

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/034458 A1

(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,

Fig. 1

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Kammer (1) für einen Photobioreaktor, mit einer Kammerwand (2) aus einem zumindest transluzenten Kammerwandmaterial, welche Kammerwand (2) ein Kammerinnenvolumen (3) zur Aufnahme eines Kultivierungsgemischs für Mikroorganismen begrenzt, und zumindest einer optoelektronischen Strahlungsquelle (4) zur elektromagnetischen Bestrahlung des Kammerinnenvolumens (3) durch die Kammerwand (2), wobei die zumindest eine Strahlungsquelle (4) in direktem optischen Kontakt mit der Kammerwand (2) vorgesehen ist.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

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)

KAMMER FÜR EINEN PHOTOBIOREAKTOR

BESCHREIBUNG

Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Kammer für einen Photobioreaktor.

Stand der Technik

- 5 Photobioreaktoren werden zur Produktion von Mikroorganismen genutzt, die in der Regel phototroph sind, also Licht zur Energiegewinnung nutzen. Neben z. B. Pflanzen und Bakterien zählen dazu insbesondere auch Algen. Zur Kultivierung wird in eine geschlossene oder auch nach oben offene Kammer des Photobioreaktors z. B. eine Kultivierungssuspension eingebracht, und es wird vielfach das Sonnenlicht für die Lichtversorgung genutzt. Der Kultivierungssuspension können dann bspw. auch gezielt CO₂ bzw. Nährstoffe zugeführt werden.

Darstellung der Erfindung

- 15 Der vorliegenden Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, eine besonders vorteilhafte Kammer für einen Photobioreaktor anzugeben.

- Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer Kammer gemäß Anspruch 1 gelöst. Zur elektromagnetischen Bestrahlung des Kammerinnenvolumens, welches im Betrieb das Kultivierungsgemisch bzw. die Suspension aufnimmt, sind eine oder mehrere optoelektronische Strahlungsquellen vorgesehen.

- 2 -

Die Bestrahlung erfolgt durch die Kammerwand hindurch, die aus einem zumindest transluzenten Kammerwandmaterial vorgesehen ist. Konkret ist bzw. sind die Strahlungsquelle(n) in direktem optischen Kontakt mit der Kammerwand vorgesehen, wird die Strahlung also direkt in die Kammerwand eingekoppelt. Etwa im Vergleich zu einer zu der Kammerwand beabstandeten Lichtquelle, also einer Lichtführung durch die Umgebungsluft, kann der direkte optische Kontakt bspw. aufgrund der Verringerung von Brechungsindexsprüngen Effizienzvorteile bieten. Es kann bspw. auch eine im Verhältnis gleichmäßige Strahlungs- bzw. Lichtverteilung im Kammerinnenvolumen erreicht werden, was hinsichtlich einer effizienten Nutzung des Kultivierungsgemischs von Vorteil sein kann.

Bevorzugte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen und der gesamten Offenbarung, wobei in der Darstellung nicht immer im Einzelnen zwischen Vorrichtungs- und Verfahrens- bzw. Verwendungsaspekten unterschieden wird; jedenfalls implizit ist die Offenbarung hinsichtlich sämtlicher Anspruchskategorien zu lesen. Ebenso betrifft sie stets sowohl die Kammer also auch einen Photobioreaktor mit einer entsprechenden Kammer. Ferner wird im Folgenden der Einfachheit halber vorrangig von „der“ Strahlungsquelle gesprochen, ist die entsprechende Offenbarung jedoch auch auf eine Mehrzahl entsprechend vorgesehener/angeordneter Strahlungsquellen zu lesen („Mehrzahl“ kann bspw. mindestens 5, 10, 15 bzw. 20 meinen, davon unabhängige Obergrenzen können bspw. bei höchstens 1.000, 500 bzw. 100 liegen). Generell sind „ein“ und „eine“ im Rahmen dieser Offenbarung als unbe-

- 3 -

stimmte Artikel und damit ohne ausdrücklich gegenteilige Angabe immer auch als „mindestens ein(e)“ zu lesen.

Die Strahlungsquelle ist in „direktem optischen Kontakt“ mit der Kammerwand vorgesehen, zwischen einer Emissionsfläche der Strahlungsquelle und der Kammerwand soll die
5 emittierte Strahlung also bspw. allenfalls ein Zwischenmaterial mit einem Brechungsindex $n_{zw} \geq 1,2$ durchsetzen, wobei $n_{zw} \geq 1,3$ bzw. $\geq 1,4$ weiter und besonderes bevorzugt sind (Brechungsindizes werden vorliegend generell
10 bei $\lambda = 589 \text{ nm}$ betrachtet). Obergrenzen können bspw. bei $n_{zw} \leq 2$ bzw. $n_{zw} \leq 1,8$ liegen. Die Strahlungsquelle kann also bspw. über ein Immersionsmaterial an die Kammerwand gekoppelt sein, das im Allgemeinen auch flüssig sein kann, bevorzugt jedoch fest ist. Die Emissionsfläche der
15 Strahlungsquelle kann aber auch direkt an das Kammerwandmaterial grenzen, die Strahlungsquelle kann bspw. auch ein Stück weit in die Kammerwand eingeformt sein (siehe unten). Zwischen der Emissionsfläche und der Kammerwand soll die Strahlung z. B. kein Luftvolumen durchsetzen,
20 jedenfalls kein optisch wirksames Luftvolumen (kein Luftvolumen, das bezogen auf die Wellenlänge der Strahlung eine solche Größe hat, dass im Makroskopischen Brechungen resultieren).

Im Vergleich zu einer externen Lichtquelle kann der direkte optische Kontakt bspw. auch einen insgesamt kompakten Aufbau ermöglichen. Etwa im Falle eines Reaktors mit
25 röhrenförmigen Kammern können diese dann bspw. näher beisammen angeordnet sein, was eine effiziente Raumausnutzung ermöglicht und auch Materialkosten reduzieren helfen kann. Das zumindest transluzente, also jedenfalls lichtdurchlässige Kammerwandmaterial ist bevorzugt transpa-

rent, also blickdurchlässig. Dies bezieht sich ausdrück-
lich auf das Kammerwandmaterial an sich, bspw. aufgrund
von Verspiegelungen etc. (siehe unten im Detail) kann die
Kammerwand im Gesamten dann auch nicht licht- bzw. blick-
5 durchlässig sein. Das Kammerwandmaterial kann bspw. ein
Kunststoffmaterial sein, z. B. Polymethylmethacrylat
(PMMA) oder auch Polyvinylchlorid (PVC) bzw. Polycarbonat
(PC). Bevorzugt ist Glas, bspw. aufgrund der Strahlungs-
beständigkeit.

10 Als optoelektronische Strahlungsquelle ist eine strah-
lungs- bzw. lichtemittierende Diode (*Light Emitting Dio-
de*, LED) bevorzugt, wobei das halbleitende Material auch
auf organischer Basis vorgesehen sein kann (sogenannte
OLED), wenngleich anorganische Halbleiter gegenwärtig
15 noch am weitesten verbreitet und vorliegend bevorzugt
sind. Die optoelektronische Strahlungsquelle emittiert
auf eine elektrische Anregung hin die elektromagnetische
Strahlung. Sie ist bspw. aus einem Halbleiter-Chip aufge-
baut, die davon emittierte Strahlung wird auch als „Pri-
20 märstrahlung“ bezeichnet.

Je nach Aufbau im Einzelnen kann dann entweder direkt die
Primärstrahlung genutzt und in die Kammerwand gekoppelt
werden. Die Strahlungsquelle kann bspw. auf Basis eines
III-V-Halbleiters vorgesehen sein, etwa als InGaN-LED
25 (Indiumgalliumnitrid, InGaN). Die davon emittierte Pri-
märstrahlung kann z. B. grünes oder blaues Licht sein,
das dann auch direkt genutzt werden kann. Andererseits
kann die Primärstrahlung aber auch mit einem dem Halblei-
ter-Chip zugeordneten, typischerweise plättchen- oder
30 schichtförmig aufgebrachtten Leuchtstoffelement wellenlän-
genkonvertiert werden.

Ein in dieser Form dem LED-Chip zugeordnetes Leuchtstoffelement wird als Teil der Strahlungsquelle betrachtet, eine Abstrahlfläche des Leuchtstoffelements bildet dann in der Regel die Emissionsfläche der Strahlungsquelle.

5 Generell wird vorliegend überwiegend von „Strahlung“ gesprochen, weil bspw. auch eine Bestrahlung im Infraroten denkbar ist. Von besonderem Interesse ist aber der sichtbare Spektralbereich (380 nm bis 780 nm), bevorzugt handelt es sich bei der Strahlung also um sichtbares Licht.

10 Im Allgemeinen kann auch bereits das Halbleiterbauelement für sich die Strahlungsquelle darstellen, etwa im Falle einer sogenannten Chip-Direktmontage. Bevorzugt handelt es sich bei der Strahlungsquelle aber um ein gehäustes Bauelement, das dann in dieser Form mit der Kammerwand
15 zusammengesetzt wird. Als Teil der Häusung kann bspw. ein Substrat vorgesehen sein, auf dem das Halbleiterbauelement angeordnet ist, und/oder eine Verfüllmasse (insbesondere Press- bzw. Vergussmasse), mit welcher das Bauelement zumindest teilweise umhüllt ist. Ferner können
20 bspw. auch elektrische Anschlüsse Teil der Häusung sein, über welche das Halbleiterbauelement von außen kontaktierbar ist.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Strahlungsquelle an einer Kammerwandaußenfläche angeordnet, also an
25 einer dem Kammerinnenvolumen abgewandten Außenwandfläche der Kammerwand. Dabei ist die Strahlungsquelle in einem Emissionsbereich der Kammerwand positioniert, in dem an einer dem Kammerinnenvolumen zugewandten Kammerwandinnenfläche (Innenwandfläche der Kammerwand) Strahlung in das
30 Kammerinnenvolumen emittiert wird. In anderen Worten wird außenseitig dort eingekoppelt, wo auch innenseitig emit-

tiert wird, vgl. die Figuren 1 bis 4 zur Illustration (insbesondere im Unterschied zur seitlichen Einkopplung gemäß den Figuren 5 bis 9). Dies wird nachstehend auch als „Durchstrahlungseinkopplung“ bezeichnet.

