

(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
25. Februar 2016 (25.02.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/026475 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B01J 19/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2014/000422

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. August 2014 (20.08.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder : **MOTHES, Helmut** [DE/DE]; Zum
Hucklenbruch 53, 40764 Langenfeld (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, DE, 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.

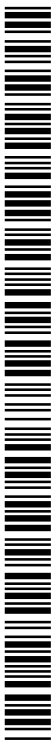
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, 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).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)*



WO 2016/026475 A1

(54) Title: APPARATUS AND PROCESS FOR PREPARING CHEMICAL PRODUCTS AND PROCESS FOR PRODUCING
THE APPARATUS

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG CHEMISCHER PRODUKTE UND
VERFAHREN ZUR FERTIGUNG DER VORRICHTUNG

(57) Abstract: The subject of the invention is an apparatus and a process for preparing chemical products, characterized in that the
basic chemical-physical operations, the supply and removal of the energy and materials and the exchange of the energy and materials
between the basic operations, take place through housing, wall and filling structures that are built up layer by layer and the
properties of which are specifically set.

(57) Zusammenfassung: Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung chemischer Produkte,
dadurch gekennzeichnet, dass die chemisch-physikalischen Grundoperationen, die Zufuhr und Abfuhr der Energie und Stoffe sowie
der Austausch der Energie und Stoffe zwischen den Grundoperationen durch Gehäuse-, Wand- und Füllstrukturen erfolgen, die
Schicht für Schicht aufgebaut und deren Eigenschaften gezielt eingestellt werden.

Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung chemischer Produkte und Verfahren zur Fertigung der Vorrichtung

Beschreibung

Bei der Produktion von Feinchemikalien, Agrochemikalien, Wirkstoffen, Kunststoffen und Spezialitäten kommen als Stand der Technik kostengünstige, standardisierte Apparate zum Einsatz, die aber nur teilweise eine maßgeschneiderte Auslegung erlauben, was zu einer nicht optimalen Ausbeute und Produktivität führt. Des Weiteren lassen sich diese Apparate nicht flexibel an eine veränderte Produktnachfrage anpassen.

Optimale Betriebszustände, die eine bessere Ressourcennutzung (geringerer Rohstoff- und Energieeinsatz) ermöglichen, lassen sich nur mit auf die jeweilige Produktionsaufgabe maßgeschneiderten Apparaten ermöglichen, die komplexe Strukturen mit aufwendig angepassten Einbauten (Misch-, Kühl-, Heizungs-, Verteilungselemente) besitzen (*Stankiewicz, A. M. (2004). Re-Engineering The Chemical Processing Plant*).

Eine bessere Ressourcennutzung erfordert darüber hinaus eine stärkere Integration der Grundoperation über die Material- und Energieflüsse, da nur so beispielsweise eine optimale Wärmerückgewinnung und vollständige Umsetzung bei hohen Selektivitäten möglich ist (*El-Halwagi, M. M. (2012). Sustainable Design through Process Integration*).

Eine flexiblere Betriebsweise lässt sich durch eine Modularisierung der Apparate erreichen, bei der durch ein Hinzufügen, aber auch Demontieren von Modulen eine der Marktnachfrage angepasste Produktion möglich wird.

Intensivierung, Integration und Modularisierung stellen schon heute ein wichtiges Werkzeug der Prozesstechnik dar. Bislang werden aber nur Apparate ausgewählter Grundoperationen intensiviert und modularisiert betrieben. Die Integration der Apparate erfolgt über klassische Wärmetauscher-Netzwerke sowie Stoffstrom-Verschaltungen.

Der Stand der Technik erlaubt bislang aber nur eine „diskrete“ Verknüpfung von Grundoperationen über Wärme- und Stoffströme. So wird beispielsweise die Reaktionswärme eines Rohrreaktors zur Beheizung des Verdampfers einer Destillationskolonne auf bestimmten Temperaturniveaus eingesetzt. Eine optimale Energieausnutzung ergibt sich aber erst dann, wenn die Reaktionswärme mit unterschiedlichen Temperaturniveaus entlang des Rohrreaktors dem Verdampfer und den Trennstufen der Destillationskolonne optimal angepasst zugeführt wird.

