichtleitenden Fasern Streuzentren und / oder Fluoreszenzzentren integriert sein. Solche Streu- oder Fluoreszenzzentren können in Form von kleinen Partikeln geeigneter Größe und geeigneten Materials oder auch in Form so genannter Quanten-Dots in das Volumen lichtleitender Fasern eingelagert sein und dazu führen, dass in den Fasern geleitetes Licht an den Streuzentren gestreut wird beziehungsweise an den Fluoreszenzzentren Fluoreszenzlicht generiert und dieses dann seitlich aus den Fasern austreten kann.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung sind die lichtleitenden Fasern mit einem Material ausgebildet, welches Licht im infraroten Wellenlängenbereich im Wesentlichen nicht transmittiert. Als infraroter Wellenlängenbereich kann dabei ein Wellenlängenbereich oberhalb von 800 nm angesehen werden. Unter „im Wesentlichen nicht transmittiert“ kann verstanden werden, dass ein in ein Ende einer Faser eingekoppelter Infrarot-Anteil von Licht beispielsweise zu weniger als 30%, vorzugsweise weniger als 10% über die Fasern ins Innere des Behälters transmittiert wird. Infrarotes Licht kann von den meisten phototrophen Organismen nicht für ihr Wachstum bzw. ihren Stoffwechsel verwendet werden. Indem im Infraroten nicht transmittierende lichtleitende Fasern für die Lichtleitermatte verwendet werden, kann vermieden werden, dass diese für das Wachstum der Organismen nicht notwendigen Lichtanteile ins Innere Volumen des Photobioreaktors gelangen und dort für eine erhebliche Erwärmung sorgen, welche ansonsten durch entsprechende Kühlungsmaßnahmen ausgeglichen werden müsste.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung weist der Photobioreaktor ferner eine Mattenbewegungs Vorrichtung auf, welche dazu ausgelegt ist die wenigsten eine Lichtleitermatte relativ zu dem Behälter zu bewegen. Eine durch eine Mattenbewegungs Vorrichtung bewegte Lichtleitermatte kann dabei dazu eingesetzt werden, die in dem Behälter des Photobioreaktors aufgenommene Nährlösung kontinuierlich zu bewegen bzw. umzuwälzen. Auf diese Weise kann für ein kontinuierliches Vermischen von Nährstoffen und phototrophen Organismen gesorgt werden und dadurch ein Besseres Wachstum der Organismen bewirkt werden. Die Lichtleitermatte kann dabei durch die Mattenbewegungs Vorrichtung vorzugsweise quer zu ihrer Oberfläche bewegt werden, beispielsweise translatorisch, rotatorisch, vibrierend oder schwingend. Eine Bewegung kann insbesondere periodisch erfolgen. Durch die Möglichkeit, die Lichtleitermatte innerhalb der Nährlösung aktiv zu bewegen, kann somit auf einen in herkömmlichen Photobioreaktoren üblicherweise verwendeten separaten Rührer verzichtet werden.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Photobioreaktorsystem vorgeschlagen, das einen erfindungsgemäßen Photobioreaktor sowie eine Lichtquelle aufweist. Die Lichtquelle ist dabei mit lichtleitenden Fasern der wenigstens einen Lichtleitermatte des Photobioreaktors zum Einkoppeln von Licht aus der Lichtquelle in die lichtleitenden Fasern gekoppelt.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung kann die Lichtquelle dabei zum Sammeln und Einkoppeln von Sonnenlicht in die lichtleitenden Fasern ausgebildet sein. Die Lichtquelle kann beispielsweise in Form geeigneter Kollektoren oder Spiegel ausgebildet sein, mithilfe derer Sonnenlicht auf Enden der lichtleitenden Fasern einer Lichtleitermatte fokussiert beziehungsweise gerichtet wird und auf diese Weise in die lichtleitenden Fasern eingekoppelt wird. Auf diese Weise kann natürliches Sonnenlicht dazu verwendet werden, um über die Lichtleitermatte auch ein inneres Volumen des Photobioreaktors effizient und weitgehend gleichmäßig zu auszuleuchten.

Eine Aufnahme von (Sonnen-)Licht kann auf mehrere Arten erfolgen. Außerhalb des Behälters befindliche Lichtleitermatten – die strukturell denen innerhalb des Behälters gleichen können – können z.B. zur Absorption und Einkopplung in die Lichtleitermatten innerhalb des Behälters genutzt werden. Dabei besteht die Möglichkeit die Absorptions-Lichtleitermatten mit Hilfe einer einfachen Vorrichtung dem Sonnenstand entsprechend zum Licht auszurichten, um eine optimale Einkopplung zu ermöglichen.

Alternativ oder ergänzend kann gemäß einer Ausführungsform der Erfindung die Lichtquelle zum künstlichen Erzeugen und Einkoppeln von Licht in die lichtleitenden Fasern ausgebildet sein. Das einzukoppelnde Licht kann dabei beispielsweise mit Lampen, LEDs, einem Laser oder anderen technischen Mitteln erzeugt werden. Ein alternatives oder ergänzendes Vorsehen solcher technischer Lichtquellen zum Erzeugen künstlichen Lichts kann im Gegensatz zur Verwendung von ledig-

lich Sonnenlicht eine Unabhängigkeit vom Tageslichtrhythmus ermöglichen. Außerdem kann künstliches Licht gezielt mit geeigneten Eigenschaften erzeugt werden. Beispielsweise kann das künstliche Licht pulsierend oder intermittierend erzeugt werden, wodurch der photosynthetische Wirkungsgrad phototropher Organismen stark erhöht werden kann. Das künstliche Licht kann auch mit einem geringen Infrarotanteil erzeugt werden, um eine unnötige Erwärmung innerhalb des Photobioreaktors zu vermeiden.