- 5 Generell hat die Kammerwand eine Flächenerstreckung, wobei sie aber nicht zwingend plan (eben) sein muss, sondern sogar bevorzugt gekrümmt ist (z. B. ein Rohrstück bildet, vgl. das Ausführungsbeispiel). Jeweils lokal hat die Kammerwand ihre flächige Erstreckung in ihren Flächenrichtungen, senkrecht dazu liegt jeweils die Dickenrichtung, in der die Kammerwanddicke genommen wird. „Seitlich“ bezieht sich auf die Flächenrichtungen. Bei der im vorherigen Absatz beschriebenen Anordnung der Strahlungsquelle kann deren Hauptabstrahlrichtung bevorzugt parallel zur Dickenrichtung liegen. Generell ergibt sich eine „Haupttrichtung“ von Strahlung bzw. Licht als Mittelwert der Richtungsvektoren, entlang welchen sich die jeweilige Strahlung / das Licht ausbreitet, gewichtet nach der Strahlstärke.
- 10
- 15
- 20 Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird die Strahlung seitlich eingekoppelt, strahlt die Strahlungsquelle also seitlich in den Emissionsbereich hinein. Wie nachstehend im Einzelnen erläutert, kann die Strahlungsquelle bspw. an einer Kammerwandseitenfläche angeordnet sein, vgl. die Figuren 5 und 7 bis 9 zur Illustration, aber bspw. auch an der Außenwand- oder Innenwandfläche, dabei aber nicht im Emissionsbereich (vgl. Figur 6 zur Illustration).
- 25

Generell kann ein Vorteil der seitlichen Einkopplung bspw. darin liegen, dass an der Kammerwandaußenwandfläche keine bzw. zumindest weniger Strahlungsquellen im Emissi-

30

onsbereich angeordnet sind. Damit kann bspw. eine Abschattung von Umgebungslicht verringert sein, was z. B. einen kombinierten Sonnenlicht-/Kunstlicht-Betrieb begünstigen kann (der im Allgemeinen aber auch bei im Emissionsbereich angeordneten Strahlungsquellen möglich ist). Generell können die unterschiedlichen Einkoppelmöglichkeiten auch kombiniert werden, kann also ein Teil der Strahlung seitlich und ein anderer per Durchstrahlungseinkopplung eingekoppelt werden. Entsprechend beziehen sich auch die folgenden Ausführungsformen zwar vorrangig auf eine seitliche Einkopplung, können sie aber auch bei bzw. in Kombination mit einer Durchstrahlungseinkopplung von Interesse sein.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Kammerwandinnenfläche bereichsweise verspiegelt. Damit kann bspw. die seitlich eingekoppelte Strahlung in der Kammerwand seitlich geführt werden, bevorzugt durch Mehrfachreflexionen zwischen Kammerwandinnen- und Kammerwandaußenfläche. Dazu kann die Kammerwandaußenfläche bspw. auch ihrerseits verspiegelt sein (siehe unten), es ist aber auch eine Totalreflexionsführung möglich (wegen des Übergangs des im Verhältnis optisch dichten Kammerwandmaterials zur optisch dünneren Umgebungsluft).

Die Strahlung gelangt in einer Einstrahlrichtung in den Emissionsbereich, die sich als Hauptrichtung ergibt (siehe vorne). Bevorzugt ist die Verspiegelung an der Kammerwandinnenfläche mit einem in der Einstrahlrichtung abnehmenden Flächenanteil vorgesehen, wird also von der jeweilig in der Kammerwand geführten Strahlung anfangs anteilig weniger (größerer Flächenanteil der Verspiegelung) und dann zunehmend mehr in das Kammerinnenvolumen ge-

führt. Es können also bspw. Unterbrechungen der Verspiegelung in der Einstrahlrichtung in engerer Abfolge und/oder mit jeweilig größerer Fläche vorgesehen sein.

Die bereichsweise Verspiegelung der Kammerwandinnenfläche
5 kann auch mit einer bereichsweisen Anordnung von Leuchtstoff kombiniert sein. Der z. B. schichtförmig auf die Kammerwandinnenfläche aufgebraachte Leuchtstoff kann eine von der Strahlungsquelle emittierte Primärstrahlung zumindest anteilig konvertieren (siehe auch unten im Detail).
10 Eine Leuchtstoff- und eine Verspiegelungsbeschichtung können insbesondere einander flächig ergänzend vorgesehen sein. Der Leuchtstoff kann bspw. Unterbrechungen der Verspiegelung ausfüllen, bzw. umgekehrt (dabei müssen nicht zwingend beide Schichten strukturiert sein, sondern
15 kann auch eine durchgehende Leuchtstoffschicht auf eine strukturierte Spiegelschicht aufgebracht werden).

Soweit generell strukturierte Schichten beschrieben werden, können diese bspw. durch eine entsprechende Maskierung vor der Schichtabscheidung erhalten werden. Etwa im
20 Falle einer Lackmaske kann eine Lackschicht aufgebracht, durch Belichten strukturiert und so in Maskenform gebracht werden. Nach einer Abscheidung der Leuchtstoff- oder Verspiegelungsschicht auf diese Lackmaske wird die Beschichtung in jenen Bereichen, die beschichtungsfrei
25 bleiben sollen, samt der Lackmaske abgelöst (bspw. mit einem Lösungsmittel). Es ist aber z. B. auch die umgekehrte Vorgehensweise möglich, dass also zunächst die eigentlich gewünschte Schicht abgeschieden und anschließend mit einer Maske strukturiert wird. Ebenso kann eine Maske
30 aber bspw. auch aufgeklebt oder bei der Beschichtung auch nur zeitweilig angelegt/angehalten werden. Ferner kann

bspw. auch durch Aufstreichen oder -drucken eine strukturierte Aufbringung erreicht werden.

Insbesondere wenn die Kammerwand ein zumindest weitgehend abgeschlossenes Kammerwandinnenvolumen begrenzt (z. B. ein Rohrstück bildet), können in der Herstellung auch zunächst einzelne Kammerwandteile entsprechend beschichtet und anschließend zusammengesetzt werden. Die Kammerwandteile können dann bspw. miteinander gefügt werden, bspw. durch Kleben, auch ein Verschmelzen ist möglich. Unabhängig davon kann die Verspiegelung bevorzugt eine metallische Verspiegelung sein (im Allgemeinen wären aber auch dichroitische Schichtsysteme denkbar). Es kann bspw. ein Metallfilm aufgedampft sein, oder aber bspw. auch eine reflektive Paste aufgebracht werden, etwa eine Silberpaste.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist innerhalb der Kammerwand ein Hohlraum angeordnet, sodass innerhalb der Kammerwand eine Grenzfläche zur Totalreflexion gebildet ist. Es kann also bspw. die seitlich eingekoppelte Strahlung zwischen der Kammerwandaußenfläche und der innerhalb der Kammerwand ausgebildeten Grenzfläche mehrfach reflektiert und so seitlich geführt werden. Etwa im Falle einer als Rohrstück vorgesehenen Kammerwand kann der Hohlraum z. B. zwischen zwei ineinander gesetzten Rohrteilen unterschiedlicher Größe ausgebildet sein, wobei das innere Rohrteil einen Außendurchmesser hat, der kleiner als der Innendurchmesser des äußeren Rohrteils ist. Die beiden Rohrteile gemeinsam bilden die Kammerwand mit der Hohlkammer darin. Die Strahlung kann dann seitlich in das äußere Rohrteil eingekoppelt werden, dessen Außenfläche bildet die Kammerwandaußenfläche. Zwischen dieser und der

- 10 -

Innenfläche (= Grenzfläche) des äußeren Rohrteils ist die Strahlung dann durch Mehrfachreflexionen geführt.

Ein Hohlraum kann aber auch unabhängig von der Rohrform vorgesehen sein, etwa im Falle einer planen Kammerwand
5 zwischen zwei Platten. Im Allgemeinen ist auch ein im Rahmen des technisch Üblichen evakuierter Hohlraum denkbar, bevorzugt ist er gasgefüllt, bspw. mit einem Inertgas, oder auch mit Luft. An einer in Dickenrichtung genommenen Dicke der Kammerwand kann der Hohlraum bspw. einen Anteil von mindestens 10 % bzw. 20 % haben, mit möglichen (davon unabhängigen) Obergrenzen bei bspw. höchstens 70 %, 50 % bzw. 30 % (jeweils in der Reihenfolge der Nennung zunehmend bevorzugt).

In bevorzugter Ausgestaltung sind an der Grenzfläche Auskoppelstrukturen zur Auskopplung der Strahlung in Richtung der Kammerwandinnenfläche angeordnet. An einer jeweiligen Auskoppelstruktur kann die in der Kammerwand geführte Strahlung bspw. durch Streuung anteilig zum Kammerinnenvolumen hin umverteilt werden. Eine ansonsten glatte Grenzfläche kann im Bereich einer Auskoppelstruktur bspw. lokal konturiert sein, etwa angeraut. Die Auskopplung der in der Kammerwand geführten Strahlung kann aber auch mittelbar, in Verbindung mit einer Wellenlängenkonversion erfolgen. Es kann bspw. auch ein an der Grenzfläche angeordneter Leuchtstoff Auskoppelstrukturen bilden.
25 In der Kammerwand wird dann bspw. Primärstrahlung geführt, die von dem an der Grenzfläche angeordneten Leuchtstoff zumindest anteilig konvertiert wird; die Konversionsstrahlung wird z. B. omnidirektional und damit
30 auch in Richtung des Kammerinnenvolumens abgegeben (ggf.

in Kombination mit einer Streuung anteilig nicht konvertierter Primärstrahlung an dem Leuchtstoff).

Generell kann ein Leuchtstoff auch in das Kammerwandmaterial eingebettet sein (siehe unten im Detail). Im Falle
5 des die Grenzfläche bildenden Hohlraums kann bspw. ein demgegenüber dem Kammerinnenvolumen proximaler Bereich der Kammerwand mit Leuchtstoff versetzt sein. Im Falle der vorstehend beschriebenen, ineinander gesetzten Rohrteile kann also bspw. in das innere Rohrteil der Leuchtstoff
10 eingebettet sein. Die Auskoppelstrukturen können dann auch Inertstreuer an der Innenfläche des äußeren Rohrteils sein.

Unabhängig von ihrer Ausgestaltung im Einzelnen können die Auskoppelstrukturen mit einem in der Einstrahlrichtung
15 zunehmenden Flächenanteil vorgesehen sein. Analog der vorstehenden Beschreibung wird also, jeweils anteilig, anfangs weniger und dann zunehmend mehr der in der Kammerwand geführten Strahlung ausgekoppelt. Es können die Abstände zwischen den Auskoppelstrukturen abnehmen
20 und/oder die Auskoppelstrukturen größer werden.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Strahlungsquelle, deren Strahlung seitlich eingekoppelt wird, zwar außerhalb des Emissionsbereichs, aber dennoch an der Kammerwandinnenfläche oder -außenfläche angeordnet. Die
25 Strahlungsquelle ist in einem Einkoppelbereich der Kammerwand angeordnet, der seitlich an den Emissionsbereich anschließt. In dem Einkoppelbereich wird keine Strahlung in das Kammerinnenvolumen abgegeben, die Kammerwandinnenfläche kann dort bspw. verspiegelt oder anderweitig verdeckt sein; bevorzugt ist im Einkoppelbereich ein Fitting
30

angeordnet, über das die Kammerwand mit einer weiteren Kammerwand zusammenbaubar ist (siehe unten).

Bevorzugt ist die Strahlungsquelle im Einkoppelbereich an der Kammerwandaußenfläche angeordnet, vgl. auch Figur 6
5 zur Illustration. Im Allgemeinen ist aber auch eine Anordnung an der Kammerwandinnenfläche denkbar. Generell wird bei dieser Form der Einkopplung ausgenutzt, dass die Strahlungsquelle in der Regel ein aufgefächertes Emissionsprofil hat, typischerweise Lambertsch. Es wird also,
10 auch wenn die Hauptabstrahlrichtung im Wesentlichen parallel zur Dickenrichtung liegt, ein Teil der Strahlung seitlich eingekoppelt und entsprechend in den Emissionsbereich geführt. Dies kann durch eine Verspiegelung an der Kammerwandinnenfläche und/oder der Kammerwandaußenfläche im Einkoppelbereich begünstigt werden. Ferner kann
15 die Strahlungsquelle trotz der Anordnung an der Kammerwandinnenfläche oder -außenfläche auch schräg angestellt sein, können also bspw. mehrere Strahlungsquellen auf einer Art Sägezahnprofil (z. B. einer Schlauchkupplung vergleichbar) angeordnet sein.
20

Bei einer bevorzugten Ausführungsform, die sowohl die seitliche also auch die Durchstrahlungseinkopplung betrifft, ist die an der Kammerwandaußen- oder der Kammerwandinnenfläche angeordnete Strahlungsquelle zumindest
25 teilweise in die Kammerwand eingebettet. Die entsprechende Kammerwandfläche ist dort also lokal mit einer Vertiefung geformt, springt also gegenüber einem umliegenden Umgebungsbereich zurück (zum Kammerinnenvolumen hin oder davon weg im Falle der Kammerwandinnenfläche). Bevorzugt
30 wird die Strahlungsquelle bei der Herstellung der Kammerwand bzw. eines Bereichs davon, in dem die Strahlungs-

quelle angeordnet ist, direkt eingeformt, umschließt das Kammerwandmaterial dann also die Strahlungsquelle zumindest teilweise, was insbesondere bei Kunststoff als Kammerwandmaterial möglich ist. Es kann aber auch zunächst
5 die Vertiefung ausgebildet und dann anschließend darin die Strahlungsquelle angeordnet werden. Die Vertiefung kann bspw. bei einer Herstellung der Kammerwand in einem formenden Verfahren direkt mit eingeformt werden. Sie kann aber auch nachträglich eingebracht werden, etwa bei
10 Glas als Kammerwandmaterial durch entsprechende Maskierung und Ätzen mit Flusssäure (HF).

Bei einer bevorzugten Ausführungsform, die eine Strahlungsquelle mit seitlicher Einkopplung betrifft, ist diese an einer Kammerwandseitenfläche angeordnet, die Kammerwandseitenfläche verbindet die Kammerwandinnen- mit
15 der Kammerwandaußenfläche. Die Kammerwandseitenfläche hat also eine Erstreckung in Dickenrichtung, bevorzugt ausschließlich in Dickenrichtung, vgl. das Ausführungsbeispiel gemäß den Figuren 7 bis 9 zur Illustration. Die an
20 der Kammerwandseitenfläche angeordnete Strahlungsquelle emittiert dann flächig in die Kammerwand, also bspw. mit einer Einstrahlrichtung um nicht mehr als 20° , 15° , 10° bzw. 5° zu einer Flächenrichtung der Kammerwand verkippt (jener Flächenrichtung, mit der sie den kleinsten Winkel
25 einschließt). Dies kann eine besonders effiziente Einkopplung und Strahlungsführung auch über eine weite Strecke ermöglichen, insbesondere durch Totalreflexion.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform bildet die Kammerwand ein Rohrstück. Bezogen auf einen Umlauf um eine
30 Rohrachse ist die Kammerwand dann in sich geschlossen (um das Kammerinnenvolumen), in senkrecht zur Rohrachse lie-

genden Schnittebene betrachtet kann sie eine Kreisform beschreiben, im Allgemeinen aber bspw. auch eine eckige Form haben, ggf. mit abgerundeten Kanten. Ein „Durchmesser“ ist somit zunächst als Mittelwert aus kleinster und größter Erstreckung in einer zur Rohrachse senkrechten Schnittebene zu betrachten, der im bevorzugten Fall der Kreisgeometrie dem Kreisdurchmesser entspricht. Mögliche Innendurchmesser des Rohrstücks können bspw. bei mindestens 5 mm, 10 mm, 20 mm bzw. 30 mm liegen, und (davon unabhängig) bei bspw. nicht mehr als 300 mm, 200 mm bzw. 100 mm.

Generell ist die als Rohrstück ausgebildete Kammerwand bevorzugt mit einem Fitting ausgestattet, über welches das Rohrstück mit einem weiteren Rohrstück zusammenbaubar ist. Das Fitting kann bspw. ein Steckfitting sein, in welches die Rohrstücke von einander entgegengesetzten Seiten her eingeschoben werden können. Es ist auch eine Kombination mit einer Arretierung möglich, bspw. durch außenseitiges Anschrauben eines Sicherungsrings nach dem Einschieben. Wie bereits erwähnt, kann die Strahlungsquelle bevorzugt in dem Fitting angeordnet sein. Damit wird vorteilhafterweise ein aus Gründen der mechanischen Konstruktion ohnehin belegter Bereich zugleich für die Strahlungskopplung genutzt, was bspw. raumsparend sein kann. Es kann bspw. auch eine besonders effiziente Kombination mit einer Sonnenlichtnutzung möglich sein, weil sich durch die zweifache Nutzung des Fittings abgeschattete Flächenanteile reduzieren lassen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird eine in das Kammerinnenvolumen abgegebene Kultivierungsstrahlung, die der Kultivierung der Mikroorganismen dient, zumindest an-

teilig von einer Konversionsstrahlung gebildet. Diese wird dabei von einem Leuchtstoff emittiert, der an bzw. in der Kammerwand angeordnet ist. Die Strahlungsquelle emittiert eine Strahlung, bevorzugt ist dies die originär vom Halbleiterbauelement emittierte Primärstrahlung. Als Leuchtstoff zur Emission von grünem Licht kann bspw. ein Orthosilikat- oder bevorzugt Nitrido-Orthosilikat-Leuchtstoff vorgesehen sein, aber auch Lutetium-Aluminium-Granat (LuAG) ist möglich. „Leuchtstoff“ kann auch eine Mischung unterschiedlicher Einzelleuchtstoffe bezeichnen.

In bevorzugter Ausgestaltung ist zumindest ein Teil des integrierten Leuchtstoffs in Form einer Schicht an der Kammerwandinnenfläche angeordnet, jedenfalls in einem Bereich davon. Eine nur bereichsweise Beschichtung kann insbesondere mit einer komplementären Verspiegelung kombiniert sein, siehe vorne. Die mit Leuchtstoff beschichtete Kammerwandinnenfläche kann bspw. die Innenfläche einer „einfachen“ Kammerwand aus einem durchgehenden Kammerwandmaterial sein; der Leuchtstoff kann aber andererseits auch im Falle einer Kammerwand mit Hohlraum (siehe vorne) an der Kammerwandinnenfläche angeordnet sein.

Zur Aufbringung einer Leuchtstoffschicht kann z. B. partikelförmiger Leuchtstoff in einer Suspension aufgebracht werden, wobei bspw. nach einem Abdampfen der Flüssigkomponente agglomerierte Leuchtstoffpartikel an der Oberfläche verbleiben. Der Leuchtstoff kann aber bspw. auch in einem als Schicht aufgetragenen Matrixmaterial eingebettet vorliegen, wobei das Matrixmaterial dann an der Kammerwandinnenfläche verbleibt (ein Matrixmaterial ist z. B. Silikon). Generell kann der an der Kammerwandinnen-

fläche angeordnete Leuchtstoff dann auch noch mit einer weiteren Schicht überzogen sein, die als Schutzschicht zum Kammerinnenvolumen hin dienen kann, bspw. einer Silikonschicht.

- 5 Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist zumindest ein Teil des Leuchtstoffs in Partikelform in das Kammerwandmaterial eingebettet. Der Leuchtstoff kann bspw. bereits bei der Herstellung der Kammerwand bzw. eines Teils davon mit dem Kammerwandmaterial vermennt werden, bspw. mit
10 flüssigem Glas. Bei einer Kammerwand aus Kunststoff können die Leuchtstoffpartikel ähnlich wie Farbpigmente zugesetzt werden, also während eines formgebenden Verfahrens (Spritzgießen, Extrudieren etc.). Es kann bspw. die Kammerwand im Gesamten mit Leuchtstoffpartikeln versetzt
15 sein; andererseits kann im Falle der mehrteiligen Kammerwand mit Hohlraum der Leuchtstoff auch nur in einen Teil davon eingebettet sein, bspw. in das innere Rohrteil.

- Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind Leiterbahnen, mit denen die Strahlungsquelle elektrisch leitend verbunden
20 ist, integral vorgesehen. Die Leiterbahnen können bspw. auf das Kammerwandmaterial aufgebracht oder auch eingebettet sein, etwa als Einlegeteile beim Spritzgießen umspritzt werden. Es können bspw. Kupferdrähte als Leiterbahnen eingeformt sein. Auch im Falle der aufgebracht
25 ten Leiterbahn können metallische Materialien, wie bspw. Aluminium, Kupfer oder Silber bzw. auch Legierungen, bevorzugt sein. Das Aufbringen kann bspw. ein Aufdampfen sein. Es kann aber bspw. auch eine leitfähige Tinte, insbesondere eine Paste aufgebracht werden, bspw. aufgestrichen,
30 aufgesprüht oder aufgedruckt. Ein Beispiel ist eine Silberpaste. Die Leiterbahn kann aber auch aus einem

transparenten bzw. transluzenten Material vorgesehen sein, hier kommen bspw. Oxide oder Polymere infrage, ein Beispiel ist Indiumzinnoxid (ITO). Auch kohlenstoffbasierte Leiterbahnen sind möglich, insbesondere ist eine
5 Verdrahtung mit Kohlenstoffnanoröhrchen denkbar.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform weist die Kammer eine optische Sensoreinheit auf, bspw. mit einer Photodiode oder auch einem CCD-Array. Die Sensoreinheit ist bevorzugt zur Erfassung von Umgebungslicht eingerichtet,
10 insbesondere Sonnenlicht. Dazu kann eine aktive Sensorfläche (die darauf fallende Strahlung wird in ein Messsignal umgesetzt) bspw. dem Kammerinnenvolumen abgewandt sein. Bezogen auf eine Montageposition der Kammerwand ist die Sensoreinheit bevorzugt oberseitig angeordnet (Einfall von Sonnenlicht). Insgesamt können auch mehrere Sen-
15 soreinheiten vorgesehen sein, etwa im Falle des Rohrstücks entlang der Rohrachse verteilt und/oder umlaufend um diese (nicht zwingend vollständig). Die Sensoreinheit(en) kann bzw. können bspw. auch analog der Strahlungsquelle in das Kammerwandmaterial eingeformt sein.
20 Auch bzgl. der Möglichkeiten zur Verdrahtung wird auf die vorstehenden Angaben verwiesen.

Bevorzugt weist die Kammer auch eine Steuereinheit zur Ansteuerung der Strahlungsquelle auf, besonders bevorzugt
25 ist diese mit der Sensoreinheit wirkverbunden. Dabei können eine Logik der Sensoreinheit (Auswertung des Sensorsignals) und eine Logik der Steuereinheit auch integriert ausgeführt sein, es sind aber auch gesonderte Bausteine möglich. Bevorzugt ist die Steuereinheit zur Ansteuerung
30 der Strahlungsquelle in Abhängigkeit von dem mit der Sensoreinheit erfassten Umgebungslicht eingerichtet. Die

Strahlungsquelle kann bspw. vollständig ausgeschaltet bleiben, solange die Sensoreinheit hinreichend Umgebungslicht detektiert. Wird ein Schwellwert unterschritten, kann die Strahlungsquelle zugeschaltet werden, also bspw. 5 nachts oder auch in Abhängigkeit von der Wetterlage (Wolkenbedeckung etc.). Die Zuschaltung muss nicht zwingend digital erfolgen, die Intensität kann auch stufenweise oder auch schrittweise angepasst werden.