Insbesondere kann gemäß einer Ausführungsform der Erfindung die Lichtquelle dazu ausgebildet sein, lediglich Licht im Wesentlichen innerhalb eines Wellenlängenbereichs von 400 bis 700 nm in die lichtleitenden Fasern einzukoppeln. „Im Wesentlichen“ kann hierbei bedeuten, dass wenigstens 70%, vorzugsweise 90% der eingekoppelten Lichtenergie innerhalb des genannten Wellenlängenbereichs liegt. Die Tatsache, dass Licht überwiegend im genannten Wellenlängenbereich in die lichtleitenden Fasern eingekoppelt wird, kann dabei entweder dadurch erreicht werden, dass bereits die Lichtquelle selbst hauptsächlich Licht im genannten Wellenlängenbereich erzeugt, oder dadurch, dass die Lichtquelle zwar Licht mit einem breiteren Spektrum erzeugt, anschließend aber unerwünschte Spektralbereiche beispielsweise mithilfe von Filtern ausselektiert und nicht in die lichtleitenden Fasern eingekoppelt werden. Licht im genannten Wellenlängenbereich hat sich als für ein Wachstum phototropher Organismen besonders förderlich erwiesen und sollte daher bevorzugt über die Lichtleitermatte ins Innere des Photobioreaktors eingestrahlt werden.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung kann das Photobioreaktorsystem ferner einen Photodetektor aufweisen, der mit lichtleitenden Fasern der wenigstens einen Lichtleitermatte des Photobioreaktors verbunden ist zum Einsammeln von Licht, welches aus dem Inneren des Behälters des Photobioreaktors in die lichtleitenden Fasern eingekoppelt wurde.

Bei dieser Ausführungsform kann ausgenutzt werden, dass Licht durch die lichtleitenden Fasern der Lichtleitermatte nicht nur von außen kommend ins Innere des Photobioreaktors eingekoppelt werden kann, sondern auch umgekehrt Licht, welches im Inneren des Bioreaktors angeregt wurde, über die lichtleitenden Fasern nach außen geleitet werden kann und dort dann von einem oder mehreren Photodetektoren detektiert werden kann. Viele phototrophe Organismen reagieren auf Anregung ihrerseits mit Lichtemission, so dass durch eine Detektion von im Inneren des Behälters des Photobioreaktors emittiertem Licht auf Vitalfunktionen der zu kultivierenden Organismen zurückgeschlossen werden kann. Insbesondere kann dadurch, dass von den Organismen emittiertes Licht seitlich in Fasern der Lichtleitermatte eingekoppelt werden kann und somit vorzugsweise entlang einer gesamten seitlichen Oberfläche der Lichtleitermatte aufgenommen und dem Photodetektor zugeleitet werden kann, eine On-Site-Überwachung von Vitalfunktionen der im Inneren des Photobioreaktors aufgenommenen Organismen über sehr große Volumenbereiche des gesamten Behälters hin ermöglicht werden.

Ferner lässt sich die optische Dichte, die in direkter Korrelation mit der Zelldichte im Kultivierungsmedium steht, mittels der Lichtleitermatten und des Photodetektors on-site bestimmen. Dazu wird Licht einer bestimmten Wellenlänge über eine Lichtleitermatte eingebracht und die Intensität des ausgesandten Lichts anhand einer benachbarten beabstandeten Lichtleitermatte an den Photodetektor übermittelt.

Es wird darauf hingewiesen, dass mögliche Vorteile und Merkmale von Ausführungsformen der Erfindung hierin teilweise mit Bezug auf einen erfindungsgemäßen Photobioreaktor und teilweise mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Photobioreaktorsystem beschrieben sind. Ein Fachmann wird erkennen, dass die verschiedenen Merkmale in geeigneter Weise kombiniert beziehungsweise ausgetauscht werden können, um zu weiteren Ausführungsformen der Erfindung zu gelangen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Nachfolgend werden Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, wobei weder die Beschreibung noch die Zeichnungen als die Erfindung einschränkend auszulegen sind.

Figur 1 zeigt einen Photobioreaktor gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Figur 2 zeigt ausschnittsweise eine Lichtleitermatte für einen erfindungsgemäßen Photobioreaktor.

Figur 3 zeigt ausschnittsweise eine alternative Lichtleitermatte für einen erfindungsgemäßen Photobioreaktor.

Figur 4 zeigt ein Detail einer Lichtleitermatte für einen erfindungsgemäßen Photobioreaktor.

Figur 5 zeigt ein Photobioreaktorsystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Die Figuren sind lediglich schematisch und nicht maßstabsgetreu. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen in den unterschiedlichen Figuren gleiche beziehungsweise gleichwirkende Merkmale.

BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Figur 1 zeigt eine schematisierte perspektivische Ansicht eines Photobioreaktors 1 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Photobioreaktor 1 weist einen Behälter 3 auf, in dem phototrophe Organismen zusammen mit einer Nährlösung 2 aufgenommen werden können. In dem Behälter 3 sind mehrere Lichtletermatten 5 näherungsweise parallel zueinander und beabstandet voneinander angeordnet. Jede der Lichtletermatten 5 ist mit einer Vielzahl von lichtleitenden Fasern 9 ausgebildet, welche derart angeordnet und ausgebildet sind, dass Licht, welches beispielsweise über einen gemeinsamen aus dem Behälter 3 heraus geführten Lichtleiter 11 in Enden der Fasern 9 eingekoppelt wird, zumindest teilweise seitlich aus den Fasern 9 und damit quer zur Oberfläche der Lichtletermatten 5 austritt.

Der Behälter 3 kann eine beliebige Geometrie aufweisen. Beispielsweise kann der Behälter, wie in Figur 1 dargestellt, quaderförmig beziehungsweise kubusförmig ausgestaltet sein. Alternativ kann der Behälter 3 auch zylindrisch, kugelförmig oder mit einer anderen Form ausgebildet sein.

Der Behälter 3 kann dabei eine geeignete Geometrie aufweisen, bei der ein großes Volumen bei gleichzeitig verhältnismäßig kleiner Oberfläche in dem Behälter 3 aufgenommen werden kann. Insbesondere kann eine Tiefe des Behälters 3 größer sein als seitliche Abmessungen beziehungsweise die Grundfläche des Behälters 3. Die Tiefe des Behälters 3 soll dabei in einer Richtung quer zu einer Hauptstreckungsebene der Lichtletermatte gemessen werden. Insbesondere kann der Behälter 3 in jeder Raumrichtung, das heißt in Höhe, Breite und Tiefe Abmessungen von mehr als 50 cm, vorzugsweise mehr als 1 m aufweisen.