Die Erfindung betrifft auch einen Photobioreaktor mit einer vorliegend offenbaren Kammer. Der Photobioreaktor 10 kann bspw. eine CO²-Versorgung des Kammerinnenvolumens und/oder Mittel zur Nährstoffversorgung bzw. auch zur Überwachung des Kultivierungsgemischs aufweisen. Ferner kann bspw. auch eine Umwälzpumpe vorgesehen sein.

15 Die Erfindung betrifft auch eine Verwendung, insbesondere einer vorliegend offenbaren Kammer bzw. eines entsprechenden Photobioreaktors, zur Kultivierung von Mikroorganismen. Dabei ist in dem Kammerinnenvolumen ein Kultivierungsgemisch, insbesondere eine Kultivierungssuspension 20 angeordnet, und wird mit einer Strahlungsquelle bestrahlt. Diese ist in direktem optischen Kontakt mit dem Kultivierungsgemisch vorgesehen, die Strahlung wird also direkt in dieses eingekoppelt. Es wird auf die vorstehende Definition von „direktem optischen Kontakt“ verwiesen, 25 das „Zwischenmaterial“ kann bspw. das Kammerwandmaterial sein; andererseits kann die Emissionsfläche der Strahlungsquelle aber auch direkt an das Kultivierungsgemisch / die Kultivierungssuspension grenzen. Auch bezüglich der Vorteile wird auf die Darstellung eingangs verwiesen, die 30 direkte Einkopplung (kein optisch wirksames Luftvolumen

dazwischen) ist effizient und kann eine homogene Bestrahlung ermöglichen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, wobei die einzelnen Merkmale
5 im Rahmen der nebengeordneten Ansprüche auch in anderer Kombination erfindungswesentlich sein können; dies gilt insbesondere für die in den Figuren gezeigten Merkmale (was nachstehend auch teils diskutiert wird).

Im Einzelnen zeigt

10 Figur 1 eine erfindungsgemäße Kammer für einen Photobio-reaktor in schematischer Darstellung in einer geschnittenen Schrägansicht;

Figur 2 eine erste Möglichkeit zur Bestrahlung eines Kammerinnenvolumens der Kammer gemäß Figur 1;

15 Figur 3 eine zweite Möglichkeit zur Bestrahlung eines Kammerinnenvolumens der Kammer gemäß Figur 1;

Figur 4 eine dritte Möglichkeit zur Bestrahlung eines Kammerinnenvolumens der Kammer gemäß Figur 1;

20 Figur 5 in einem schematischen Längsschnitt eine seitliche Einkopplung von Strahlung in eine Kammerwand, ebenfalls zur Bestrahlung des Kammerinnenvolumens;

25 Figur 6 eine weitere Möglichkeit zur seitlichen Einkopplung von Strahlung in eine Kammerwand, wiederum in einem schematischen Längsschnitt;

Figur 7 eine Kammerwand mit Hohlraum zur seitlichen Führung der Strahlung durch Totalreflexion, wiederum in einem schematischen Längsschnitt;

Figur 8 ebenfalls zur seitlichen Strahlungsführung in der Kammerwand eine der Kammerwandaußenfläche zugeordnete Verspiegelung, wiederum in einem schematischen Längsschnitt;

Figur 9 eine Kombination aus Verspiegelung der Kammerwandaußenfläche und Leuchtstoffbeschichtung der Kammerwandinnenfläche, wiederum in einem schematischen Längsschnitt.

Bevorzugte Ausführung der Erfindung

Figur 1 zeigt eine Kammer 1 für einen Photobioreaktor mit einer Kammerwand 2, die ein Kammerinnenvolumen 3 begrenzt. In dieses Kammerinnenvolumen 3 wird im Betrieb des Photobioreaktors eine Kultivierungssuspension zur Herstellung von Mikroorganismen eingebracht, bspw. zur Produktion von Algen. Die Kammerwand 2 ist vorliegend aus Glas vorgesehen. An der Kammerwand 2 sind in direktem optischen Kontakt damit eine Mehrzahl Strahlungsquellen 4, nämlich LEDs angeordnet (im Folgenden wird der Einfachheit halber wiederum vorrangig von „der“ Strahlungsquelle gesprochen).

Aufgrund des direkten optischen Kontakts gelangt die Strahlung im Wesentlichen brechungsfrei in die Kammerwand 2 und von dort ebenfalls ohne maßgebliche Brechung in das Kammerinnenvolumen (Übergang Glas/Wasser). Es ist eine zumindest verlustreduzierte und zugleich homogene Be-

strahlung des Kammerinnenvolumens 3 möglich, zudem erlaubt die Integration der Strahlungsquelle 4 einen insgesamt kompakten Aufbau, es wird ausdrücklich auch auf die Vorteilsangaben in der Beschreibungseinleitung verwiesen.

5 Die Strahlungsquellen 4 sind über Leiterbahnen 5 elektrisch angeschlossen. Diese können auf eine dem Kammerinnenvolumen 3 abgewandte Kammerwandaußenfläche 6 aufgebracht, oder bspw. auch in das Glas eingeformt sein (vgl. auch die Beschreibungseinleitung).

10 Die Kammer weist ferner Sensoreinheiten 7 auf, vorliegend Photodioden. Auch diese sind über auf die Kammerwandaußenfläche 6 aufgebrachte Leiterbahnen 8 elektrisch angeschlossen. Mit den Sensoreinheiten 7, die in einem oberen Bereich der Kammer 1 angeordnet sind, kann der Sonnenlichteinfall überwacht werden. Die Bestrahlung mit den
15 Strahlungsquellen 4 kann dann in Abhängigkeit davon geregelt werden, bspw. nur nachts zugeschaltet sein. Wie nachstehend im Einzelnen deutlich wird, sind aber auch gänzlich sonnenlichtunabhängige Systeme möglich.

20 Bei der Ausführungsform gemäß Figur 1 sind die Strahlungsquellen 4 für eine gleichmäßige Bestrahlung des Kammerinnenvolumens 3 entlang der Rohrachse 9 und umlaufend verteilt (insbesondere äquidistant). Die Figuren 2 bis 4 zeigen nun jeweils in einem zur Rohrachse 9 senkrechten
25 Schnitt unterschiedliche Möglichkeiten, wie die Bestrahlung des Kammerinnenvolumens 3 im Einzelnen umgesetzt werden kann.

Bei sämtlichen Varianten gemäß den Figuren 2 bis 4 wird die Kammerwand 2 durchstrahlt, ist also die Strahlungs-
30 quelle 4 in einem Emissionsbereich der Kammerwand 2 ange-

ordnet, in dem an einer dem Kammerinnenvolumen 3 zugewandten Kammerwandinnenfläche 10 Strahlung in das Kammerinnenvolumen 3 abgegeben wird. Die Strahlung, die letztlich auf die Kultivierungssuspension einwirkt, wird auch als Kultivierungsstrahlung bezeichnet. Bei der Variante gemäß Figur 2 emittiert die Strahlungsquelle 4 selbst die Kultivierungsstrahlung. Dabei handelt es sich vorliegend um die originär von dem Halbleiterbauelement emittierte Primärstrahlung 31, die Strahlungsquelle 4 kann aber auch konvertierend bzw. teilkonvertierend ausgestaltet sein, vgl. auch die Beschreibungseinleitung. Bei den Varianten gemäß den Figuren 3 und 4 ist im Unterschied dazu ein Leuchtstoff zur Wellenlängenkonversion an bzw. in die Kammerwand 2 integriert.

Dazu ist bei der Variante gemäß Figur 3 an der Kammerwandinnenfläche 10 eine Schicht 30 des Leuchtstoffs aufgebracht (z. B. agglomerierte Leuchtstoffpartikel oder auch Leuchtstoffpartikel in einem Matrixmaterial, vgl. die Beschreibungseinleitung). Die Strahlungsquelle 4 emittiert die Primärstrahlung 31, vorliegend blaues Licht. Diese wird in der Schicht 30 wellenlängenkonvertiert, es resultiert eine Konversionsstrahlung 32 längerer Wellenlänge (vorliegend grünes Licht). Dabei ist insbesondere auch ein Betrieb in Teilkonversion möglich, die Kultivierungsstrahlung kann sich also aus Konversionsstrahlung 32 und anteilig nicht konvertierter Primärstrahlung 31 zusammensetzen.

Bei der Variante gemäß Figur 4 ist der Leuchtstoff in die Kammerwand 2 eingebettet. Dazu sind die Leuchtstoffpartikel 40 in das Glas eingeformt, also in diesem als Matrix gehalten. Beim Durchstrahlen der Kammerwand 2 wird die

Primärstrahlung 31 sukzessive in die Konversionsstrahlung 32 umgesetzt (vollständig oder auch nur zum Teil). Bei der Variante gemäß Figur 4 ist die Strahlungsquelle 4 nachträglich auf die Kammerwand 2 aufgesetzt, es kann
5 bspw. ein Klebstoff (nicht dargestellt) zugleich als Immersionsmaterial dienen und den direkten optischen Kontakt vermitteln.

Bei den Varianten gemäß den Figuren 2 und 3 ist die Strahlungsquelle 4 im Unterschied dazu in die Kammerwand
10 2 eingeformt. Sie ist entsprechend ein Stück weit nach radial innen versetzt, die Kammerwandaußenfläche 6 springt lokal nach innen.

Figur 5 zeigt eine weitere Möglichkeit zur Einkopplung der Strahlung in die rohrförmige Kammerwand 2. Dargestellt ist ein schematischer Schnitt, wobei die Rohrachse
15 9 in der Schnittebene liegt. Die Strahlungsquelle 4 ist nicht in einem Emissionsbereich 50 angeordnet, in welchem an der Kammerwandinnenfläche 10 Strahlung in das Kammerinnenvolumen 3 abgegeben wird, sondern seitlich außerhalb davon. Konkret ist die Strahlungsquelle 4 an einer
20 Kammerwandseitenfläche 51 angeordnet, die sich zwischen der Kammerwandaußenfläche 6 und der Kammerwandinnenfläche 10 erstreckt. Die Strahlung wird mit einer Einstrahlrichtung 52 als Hauptrichtung eingekoppelt, die mit einer
25 Flächenrichtung 53 der Kammerwand 2 zusammenfällt (die Flächenrichtung 53 liegt senkrecht zur Dickenrichtung 54).

Bei der Variante gemäß Figur 5 ist an der Kammerwandaußenfläche 6 eine Verspiegelung 55 angeordnet, vorliegend
30 durchgehend als direkt darauf abgeschiedener Metallfilm.

- 24 -

Die Kammerwandaußenfläche 6 könnte aber auch unverspiegelt sein, die Strahlung kann also durch Totalreflexion seitlich geführt werden (Übergang Glas/Umgebungsluft), vgl. Figur 7.

5 Auch an der Kammerwandinnenfläche 10 ist eine Verspiegelung 56 angeordnet, wobei deren Flächenanteil in Einstrahlrichtung, von der Strahlungsquelle 4 weg abnimmt. Unterbrechungen 57 der Verspiegelung 56 werden entsprechend zunehmend größer. Im Ergebnis wird von der in der
10 Kammerwand 2 geführten Strahlung im Verhältnis zunächst weniger und dann zunehmend mehr Strahlung durch die Unterbrechungen 57 in das Kammerinnenvolumen 3 abgegeben.

Bei der Ausführungsform gemäß Figur 5 emittiert die Strahlungsquelle 4 die Kultivierungsstrahlung, ist an oder in der Kammerwand 2 selbst also kein Leuchtstoff vorgesehen. Alternativ könnten aber bspw. auch die Unterbrechungen 57 mit Leuchtstoff gefüllt sein, könnte dieser also analog Figur 3 an der Kammerwandinnenfläche 10, dabei aber lediglich in den Unterbrechungen 57 angeordnet
15 sein. Ebenso könnte in die Kammerwand 2 Leuchtstoff eingebettet sein, analog der Variante gemäß Figur 4.
20

In Figur 5 ist ferner ein Fitting 60 zu erkennen, über welches die als Rohrstück geformte Kammerwand 2 mit einem weiteren Rohrstück zusammengesteckt ist. Insgesamt kann
25 der Photobioreaktor dann aus einer Vielzahl derartiger Rohrstücke zusammengesetzt sein, die sich dann bspw. schleifen- bzw. mäanderförmig etc. erstrecken. Die Strahlungsquelle 4 kann bevorzugt in das Fitting integriert sein, dann also bspw. erst mit dem Einschieben der Kam-

merwand 2 in den direkten optischen Kontakt mit der Kammerwandseitenfläche 51 gelangen.

Figur 6 zeigt auch eine Einkopplung außerhalb des Emissionsbereichs 50, in welchen die Strahlung seitlich hineingeführt wird. Die Strahlungsquelle 4 ist dabei zwar außerhalb des Emissionsbereichs 50, aber gleichwohl an der Kammerwandaußenfläche 6 angeordnet, nämlich in einem Einkoppelbereich 65. In diesem gelangt keine Strahlung über die Kammerwandinnenfläche 10 in das Kammerinnenvolumen 3, vorliegend ist dort eine Verspiegelung 56 vorgesehen.

Bei den Varianten gemäß den Figuren 7 bis 9 ist eine Einkopplung analog Figur 5 gezeigt, ebenso könnte aber analog Figur 6 eingekoppelt werden, auch eine Kombination der beiden Varianten ist möglich.

Bei der Ausführungsform gemäß Figur 7 weist die Kammerwand 2 in einen radial äußeren Teil 2a und einen radial inneren Teil 2b auf. Die beiden Teile 2a, b sind über einen Hohlraum 70 zueinander beabstandet, der vorliegend mit Luft gefüllt ist. Dadurch ist innerhalb der Kammerwand 2 eine Grenzfläche 71 ausgebildet, an welcher die Strahlung durch Totalreflexion geführt wird. Die Strahlung wird in das radial äußere Teil 2a eingekoppelt und ist darin über Totalreflexion an der Grenzfläche 71 und der Kammerwandaußenfläche 6 geführt.

An der Grenzfläche 71 sind Auskoppelstrukturen 72 vorgesehen, an welchen die Strahlung gestreut und dementsprechend zumindest anteilig auch in Richtung des Kammerinnenvolumens 3 gebracht wird. Emittiert die Strahlungsquelle 4 wie vorliegend originär die Kultivierungsstrahlung, können die Auskoppelstrukturen 72 bspw. angeraute

Oberflächenbereiche sein. Alternativ könnte die Strahlungsquelle 4 auch Primärstrahlung emittieren, die dann von als Auskoppelstrukturen 72 vorgesehenen Leuchtstoffinseln konvertiert werden könnte (nicht dargestellt).

5 Ferner könnte die Strahlungsquelle 4 auch Primärstrahlung emittieren, die über streuende Auskoppelstrukturen 72 durch den Hohlraum 70 ausgekoppelt und erst dann (anteilig) konvertiert wird, bspw. mit einem in das radial innere Teil 2b eingebetteten Leuchtstoff und/oder einer an

10 der Kammerwandinnenfläche 10 angeordneten Leuchtstoffschicht 30.

Bei der Variante gemäß Figur 8 ist der Kammerwandaußenfläche 6 eine Verspiegelung 55 zugeordnet, die in diesem Fall allerdings nicht direkt an die Kammerwandaußenfläche

15 6 grenzt. Dazwischen ist ein Hohlraum 80 vorgesehen, vorliegend mit Luft gefüllt. Dementsprechend ist die Strahlung an der Kammerwandaußenfläche 6 zunächst durch Totalreflexion geführt. Die Verspiegelung 55 kann dann aber bspw. unter Winkeln außerhalb des Totalreflexionswinkels

20 auftreffende Strahlung zurück in Richtung Kammerinnenvolumen 3 reflektieren. Diese Kombination kann von Interesse sein, weil die Strahlungsführung durch Totalreflexion an sich sehr effizient ist, aber eben winkelabhängig.

Die Kammerwandinnenfläche 10 ist bereichsweise mit einer

25 Verspiegelung 56 und in deren Unterbrechungen komplementär dazu mit einer Leuchtstoffschicht 30 versehen. Die Strahlungsquelle 4 emittiert Primärstrahlung 31, die von der Leuchtstoffschicht 30 dann (anteilig) in die Konversionsstrahlung 32 umgesetzt wird. Alternativ könnte die

30 Strahlungsquelle 4 aber bspw. auch direkt die Kultivierungsstrahlung emittieren und könnte an der Kammerwandin-

- 27 -

nenfläche 10 lediglich die Verspiegelung 56 angeordnet sein.

Bei der Ausführungsform gemäß Figur 9 ist der Kammerwand-
außenfläche 6 ebenfalls eine Verspiegelung 55 zugeordnet,
5 jedoch im Unterschied zu Figur 8 direkt daran grenzend.
Auch in diesem Fall ist die von Strahlungsquelle 4 emittierte Strahlung Primärstrahlung 31, die von einer Schicht 30 des Leuchtstoffs an der Kammerwandinnenfläche 10 (anteilig) in Konversionsstrahlung 32 konvertiert
10 wird. Alternativ oder zusätzlich könnte der Leuchtstoff auch in die Kammerwand 2 eingebettet sein, vgl. Figur 4 zur Illustration.

BEZUGSZEICHENLISTE

	Kammer	1
	Kammerwand	2
	radial äußerer Teil	2a
5	radial innerer Teil	2b
	Kammerinnenvolumen	3
	Strahlungsquellen	4
	Leiterbahnen (Kontaktierung Strahlungsquellen)	5
	Kammerwandaußenfläche	6
10	Sensoreinheiten	7
	Leiterbahnen (Kontaktierung Sensoreinheiten)	8
	Rohrachse	9
	Kammerwandinnenfläche	10
	Leuchtstoffschicht	30
15	Primärstrahlung	31
	Konversionsstrahlung	32
	Leuchtstoffpartikel	40
	Emissionsbereich	50
	Kammerwandseitenfläche	51
20	Einstrahlrichtung	52

	Flächenrichtungen	53
	Dickenrichtung	54
	Verspiegelung (Kammerwandaußenfläche)	55
	Verspiegelung (Kammerwandinnenfläche)	56
5	Unterbrechungen (der Verspiegelung)	57
	Fitting	60
	Einkoppelbereich	65
	Hohlraum (in der Kammerwand)	70
	Grenzfläche	71
10	Auskoppelstrukturen	72
	Hohlraum (zwischen Kammerwandaußenfläche und Verspiegelung)	80

ANSPRÜCHE

1. Kammer (1) für einen Photobioreaktor, mit
einer Kammerwand (2) aus einem zumindest transluzen-
ten Kammerwandmaterial, welche Kammerwand (2) ein
5 Kammerinnenvolumen (3) zur Aufnahme eines Kultivie-
rungsgemischs für Mikroorganismen begrenzt, und
zumindest einer optoelektronischen Strahlungsquelle
(4) zur elektromagnetischen Bestrahlung des Kamme-
rinnenvolumens (3) durch die Kammerwand (2),
10 wobei die zumindest eine Strahlungsquelle (4) in di-
rektem optischen Kontakt mit der Kammerwand (2) vor-
gesehen ist.
2. Kammer (1) nach Anspruch 1, bei welcher mindestens
15 eine der zumindest einen Strahlungsquelle (4) gemäß
Anspruch 1 an einer dem Kammerinnenvolumen (3) abge-
wandten Kammerwandaußenfläche (6) angeordnet ist,
und zwar in einem Emissionsbereich (50) der Kammer-
wand (2), in dem an einer der Kammerwandaußenfläche
20 (6) entgegengesetzten Kammerwandinnenfläche (10)
Strahlung in das Kammerinnenvolumen (3) abgegeben
wird.
3. Kammer (1) nach Anspruch 1 oder 2, bei welcher min-
25 destens eine der zumindest einen Strahlungsquelle
(4) gemäß Anspruch 1 bezogen auf Flächenrichtungen
(53) der Kammerwand (2) außerhalb eines Emissionsbe-
reichs (50), in dem an einer dem Kammerinnenvolumen
(3) zugewandten Kammerwandinnenfläche (10) Strahlung
30 in das Kammerinnenvolumen (3) abgegeben wird, ange-
ordnet ist und seitlich, also in Flächenrichtungen

- 31 -

(53) der Kammerwand (2), in den Emissionsbereich (50) hineinstrahlt.

4. Kammer (1) nach Anspruch 3, bei welcher die dem Kammerinnenvolumen (3) zugewandte Kammerwandinnenfläche (10) zur seitlichen Führung der Strahlung der mindestens einen Strahlungsquelle (4) gemäß Anspruch 3 bereichsweise verspiegelt (56) ist, vorzugsweise mit einem in Einstrahlrichtung (52) abnehmenden Flächenanteil der Verspiegelung (56).
5
10
5. Kammer (1) nach Anspruch 3 oder 4, bei welcher innerhalb der Kammerwand (2) ein Hohlraum (70) angeordnet ist, der sich in den Flächenrichtungen (53) der Kammerwand (2) erstreckt, womit innerhalb der Kammerwand (2) eine Grenzfläche (71) zu dem zumindest transluzenten Kammerwandmaterial gebildet ist, an welcher Grenzfläche (71) die Strahlung der mindestens einen Strahlungsquelle (4) gemäß Anspruch 3 durch Totalreflexion seitlich geführt ist.
15
20
6. Kammer (1) nach Anspruch 5, bei welcher an der Grenzfläche (71) Auskoppelstrukturen (72) zur Strahlungsauskopplung in Richtung der Kammerwandinnenfläche (10) angeordnet sind, vorzugsweise mit einem in Einstrahlrichtung (52) zunehmenden Flächenanteil der Auskoppelstrukturen (72).
25
7. Kammer (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 6, bei welcher die mindestens eine Strahlungsquelle (4) gemäß Anspruch 3 an der Kammerwandinnenfläche (10) oder an einer zu dieser entgegengesetzten Kammerwand-
30

außenfläche (6) angeordnet ist, und zwar in einem Einkoppelbereich (65) der Kammerwand (2), der seitlich an den Emissionsbereich (50) anschließt und in dem an der Kammerwandinnenfläche (10) keine Strahlung in das Kammerinnenvolumen (3) abgegeben wird.