Zumindest in einem unteren Bereich sollte der Behälter dicht ausgeführt sein, so dass flüssige Nährlösung zusammen mit den darin aufgenommenen phototropen Organismen in dem Behälter 3 gehalten werden können. In einem oberen Bereich kann der Behälter 3, wie in Figur 1 dargestellt, ebenfalls geschlossen und dicht

ausgeführt sein, so dass ein in sich geschlossener Photobioreaktor gebildet wird. Alternativ kann der Behälter 3 jedoch auch nach oben hin offen sein, um einen offenen Photobioreaktor zu bilden. Wände des Photobioreaktors 1 (in Figur 1 zur besseren Veranschaulichung lediglich umrandet wiedergegeben, um eine Sicht auf innen liegende Komponenten des Photobioreaktors zu ermöglichen) können aus beliebigen fluiddichten Materialien wie beispielsweise Kunststoff oder Metall ausgebildet sein und brauchen nicht notwendigerweise lichtdurchlässig zu sein.

Jede der Lichtleitmatten 5 kann aus einer Vielzahl von lichtleitenden Fasern 9 zusammengesetzt sein. Die lichtleitenden Fasern können dabei auf unterschiedliche Weise fest oder lose miteinander verbunden sein. Die Lichtleitmatten kann beispielsweise in Form eines Gewebes, eines Gewirkes, eines Vlies oder einer anderen 3-dimensionalen Struktur, beispielsweise einer Wabenstruktur, bereitgestellt sein. Die Lichtleitmatten ist dabei beispielsweise flächig ausgebildet, wobei eine Dicke quer zu der Hauptstreckungsrichtung der Fläche weniger als 10 mm, vorzugsweise weniger als 2 mm betragen kann. Die Lichtleitmatten ist in sich flexibel und biegsam und weist diesbezüglich ähnliche mechanische Eigenschaften auf, wie eine Folie. Allerdings ist die Lichtleitmatten dadurch, dass sie aus einer Vielzahl von Fasern zusammengesetzt ist, fluiddurchlässig, das heißt, Fluid beispielsweise in Form der Nährlösung kann langsam durch die Lichtleitmatten hindurch strömen.

Die die Lichtleitmatten 5 bildenden Fasern 9 sind zumindest in ihrem Inneren, das heißt, in einem Kern, gut lichtleitend, das heißt, sie weisen eine hohe optische Transparenz auf. Die Fasern können aus transparenten Materialien wie zum Beispiel Glas oder einem transparenten Kunststoff, insbesondere einem transparenten Polymer wie PMMA (Polymethylmethacrylat) bestehen. Die Fasern 9 bzw. Kerne der Fasern 9 können Durchmesser im Bereich von wenigen Mikrometern bis hin zu wenigen Millimetern aufweisen. Typische Durchmesser liegen im Bereich von 5 bis 2 mm, insbesondere 5 bis 30 μm . Jede der Fasern 9 kann stark

biegsam sein und beispielsweise in Krümmungsradien von weniger als 10 mm gekrümmt werden.

Um Licht im Inneren der Faser 9 leiten zu können, kann die Faser 9 mit einer als „cladding“ genannten Schicht umhüllt sein, welche einen niedrigeren optischen Brechungsindex aufweist als ein Material im Kern der Faser 9. In flachen Winkeln auf ein derartiges cladding auftreffendes Licht wird durch Totalreflexion wieder in den Kern der Faser zurückgeleitet und kann sich somit in einer länglichen Faser über weite Strecken hin ausbreiten.

Allerdings wird es für den speziellen Einsatz von Lichtletermatten in einem erfindungsgemäßen Photobioreaktor auch als möglich erachtet, lichtleitende Fasern ohne ein solches cladding vorzusehen, da angenommen wird, dass die die einzelnen Fasern umgebende Nährlösung ebenfalls einen geeigneten optischen Brechungsindex aufweisen dürfte, so dass es zur gewünschten Totalreflexion kommt.

Die lichtleitenden Fasern können mit einer möglichst glatten Oberfläche ausgebildet sein, um beispielsweise zu verhindern, dass sich Ablagerungen oder Schmutz an einzelnen Fasern anhaften können. Gegebenenfalls können die Fasern hydrophob beschichtet sein, zum Beispiel mit einer Schicht aus Titandioxid (TiO_2) überzogen sein. Auch eine Beschichtung mit einem eine Kratzfestigkeit erhöhenden Material kann vorgesehen sein. Etwaige Beschichtungen können beispielsweise mit Plasmaprozessen, einer Sol-Gel-Technik oder durch Lackieren aufgebracht werden.

Wie weiter unten anhand konkreter Ausführungsbeispiele detaillierter erklärt werden wird, sind die Lichtletermatten 5 beziehungsweise die darin verwendeten lichtleitenden Fasern 9 derart ausgestaltet, dass in den Fasern 9 geleitetes Licht zumindest teilweise seitlich, das heißt quer zu einer Oberfläche der Lichtletermatte 5, ausgekoppelt wird. Ein Anteil des seitlich austretenden Lichts soll dabei in

Bezug auf eine Gesamtmenge des aus den Fasern 9 der Lichtleitermatte 5 austretenden Lichts erheblich sein, beispielsweise mindestens 10%, vorzugsweise aber mindestens 50%, eventuell sogar mindestens 90% betragen. Ein seitlich aus der Lichtleitermatte 5 austretender Lichtanteil kann dabei vorzugsweise homogen über die Lichtleitermatte verteilt seitlich aus dieser austreten. Anders ausgedrückt, kann das in eine einzelne Faser eingekoppelte Licht möglichst entlang der gesamten Länge der Fasern verteilt aus dieser seitlich austreten.

Figur 2 zeigt eine Ausgestaltung einer Lichtleitermatte 5, bei der eine Vielzahl von lichtleitenden Fasern 9 als Gewebe verwoben ist. Die Fasern des Gewebes können dabei in unterschiedlichen Webmustern miteinander verwoben sein. Dabei können entweder nur in Längsrichtung verlaufende Kettfäden 13 oder nur in Querrichtung verlaufenden Schussfäden 15 oder sowohl Kettfäden 13 als auch Schussfäden 15 als lichtleitende Fasern 9 ausgebildet sein.