8. Kammer (1) nach Anspruch 2 oder 7, bei welcher die mindestens eine an der Kammerwandinnenfläche (10) oder der Kammerwandaußenfläche (6) angeordnete Strahlungsquelle (4) zumindest teilweise in die Kammerwand (2) eingebettet ist, und entsprechend die Kammerwandinnenfläche (10) oder die Kammerwandaußenfläche (6) dort also lokal eine Vertiefung bildet.

9. Kammer (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 7, bei welcher die mindestens eine Strahlungsquelle (4) gemäß Anspruch 3 an einer Kammerwandseitenfläche (51) angeordnet ist, welche Kammerwandseitenfläche (51) sich zwischen der Kammerwandinnenfläche (10) und einer zu dieser entgegengesetzten Kammerwandaußenfläche (6) erstreckt.

10. Kammer (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welcher die Kammerwand (2) ein Rohrstück bildet, wobei die Kammer (1) ein Fitting (60) aufweist, über welches die als Rohrstück ausgebildete Kammerwand mit einer weiteren als Rohrstück ausgebildeten Kammerwand verbindbar ist, wobei bevorzugt mindestens eine der zumindest einen Strahlungsquelle (4) gemäß Anspruch 1 in dem Fitting (60) angeordnet ist.

11. Kammer (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
bei welcher einer dem Kammerinnenvolumen (3) abge-
wandten Kammerwandaußenfläche (6) eine Verspiegelung
(55) zugeordnet ist, um eine seitliche Führung von
5 Strahlung in der Kammerwand (2) zumindest zu unter-
stützen.
12. Kammer (1) nach Anspruch 11, insbesondere in Verbin-
dung mit einem der Ansprüche 3 bis 7, bei welcher
10 zwischen der Verspiegelung (55) und der Kammerwand-
außenfläche (6) ein Hohlraum (80) angeordnet ist,
der sich in den Flächenrichtungen (53) der Kammer-
wand (2) erstreckt, sodass die Strahlung in der Kam-
merwand (2) auch durch Totalreflexion an der Kammer-
15 wandaußenfläche (6) seitlich geführt ist.
13. Kammer (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
bei welcher mindestens eine der zumindest einen
Strahlungsquelle (4) gemäß Anspruch 1 zur Emission
20 einer Primärstrahlung (31) ausgelegt, wobei eine
Kultivierungsstrahlung zur Bestrahlung des Kammerin-
nenvolumens (3) zumindest anteilig von einer Konver-
sionsstrahlung (32) gebildet wird, welche ein
Leuchtstoff auf eine Anregung mit der Primärstrah-
25 lung (31) hin emittiert.
14. Kammer (1) nach Anspruch 13, bei welcher zumindest
ein Teil des Leuchtstoffs in Form einer Schicht (30)
an einer dem Kammerinnenvolumen (3) zugewandten Kam-
30 merwandinnenfläche (10) vorgesehen ist, jedenfalls
in einem Bereich davon.

15. Kammer (1) nach Anspruch 13 oder 14, bei welcher zumindest ein Teil des Leuchtstoffs innerhalb der Kammerwand (2) angeordnet ist, insbesondere in Partikelform in das Kammerwandmaterial eingebettet ist.
- 5
16. Kammer (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welcher Leiterbahnen (5), mit welchen die zumindest eine Strahlungsquelle (4) gemäß Anspruch 1 elektrisch leitend verbunden ist, auf das Kammerwandmaterial aufgebracht oder in das Kammerwandmaterial eingebettet sind.
- 10
17. Kammer (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche mit einer optischen Sensoreinheit (7), die zur Erfassung eines Umgebungslichts eingerichtet ist, und mit einer Steuereinheit, die zur Ansteuerung der zumindest einen Strahlungsquelle (4) gemäß Anspruch 1 eingerichtet ist, vorzugsweise in Abhängigkeit von der Erfassung des Umgebungslichts mit der Sensoreinheit
- 15
- 20 (7).
18. Photobioreaktor mit einer Kammer (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche.
- 25
19. Verwendung einer Kammer (1) zur Kultivierung von Mikroorganismen, wobei in einem Kammerinnenvolumen (3) ein Kultivierungsgemisch für die Mikroorganismen angeordnet ist, das mit zumindest einer optoelektronischen Strahlungsquelle (4) elektromagnetisch be-
- 30
- strahlt wird, welche zumindest eine optoelektronische Strahlungsquelle (4) in direktem optischen Kontakt mit dem Kultivierungsgemisch vorgesehen ist.