Durch die verwobene Struktur werden die lichtleitenden Fasern 9 dabei lokal derart gekrümmt, dass es zumindest in Bereichen 17 mit minimalem Krümmungsradius dazu kommt, dass Teile von in eine Faser eingekoppeltem und in dieser in Längsrichtung der Faser geleitetem Licht 19 seitlich aus der Faser 9 ausgekoppelt werden. Die ausgekoppelten Lichtanteile 21 werden dabei quer zur Erstreckungsrichtung der Lichtleitermatte 5 abgestrahlt und können somit angrenzende Volumina innerhalb des Behälters 3 des Photobioreaktors 1 beleuchten.

Figur 3 zeigt eine alternative Ausgestaltung einer Lichtleitermatte 5. Bei dieser Lichtleitermatte 5 sind mehrere lichtleitende Fasern 9 serpentinen-artig verlegt, so dass es in stark gekrümmten Bereichen 17 zu lokalen Lichtauskopplungen 21 kommt.

Figur 4 zeigt eine weitere alternative Ausgestaltung, wie mit lichtleitenden Fasern 9 eine seitliche Auskopplung von Lichtanteilen 21 bewirkt werden kann. Im darge-

stellten Beispiel ist die Faser 9 in einem engen Radius um ein Kernmedium 23, welches beispielsweise auch wieder eine Faser sein kann, gewickelt, so dass es aufgrund des kleinen Krümmungsradius zu einem lokalen Verhindern von Totalreflexion innerhalb der Faser 9 und somit zu einem seitlichen Auskoppeln von Lichtanteilen 21 kommt.

Ein seitliches Auskoppeln von Licht aus einzelnen lichtleitenden Fasern 9 kann auch dadurch erreicht werden, dass in den lichtleitenden Fasern 9 lokale Brechungsindexvariationen ausgebildet werden. Mit anderen Worten werden die Fasern 9 derart hergestellt oder bearbeitet, dass Licht, welches sich im Inneren der Fasern entlang deren Länge ausbreitet, Bereiche mit unterschiedlichen Brechungsindizes durchläuft beziehungsweise auf solche Bereiche trifft.

Die Brechungsindexvariationen können dabei lediglich an der Oberfläche einer Faser vorgesehen sein oder alternativ sich auch bis ins innere Volumen der Faser erstrecken.

Beispielsweise kann eine Faser an ihrer Außenoberfläche angeschliffen, geritzt, gekerbt oder ähnliches werden, so dass es im Bereich dieser Formänderungen der Fasern zu der gewünschten Brechungsindexvariation kommt. Dabei kann gegebenenfalls ein an einer Oberfläche der Faser vorgesehenes cladding lokal entfernt werden, wodurch ein seitliches Auskoppeln von Lichtanteilen weiter begünstigt wird.

Alternativ kann eine Dichte der Faser lokal beispielsweise durch temporäres lokales Erhitzen mittels eines Lasers verändert werden, was auch als Laser-Grating oder Fiber-Grating bezeichnet wird. Hierbei braucht eine außen liegende Oberfläche der Faser nicht modifiziert werden, insbesondere nicht geometrisch verändert werden und kann glatt bleiben, so dass keine Gefahr von lokalen Schmutzanlage-

rungen provoziert wird. Ähnliche Effekte können durch ein lokales Anschmelzen der Oberfläche einer Faser, insbesondere bei Polymerfasern, erreicht werden.

Eine weitere Möglichkeit zum lokal seitlichen Auskoppeln von Lichtanteilen kann durch Einbetten von mikroskopisch kleinen Streuzentren oder Fluoreszenzzentren in lichtleitende Fasern 9 implementiert werden. Streuzentren können dabei winzige Partikel aus vorzugsweise stark optisch reflektierendem Material, beispielsweise kleinste Metallpartikel sein. Fluoreszenzzentren können beispielsweise Partikel aus einem fluoreszierenden Material sein.

Wie in Figur 1 dargestellt, können innerhalb des Behälters 3 eines Photobioreaktors 1 mehrere Lichtleitmatten 5 gleichmäßig verteilt über ein gesamtes Volumen des Behälters 3 angeordnet werden. Die Lichtleitmatten 5 erstrecken sich dabei in näherungsweise parallelen Ebenen zueinander, beispielsweise parallel zu Ebenen von Seitenwänden des Behälters 3. Ein Abstand zwischen benachbarten Lichtleitmatten 5 kann dabei vorzugsweise geringer als 20 cm sein, so dass über weite Bereiche des Behälters 3 hin jeder Ort innerhalb des Behälters 3 höchstens 10 cm von einer der Lichtleitmatten 5 entfernt ist. Auf diese Weise kann vorzugsweise das gesamte Volumen der in dem Behälter 3 aufgenommenen Nährlösung oder zumindest große Anteile davon gleichmäßig mit Licht, welches durch den gemeinsamen Lichtleiter 11 in den Behälter 3 eingebracht und dann durch seitliche Auskopplung aus den Lichtleitmatten 5 in die Nährlösung eingestrahlt wurde, versorgt werden.

In dem Behälter 3 des Photobioreaktors 1 ist ferner eine Mattenbewegungsrichtung 7 vorgesehen. Diese Mattenbewegungsrichtung 7 weist einen eigenen Antrieb auf und ist dazu ausgebildet, jede der Lichtleitmatten 5 quer zu ihrer Haupterstreckungsrichtung, das heißt entlang der Richtung des Pfeils 25, zu bewegen. Alternativ zu einer solchen translatorischen Bewegung können auch rotatorische oder anders geartete Bewegungen ausgeführt werden. Insbesondere

kann die Bewegung periodisch ausgeführt werden, beispielsweise schwingend oder vibrierend. Da die Lichtleitermatten 5 quer zu ihrer Haupterstreckungsrichtung bewegt werden, aber zumindest teilweise für Fluid durchlässig sind, strömt ein Teil der Nährlösung 2 beim Bewegen durch die Leitermatte 5 hindurch. Hierbei kommt es vorzugsweise zu Verwirbelungen und daraus resultierend zu einer sehr guten Vermischung der Nährlösung und den von ihr umgebenen phototrophen Organismen.