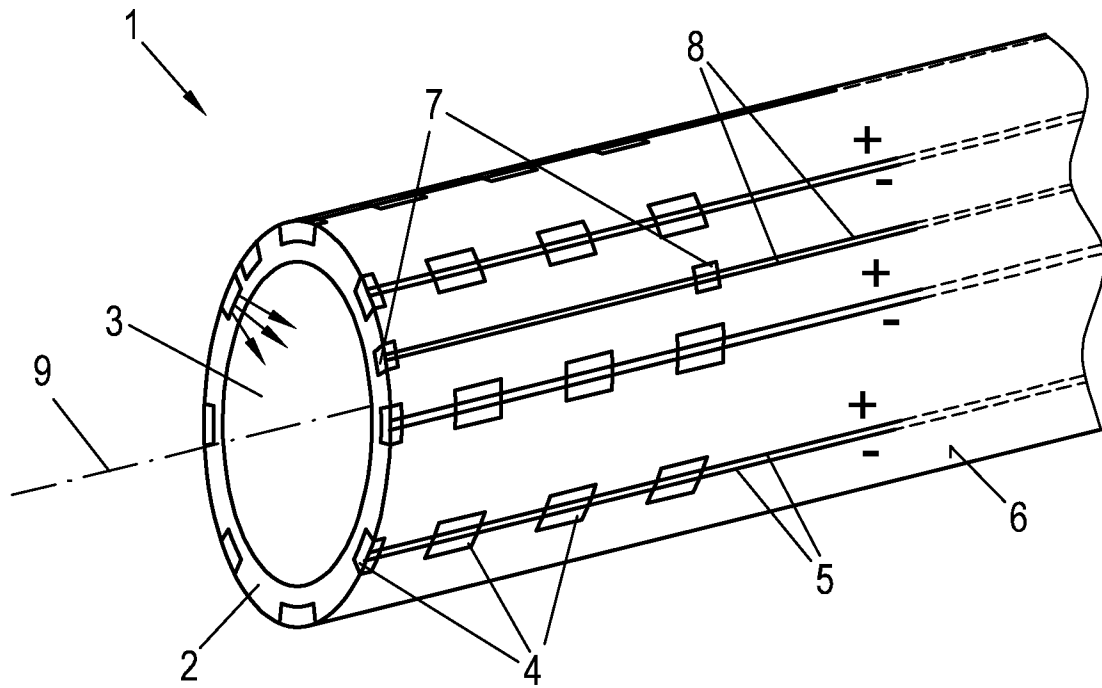


Fig. 1

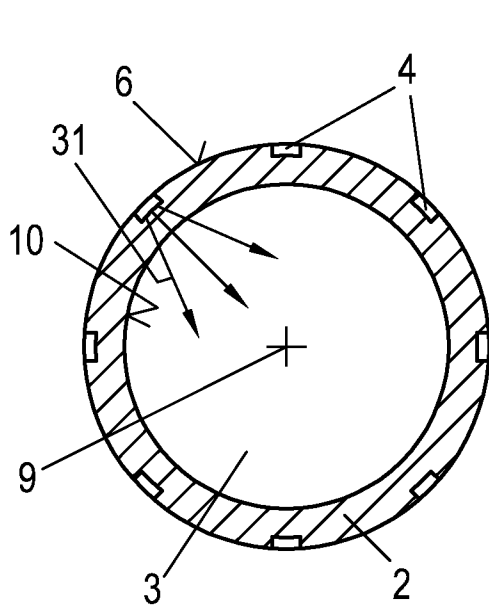


Fig. 2

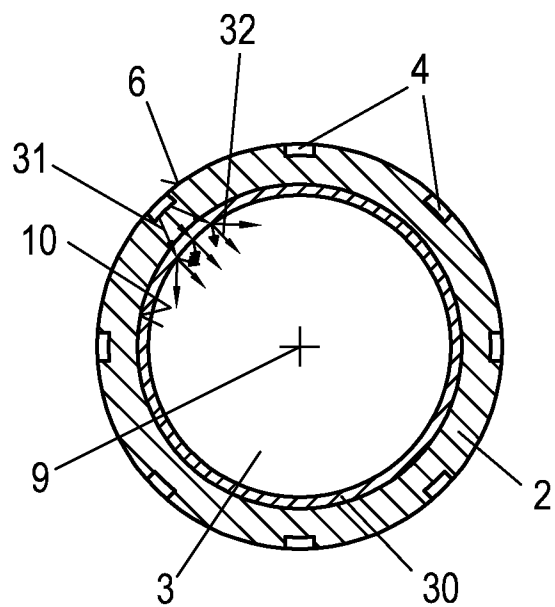


Fig. 3

2/6

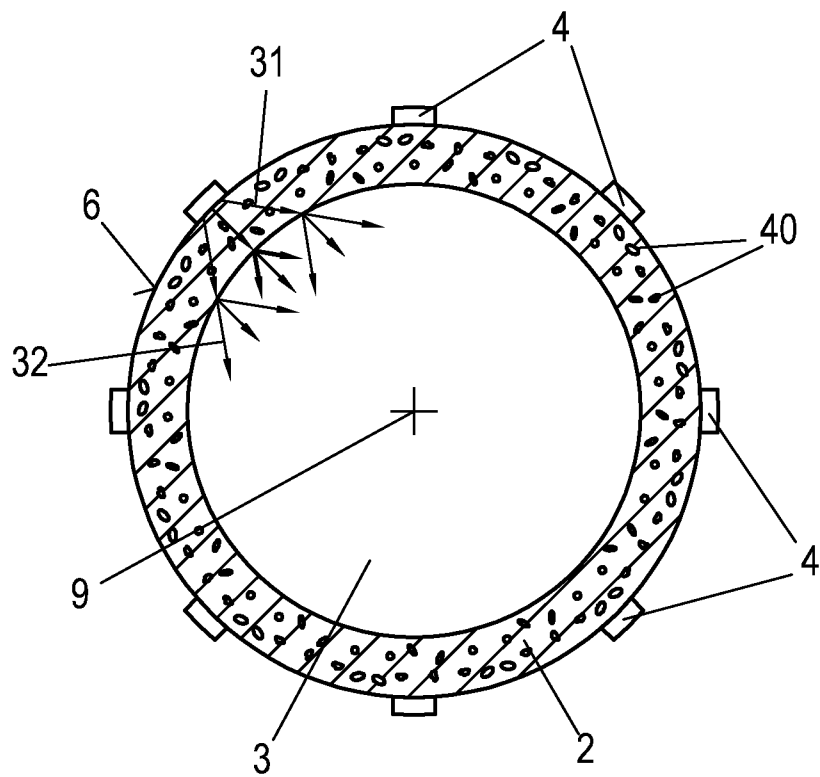


Fig. 4

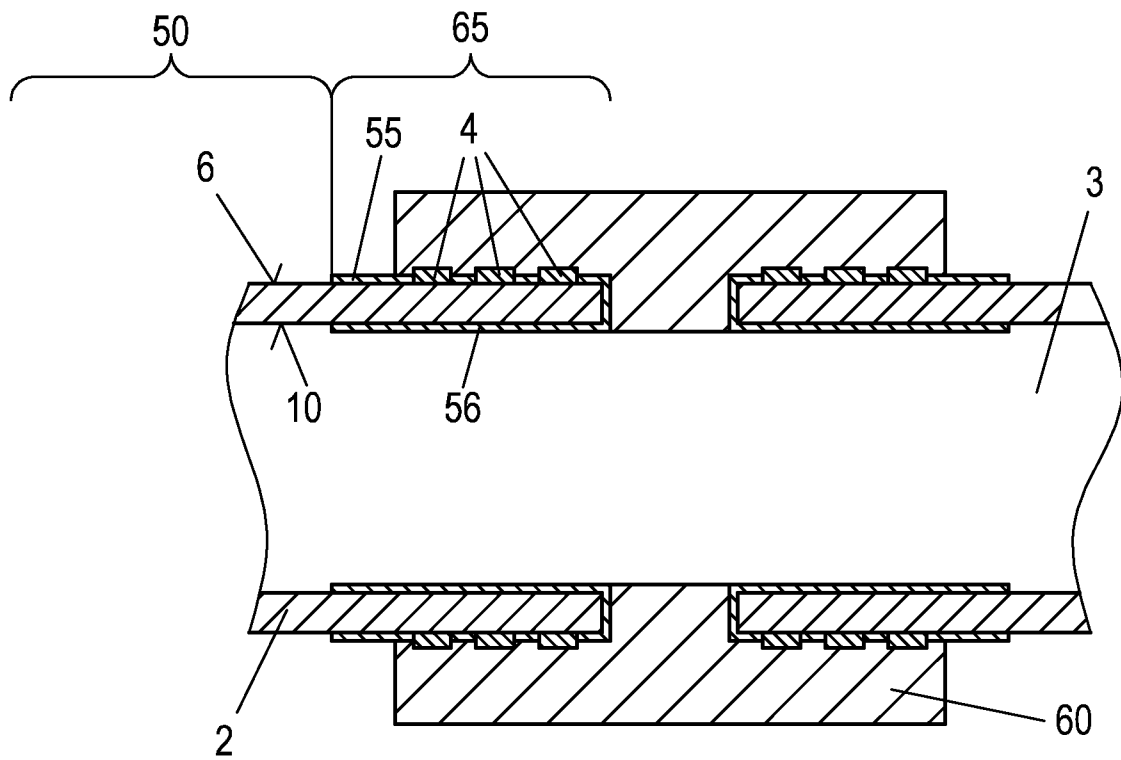


Fig. 6

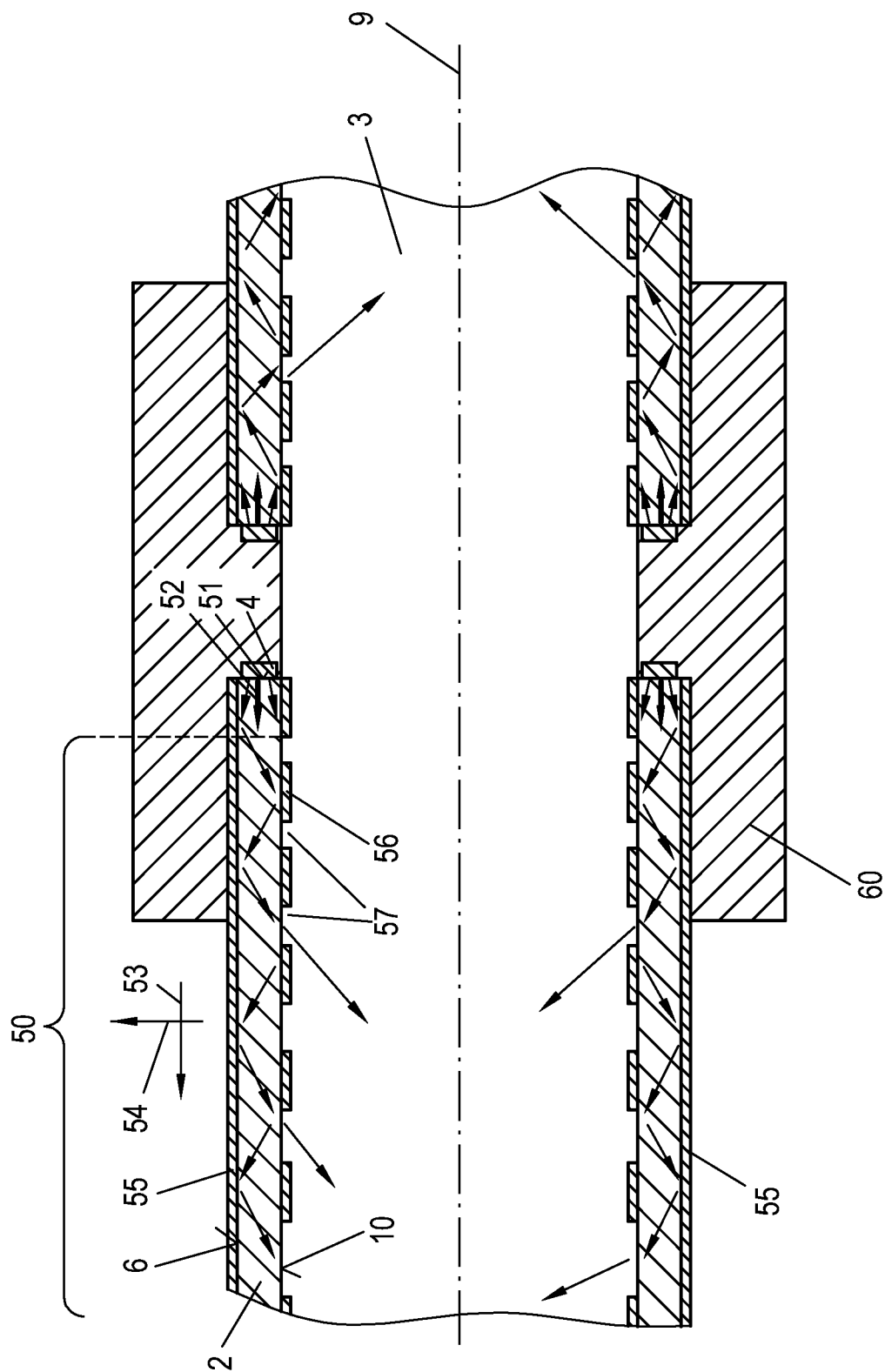


Fig. 5

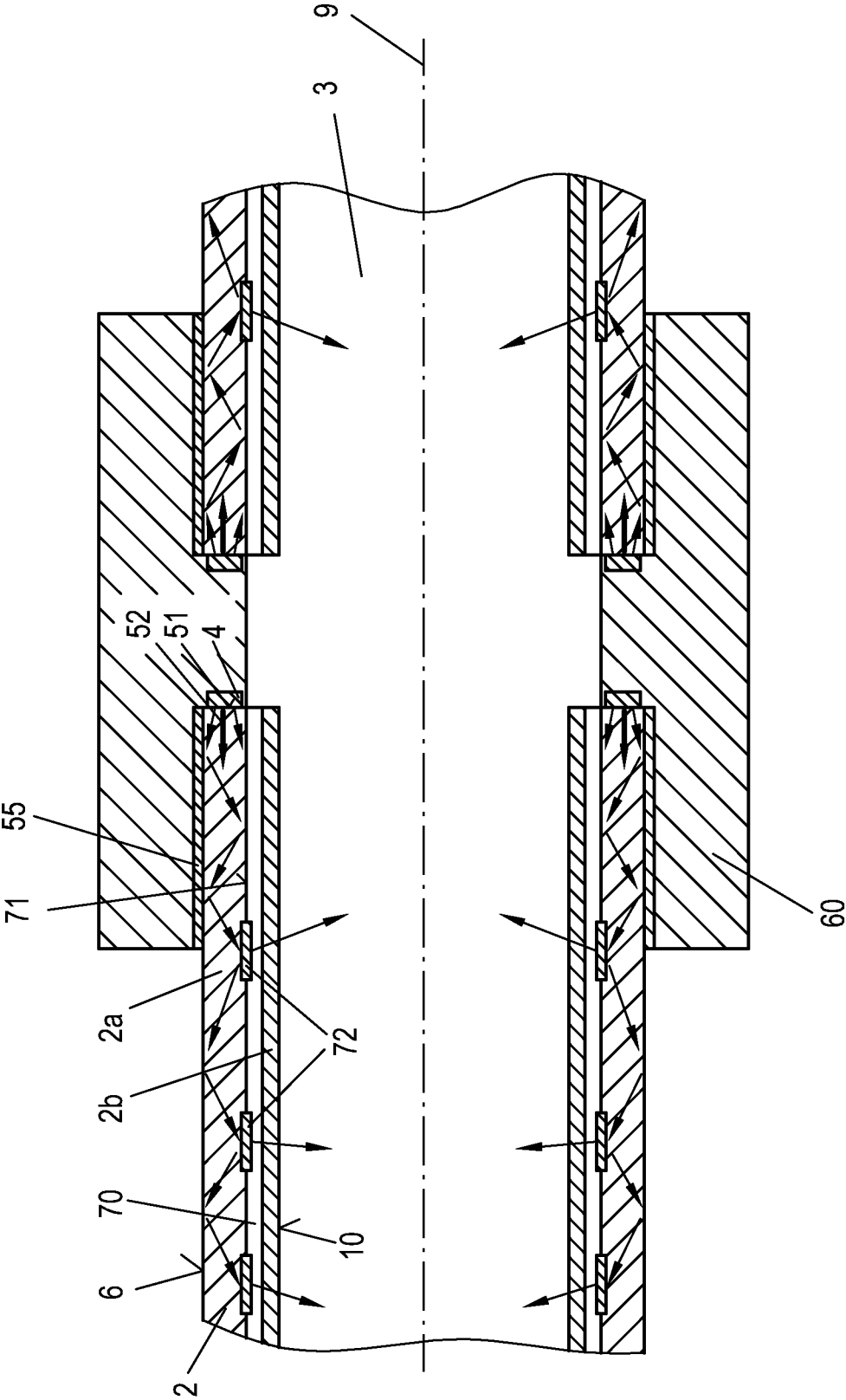


Fig. 7

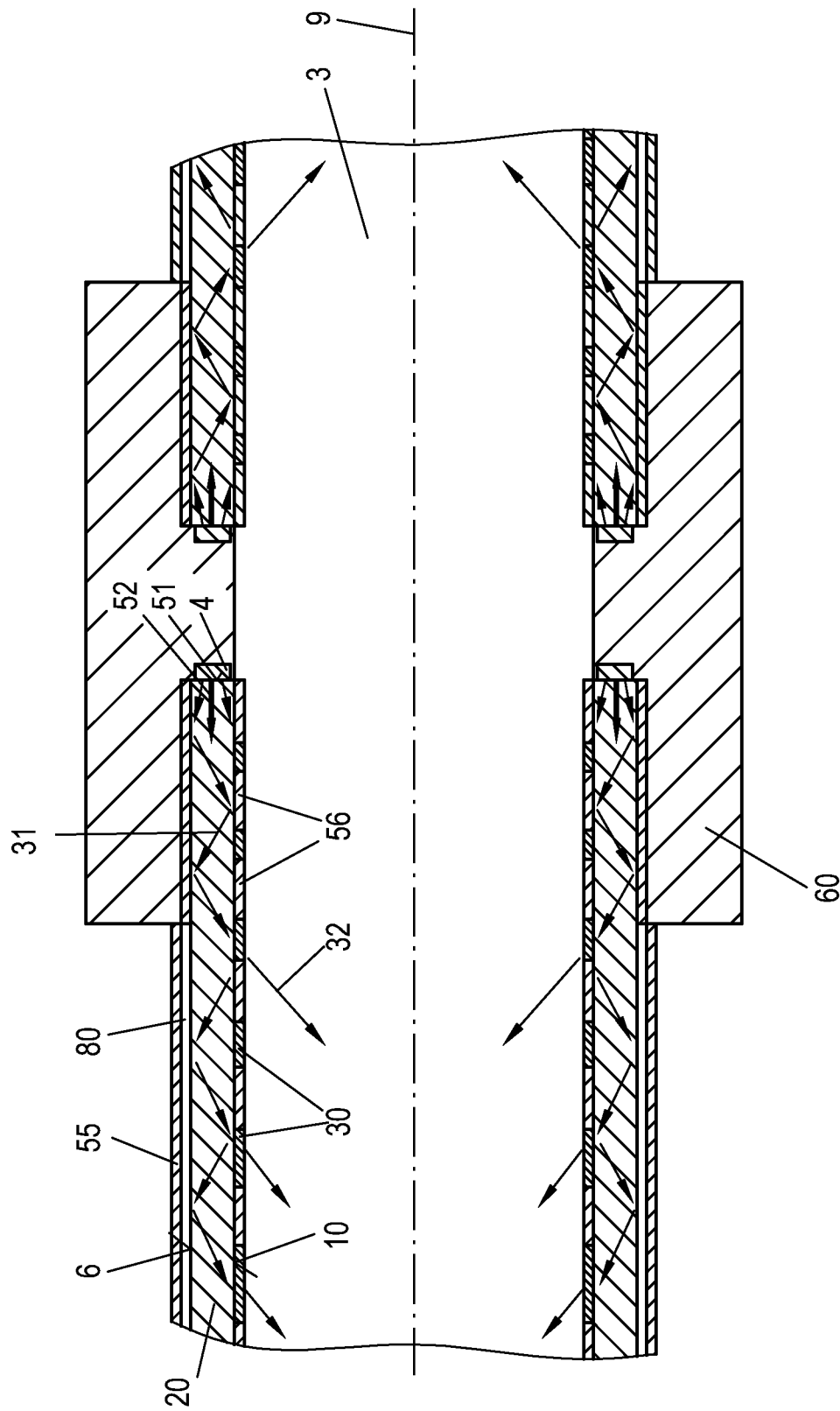


Fig. 8

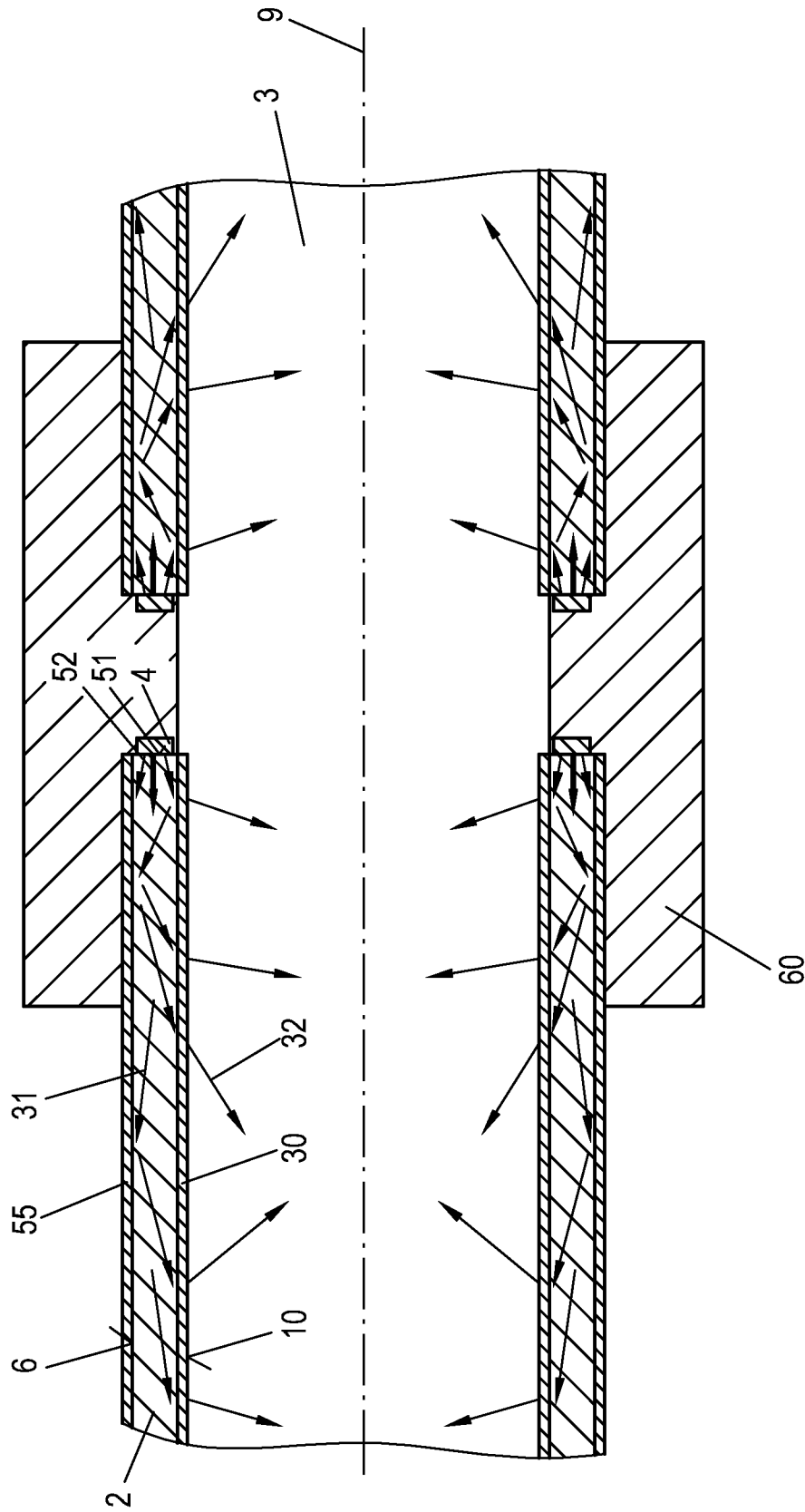


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/071212

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>C12M 1/00</i> (2006.01)i; <i>F21V 8/00</i> (2006.01)i 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; G02B 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 Y	US 2012156762 A1 (CSANYI ISTVAN [HU] ET AL) 21 June 2012 (2012-06-21) column 5, line 20 - line 47; figures 7a,7b column 4, line 53 - column 5, line 8; figures 3,5	1-7,9-12,16-18 13-15
X	DE 102012013587 A1 (OSTWESTFALEN LIPPE HOCHSCHULE [DE]) 16 January 2014 (2014-01-16) the whole document	1,2,8,16,18,19
A	DE 202010006193 U1 (SARTORIUS STEDIM BIOTECH GMBH [DE]) 22 July 2010 (2010-07-22) the whole document	1-19
Y	US 2016319231 A1 (VELATE SURESH [IN] ET AL) 03 November 2016 (2016-11-03) the whole document	13-15
A	US 2017101611 A1 (FRIEDERICH ALAIN [FR] ET AL) 13 April 2017 (2017-04-13) the whole document	1-19
☐ 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 09 November 2018		Date of mailing of the international search report 16 November 2018
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Busuiocescu, Bogdan Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/071212

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2012156762	A1	21 June 2012	NONE			
DE	102012013587	A1	16 January 2014	NONE			
DE	202010006193	U1	22 July 2010	NONE			
US	2016319231	A1	03 November 2016	CN	105899655	A	24 August 2016
				EP	3092300	A1	16 November 2016
				US	2016319231	A1	03 November 2016
				WO	2015105773	A1	16 July 2015
US	2017101611	A1	13 April 2017	AR	086276	A1	04 December 2013
				AU	2012252597	A1	05 December 2013
				BR	112013028481	A2	20 September 2016
				CA	2834929	A1	15 November 2012
				CN	103517978	A	15 January 2014
				EA	201391620	A1	30 April 2014
				EP	2705129	A1	12 March 2014
				FR	2974814	A1	09 November 2012
				HK	1191668	A1	07 October 2016
				JP	5961251	B2	02 August 2016
				JP	2014512832	A	29 May 2014
				KR	20140042812	A	07 April 2014
				TW	201249984	A	16 December 2012
				US	2014073035	A1	13 March 2014
				US	2017101611	A1	13 April 2017
				WO	2012152637	A1	15 November 2012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. C12M1/00 F21V8/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 C12M G02B

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	US 2012/156762 A1 (CSANYI ISTVAN [HU] ET AL) 21. Juni 2012 (2012-06-21)	1-7, 9-12, 16-18
Y	Spalte 5, Zeile 20 - Zeile 47; Abbildungen 7a,7b Spalte 4, Zeile 53 - Spalte 5, Zeile 8; Abbildungen 3,5	13-15
X	----- DE 10 2012 013587 A1 (OSTWESTFALEN LIPPE HOCHSCHULE [DE]) 16. Januar 2014 (2014-01-16) das ganze Dokument	1,2,8, 16,18,19
A	----- DE 20 2010 006193 U1 (SARTORIUS STEDIM BIOTECH GMBH [DE]) 22. Juli 2010 (2010-07-22) das ganze Dokument ----- -/-	1-19

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ 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

9. November 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16/11/2018

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

Busuiocescu, Bogdan

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2016/319231 A1 (VELATE SURESH [IN] ET AL) 3. November 2016 (2016-11-03) das ganze Dokument	13-15

A	US 2017/101611 A1 (FRIEDERICH ALAIN [FR] ET AL) 13. April 2017 (2017-04-13) das ganze Dokument	1-19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/071212

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2012156762 A1	21-06-2012	KEINE	
DE 102012013587 A1	16-01-2014	KEINE	
DE 202010006193 U1	22-07-2010	KEINE	
US 2016319231 A1	03-11-2016	CN 105899655 A	24-08-2016
		EP 3092300 A1	16-11-2016
		US 2016319231 A1	03-11-2016
		WO 2015105773 A1	16-07-2015
US 2017101611 A1	13-04-2017	AR 086276 A1	04-12-2013
		AU 2012252597 A1	05-12-2013
		BR 112013028481 A2	20-09-2016
		CA 2834929 A1	15-11-2012
		CN 103517978 A	15-01-2014
		EA 201391620 A1	30-04-2014
		EP 2705129 A1	12-03-2014
		FR 2974814 A1	09-11-2012
		HK 1191668 A1	07-10-2016
		JP 5961251 B2	02-08-2016
		JP 2014512832 A	29-05-2014
		KR 20140042812 A	07-04-2014
		TW 201249984 A	16-12-2012
		US 2014073035 A1	13-03-2014
		US 2017101611 A1	13-04-2017
		WO 2012152637 A1	15-11-2012