Figur 5 veranschaulicht schematisch ein Photobioreaktorsystem 100 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Photobioreaktorsystem 100 weist einen erfindungsgemäßen Photobioreaktor 1 sowie eine Lichtquelle 27 auf. Die Lichtquelle 27 kann dabei ein oder mehrere Komponenten zum künstlichen Erzeugen von Licht oder zum Einsammeln natürlich erzeugten Lichts und anschließendem Einkoppeln dieses Lichts in einen gemeinsamen Lichtleiter 11 zum Versorgen des Photobioreaktors 1 aufweisen.

Einerseits kann die Lichtquelle 27 als eine Lichtquelle 29 zum Sammeln und Einkoppeln von Sonnenlicht in die lichtleitenden Fasern des Photobioreaktors 1 ausgestaltet sein. Eine solche Lichtquelle 29 kann beispielsweise als Sonnenkollektor 30 mit einem Hohlspiegel, der Sonnenlicht auf einen Empfänger fokussiert, ausgebildet sein. Zusätzlich oder alternativ können Lichtleitermatten zur Absorption des Sonnenlichtes in diesem Sinne als Lichtquelle gelten. Der Empfänger kann hierbei mit dem Lichtleiter 11 verbunden sein. Auf diese Weise kann bei Sonnenschein natürliches Licht einfach und energiesparend zur Beleuchtung des inneren Volumens des Photobioreaktors 1 genutzt werden.

Alternativ oder ergänzend hierzu kann die Lichtquelle 27 als Lichtquelle 31 zum künstlichen Erzeugen und Einkoppeln von Licht in lichtleitende Fasern des Photobioreaktors 1 ausgestaltet sein. Eine solche künstliche Lichtquelle kann beispielsweise als LED 32 oder als Laser 33 ausgestaltet sein, welche Licht auf eine An-

ordnung 35 aus einem Polarisator und einem Abschatter einstrahlt, welche wiederum mit dem Lichtleiter 11 hin zu dem Photobioreaktor 1 verbunden ist.

Die künstlichen Lichtquellen 32, 33 können durch elektrischen Strom aus alternativen Quellen wie zum Beispiel durch Windkraft 39 oder durch Solarzellen 41 oder alternativ durch konventionellen Strom 43 versorgt werden. Der elektrische Strom kann dabei beispielsweise über eine Pufferbatterie 37 zwischengespeichert werden, so dass die künstliche Lichtquelle 31 den Photobioreaktor 1 auch bei mangelndem Sonnenschein belichten kann.

In dem Photobioreaktorsystem 100 ist ferner ein Photodetektor 45 vorgesehen. Dieser Photodetektor 45 ist über den Lichtleiter 11 mit lichtleitenden Fasern 9 der wenigstens einen Lichtleitermatte 5 in dem Photobioreaktor 1 verbunden und dazu ausgestaltet, Licht, welches zum Beispiel von den in der Nährlösung 2 aufgenommenen Organismen emittiert wurde und in die Fasern 9 der Lichtleitermatte 5 eingekoppelt wurde, zu detektieren. Anhand solchen detektierten Lichts kann aus Signalen des Photodetektors 45 auf Vitalfunktionen der phototrophen Organismen rückgeschlossen werden.

Zusammenfassend werden gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ein Photobioreaktor beziehungsweise ein Photobioreaktorsystem vorgeschlagen, bei denen eine oder mehrere Lichtleitermatten, insbesondere in Form von Lichtleitergewebe, zur Lichtdispersion in einem Reaktor eingesetzt werden. Hierdurch kann eine Lichtversorgung auch in tieferen Reaktorschichten bewirkt werden. Dies erlaubt einen geringeren Flächenbedarf für den Photobioreaktor, insbesondere im Vergleich mit herkömmlichen open-pond-Systemen. Außerdem werden hohe Zelldichten und ein einfacher Aufbau ermöglicht. Große Volumina an mit Organismen versetzter Nährlösung können bei geringer Oberfläche beleuchtet werden. Hierdurch können Verdunstungsverluste sowie ein Kontaminationsrisiko minimiert werden. Ein Wachstum der zu kultivierenden phototrophen Organismen

kann beschleunigt werden, insbesondere aufgrund der ermöglichten weitgehend gleichmäßigen Beleuchtung der Nährlösung innerhalb des Photobioreaktors.

Außerdem kann das Innere des Photobioreaktors gezielt mit Licht geeigneter Wellenlänge beleuchtet werden, beispielsweise in einem Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm, vorzugsweise einem Wellenlängenbereich von 470 bis 680 nm, in dem ein Algenwachstum optimal gefördert wird. Durch geeignete Wahl der Materialien für die Lichtleitermatte oder durch geeignete Wahl der Lichtquellen kann erreicht werden, dass möglichst wenig infrarotes Licht in den Photobioreaktor eingekoppelt wird, so dass dieser sich nicht übermäßig erhitzt und somit nicht notwendigerweise aktiv gekühlt werden braucht. Außerdem kann das Licht intermittierend, beispielsweise mit Beleuchtungsdauern von wenigen Millisekunden, eingestrahlt werden, um auf diese Weise die Photosyntheseeffizienz bei den beleuchteten Organismen zu steigern und ein Wachstum der Organismen zu beschleunigen.

Ferner können die Lichtleitermatten neben der Möglichkeit einer gleichmäßigen Beleuchtung des Behälterinneren des Photobioreaktors auch dazu eingesetzt werden, die darin aufgenommene Nährlösung gezielt zu durchmischen, indem diese beispielsweise mithilfe einer Mattenbewegungsvorrichtung innerhalb der Nährlösung bewegt werden.

Ergänzend kann in dem vorgeschlagenen Photobioreaktorsystem noch ein Photodetektor vorgesehen werden, der mit Fasern der Lichtleitermatten verbunden ist, um auf diese Weise eine On-Site-Überwachung von Vitalfunktionen der zu kultivierenden Organismen durch Detektion der von diesen emittierten Lichtsignalen mithilfe der ohnehin vorhandenen lichtleitenden Fasern zu ermöglichen. Eine Lichtbeziehungsweise Signaltransduktion erfolgt dabei in beide Richtungen der lichtleitenden Fasern entsprechend von Senden-Empfangen-Modi.

Patentansprüche

1. Photobioreaktor (1) zur Kultivierung von phototrophen Organismen, wobei der Photobioreaktor aufweist:
einen Behälter (3), in dem die phototrophen Organismen zusammen mit einer Nährlösung (2) aufgenommen werden können;
wenigstens eine seitlich Licht-auskoppelnde Lichtleitermatte (5);
wobei die Lichtleitermatte (5) innerhalb des Behälters angeordnet ist, und
wobei die Lichtleitermatte (5) eine Vielzahl von lichtleitenden Fasern (9) aufweist, welche derart angeordnet und/oder ausgebildet sind, das Licht, welches an einem Ende einer Fasern (9) in die Fasern eingekoppelt wird, zumindest teilweise seitlich aus den Fasern austritt.
2. Photobioreaktor nach Anspruch 1, wobei die Lichtleitermatte (5) derart angeordnet ist, dass ein minimaler Abstand zwischen einer Position in dem Behälter (3) und einem nächstliegenden Bereich der Lichtleitermatte für wenigstens 90% der möglichen Positionen innerhalb des Behälters kürzer als 10 cm ist.
3. Photobioreaktor nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der Behälter (3) in jeder Raumrichtung Abmessungen von mehr als 50 cm aufweist.
4. Photobioreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, aufweisend eine Mehrzahl von seitlich Licht-auskoppelnden Lichtleitermatten (5), welche verteilt über ein gesamtes Volumen des Behälters (3) angeordnet sind.
5. Photobioreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die lichtleitenden Fasern (9) in der Lichtleitermatte (5) derart lokal gekrümmt angeordnet sind, dass zumindest in Bereichen (17) mit minimalem Krümmungsradius Anteile (21) von in einer Faser (9) geleitetem Licht (19) lokal seitlich aus der Faser ausgekoppelt

werden.

6. Photobioreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, die lichtleitenden Fasern (9) in der Lichtleitermatte (5) verwoben sind.
7. Photobioreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die lichtleitenden Fasern (5) lokale Brechungsindexvariationen aufweisen.
8. Photobioreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei in die lichtleitenden Fasern (5) Streuzentren und/oder Fluoreszenzzentren integriert sind.
9. Photobioreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die lichtleitenden Fasern (9) mit einem Material ausgebildet sind, welches Licht im infraroten Wellenlängenbereich im Wesentlich nicht transmittiert.
10. Photobioreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, ferner aufweist eine Matenbewegungsvorrichtung (7), welche dazu ausgelegt ist, die Lichtleitermatte (5) relativ zu dem Behälter (3) zu bewegen.
11. Photobioreaktorsystem (100), aufweisend:
einen Photobioreaktor (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10,
eine Lichtquelle (27, 29, 31),
wobei die Lichtquelle (27, 29, 31) mit lichtleitenden Fasern (9) der wenigstens einen Lichtleitermatte (5) des Photobioreaktors (1) zum Einkoppeln von Licht aus der Lichtquelle (27, 29, 31) in die lichtleitenden Fasern (9) gekoppelt ist.
12. Photobioreaktorsystem nach Anspruch 11, wobei die Lichtquelle (29) zum Sammeln und Einkoppeln von Sonnenlicht in die lichtleitenden Fasern (9) ausgebildet ist.

13. Photobioreaktorsystem nach Anspruch 11 oder 12, wobei die Lichtquelle (31) zum künstlichen Erzeugen und Einkoppeln von Licht in die lichtleitenden Fasern (9) ausgebildet ist.

14. Photobioreaktorsystem nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei die Lichtquelle (27, 29, 31) dazu ausgebildet ist, lediglich Licht im Wesentlichen innerhalb eines Wellenlängenbereichs von 400 bis 700nm in die lichtleitenden Fasern (9) einzukoppeln.

15. Photobioreaktorsystem nach einem der Ansprüche 11 bis 14, ferner aufweisend einen Photodetektor (45), wobei der Photodetektor (45) mit lichtleitenden Fasern (9) der wenigstens einen Lichtleitermatte (5) des Photobioreaktors (1) verbunden ist zum Einsammeln von Licht, welches aus dem Innern des Behälters (3) des Photobioreaktors (1) in die lichtleitenden Fasern (9) eingekoppelt wurde.

1/2

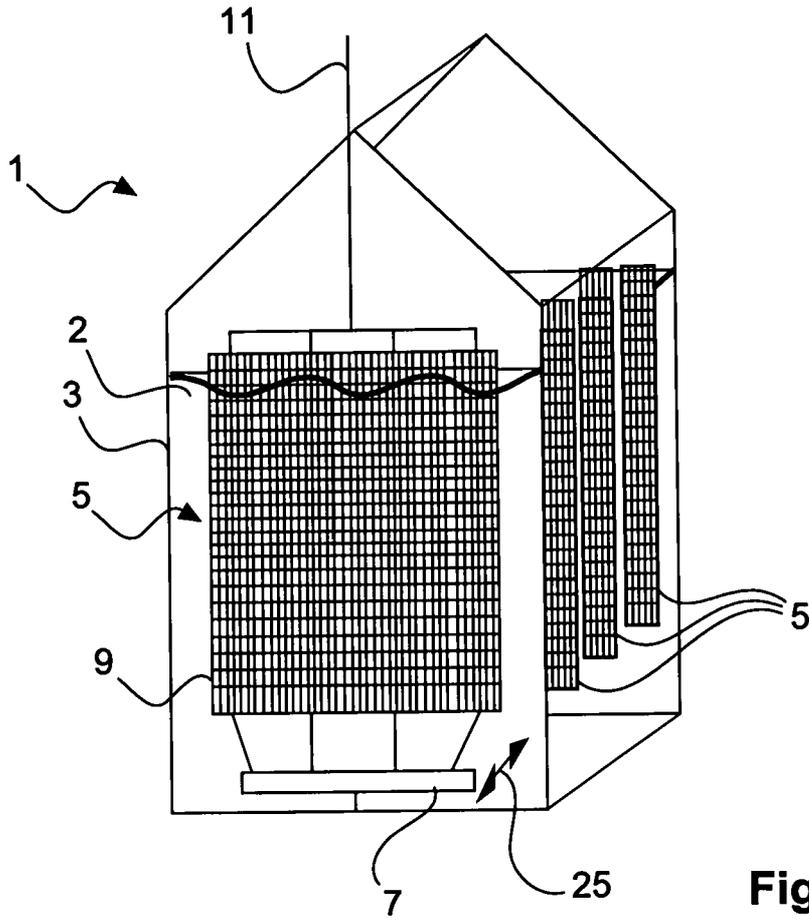


Fig. 1

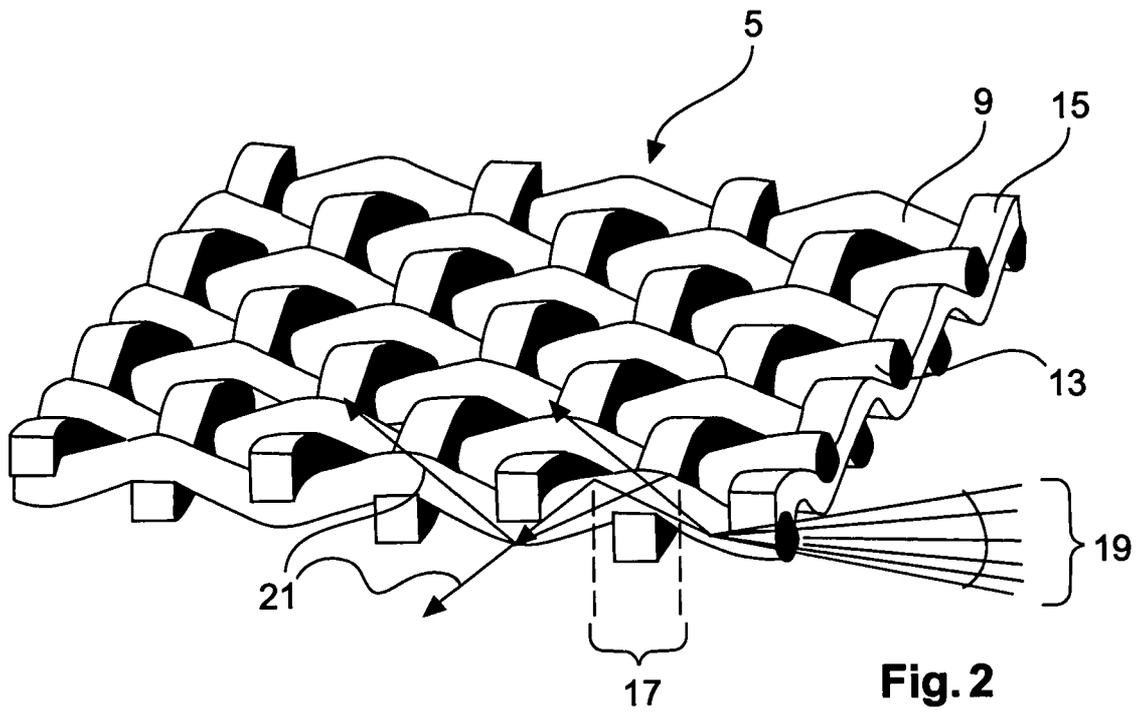


Fig. 2

2/2

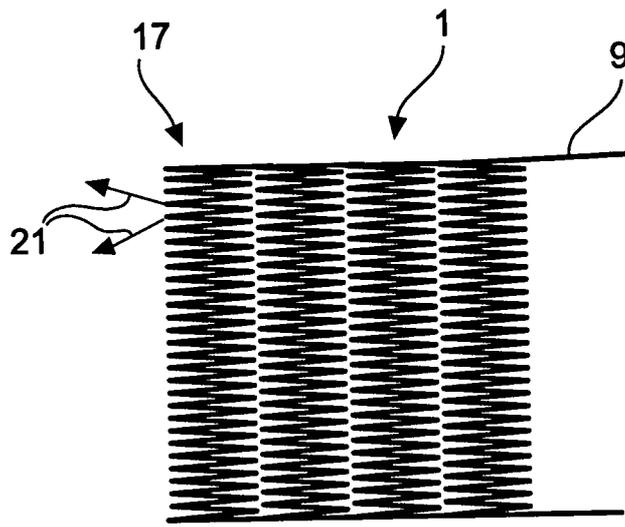


Fig. 3

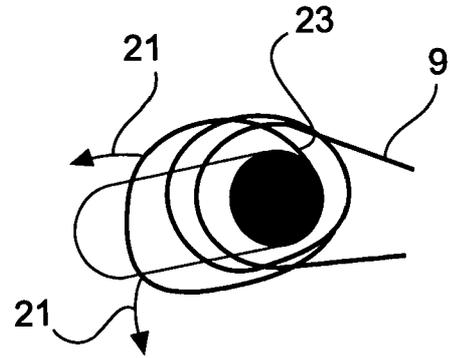


Fig. 4

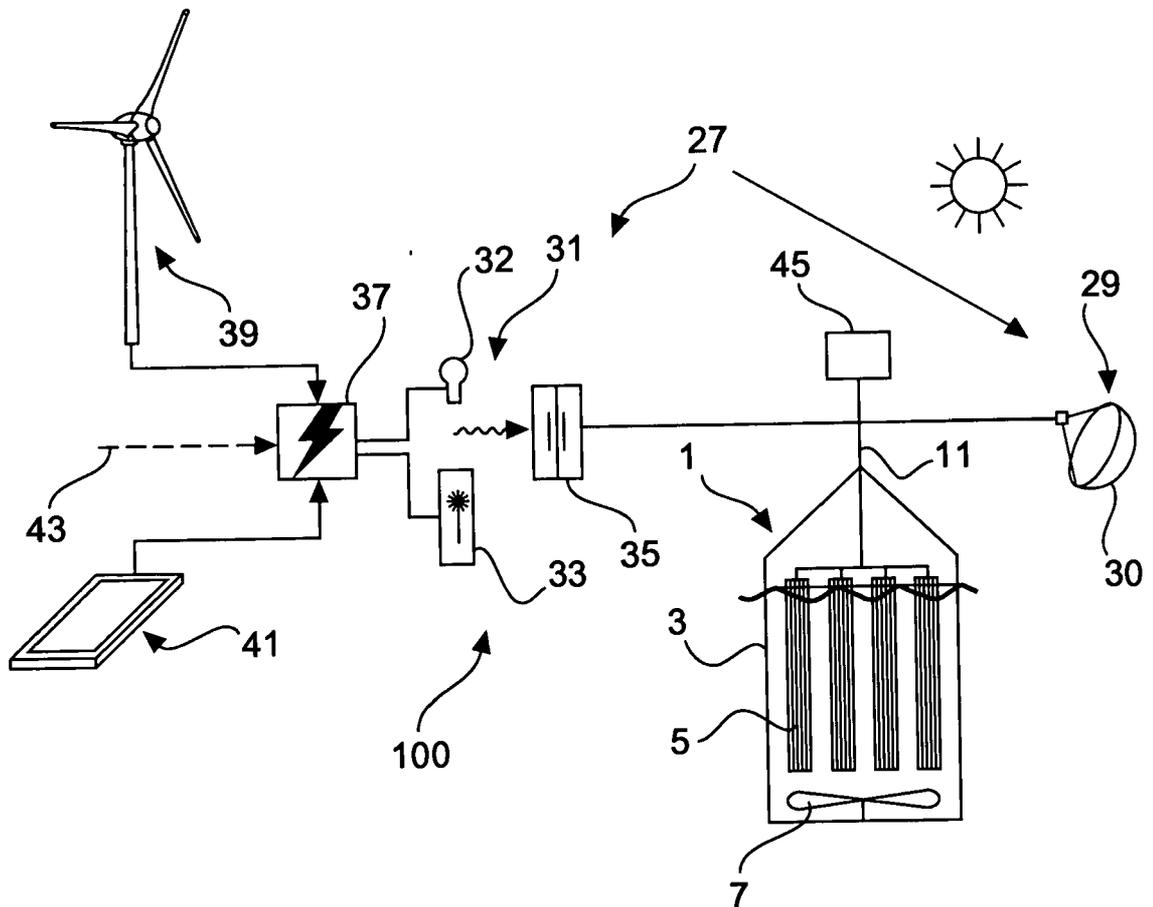


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2014/000464

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. C12M1/00
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C12M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2007 018675 A1 (SEYFRIED RALF [DE]; FRASE ROBERT [DE]; NIKOLAUS JOERG [DE]) 23 October 2008 (2008-10-23) paragraph [0037] - paragraph [0039] paragraph [0050] figure 1	1-15
X	----- JP H05 64577 A (EBARA RES CO LTD; EBARA CORP; EBARA INFILCO) 19 March 1993 (1993-03-19) paragraphs [0007], [0012], [0013]; figures 1-3	1-15
X	----- WO 79/00282 A1 (KIUCHI A; IWABUCHI M) 31 May 1979 (1979-05-31) abstract; figures 1,2,6,4,8 ----- -/--	1-15

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 12 December 2014	Date of mailing of the international search report 22/12/2014
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Cubas Alcaraz, Jose
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2014/000464

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 102 382 754 A (INST PROCESS ENG CAS) 21 March 2012 (2012-03-21) claims 1-4; figures 1-4 -----	1,3,4,6, 11,12,14
X	US 2013/102076 A1 (LICAMELE JASON D [US] ET AL) 25 April 2013 (2013-04-25) paragraph [0036] -----	1,4,11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2014/000464

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102007018675 A1	23-10-2008	AU 2008241069 A1	30-10-2008
		DE 102007018675 A1	23-10-2008
		EP 2150606 A2	10-02-2010
		US 2010210001 A1	19-08-2010
		WO 2008128625 A2	30-10-2008

JP H0564577 A	19-03-1993	JP H0564577 A	19-03-1993
		JP H0789903 B2	04-10-1995

WO 7900282 A1	31-05-1979	NONE	

CN 102382754 A	21-03-2012	NONE	

US 2013102076 A1	25-04-2013	US 2013102076 A1	25-04-2013
		WO 2013063075 A2	02-05-2013

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. C12M1/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) C12M		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2007 018675 A1 (SEYFRIED RALF [DE]; FRASE ROBERT [DE]; NIKOLAUS JOERG [DE]) 23. Oktober 2008 (2008-10-23) Absatz [0037] - Absatz [0039] Absatz [0050] Abbildung 1	1-15
X	JP H05 64577 A (EBARA RES CO LTD; EBARA CORP; EBARA INFILCO) 19. März 1993 (1993-03-19) Absätze [0007], [0012], [0013]; Abbildungen 1-3	1-15
X	WO 79/00282 A1 (KIUCHI A; IWABUCHI M) 31. Mai 1979 (1979-05-31) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,6,4,8	1-15
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
12. Dezember 2014		22/12/2014
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Cubas Alcaraz, Jose

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	CN 102 382 754 A (INST PROCESS ENG CAS) 21. März 2012 (2012-03-21) Ansprüche 1-4; Abbildungen 1-4 -----	1,3,4,6, 11,12,14
X	US 2013/102076 A1 (LICAMELE JASON D [US] ET AL) 25. April 2013 (2013-04-25) Absatz [0036] -----	1,4,11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2014/000464

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102007018675 A1	23-10-2008	AU 2008241069 A1	30-10-2008
		DE 102007018675 A1	23-10-2008
		EP 2150606 A2	10-02-2010
		US 2010210001 A1	19-08-2010
		WO 2008128625 A2	30-10-2008

JP H0564577 A	19-03-1993	JP H0564577 A	19-03-1993
		JP H0789903 B2	04-10-1995

WO 7900282 A1	31-05-1979	KEINE	

CN 102382754 A	21-03-2012	KEINE	

US 2013102076 A1	25-04-2013	US 2013102076 A1	25-04-2013
		WO 2013063075 A2	02-05-2013