Eine derartige optimale Energieausnutzung wäre möglich, wenn der Rohrreaktor und die Destillationskolonne in einer Vorrichtung zusammengefasst werden, um eine lokal, optimierte Wärmeübertragung über kurze Distanzen bei minimalen Temperaturdifferenzen zwischen Reaktorrohr und Destillationskolonne zu ermöglichen. Aufgrund der unkontrollierten Wärmeübertragung über das Gehäuse einer derartigen Vorrichtung war bislang eine derartige Vorrichtung nicht möglich.

Für das gewählte Beispiel Rohrreaktor-Destillationskolonne zeigt sich aber, dass durch den gezielten Einsatz von Gehäuse-, Wand- und Füllmaterialien unterschiedlicher Wärmeleitung eine Vorrichtung mit integriertem Rohrreaktor und Destillationskolonne möglich wird, die

eine maßgeschneiderte Wärmeübertragung im Rohrreaktor-Destillationskolonne-System erlaubt.

Gegenstand dieser Erfindung ist eine intensivierete, integrierte, modulare Vorrichtung zur Herstellung chemischer Produkte, die durch die Auswahl der Materialien und Strukturen von Gehäuse-, Wand- und Füllmaterialien verbesserte und neuartige Eigenschaften besitzt.

Eine derartige Fertigungsvorrichtung ist intensiviert, wenn sie die verfahrenstechnisch relevanten Mechanismen zu Stoff- und Wärmeaustausch durch komplexe, oft mikrostrukturierte Elemente verstärkt.

Sie ist integriert, wenn sie alle effizienzbestimmenden, verfahrenstechnischen Operationen in einer Fertigungsvorrichtung bereitstellt und sie diese Grundoperationen direkt im Fertigungsapparat ohne komplizierte Verrohrung verknüpft.

Sie ist modular, wenn sie alle funktionalen Elemente beinhaltet und damit den modularen Basisbaustein einer anpassbaren Produktion darstellt. Eine derartige Vorrichtung umfasst maßgeschneidert ausgelegte Grundoperationen, material- und energieübertragende Elemente sowie Sensoren und Aktoren.

Derartige modulare, maßgeschneiderte, verschaltete Fertigungsvorrichtungen, die eine intensivierete und integrierte Ausführung von chemisch-physikalischen Grundoperationen erlauben, lassen sich bislang mit klassischen Fertigungsverfahren weder technisch noch wirtschaftlich herstellen.

Die Anwendung des 3D-Printing zur Herstellung einzelner Bauteile, die aufwendig in konventionelle Apparate eingebaut und auf konventionelle Weise verknüpft werden, gehört zum Stand der Technik.

3-Printing (Additive Manufacturing) kann prinzipiell zur Fertigung einer vollständig integrierten, modularen Vorrichtung zur Herstellung chemischer Produkte genutzt werden. Durch die Wahl der Materialien und ihrer Strukturierungen lassen sich im Mikro-Maßstab lokal unterschiedliche Eigenschaften wie Wärmeleitfähigkeit oder Porosität realisieren, die wiederum die Wärme- und Stoffübertragung bestimmen.

3D-Printing (Additive Manufacturing) bietet die Möglichkeit, maßgeschneiderte Strukturen auch bei niedrigen Stückzahlen technisch zu realisieren und kostengünstig herzustellen (*Anderson, C. (2013). Makers*).

Im Folgenden werden die Merkmale einer komplett integrierten Vorrichtung zur Herstellung von chemischen Produkten, das Verfahren zum Betrieb dieser Vorrichtung und die Bedeutung des 3D-Drucks zur Fertigung dieser Vorrichtung erläutert.

Am in Abbildung 1 beschriebenen Reaktor wird zunächst die Bedeutung des 3D-Printing zur Herstellung einer Fertigungseinrichtung, bei der Schicht für Schicht dreidimensional aufgetragen wird, grundsätzlich erläutert. Im Beispiel wird von unten mit dem Gehäusegrundmaterial (1) begonnen. Als erstes werden Schicht für Schicht die Zuführungskanäle (4) für A und B, anschließend der Reaktor (2) (einschließlich der internen Strukturen (3)), der Kühlhohlmantel (5) und abschließend die Produktaustragskanäle (6) im Gehäusegrundmaterial ausgebildet. Der 3D-Druck erlaubt die Fertigung von Kanälen, Hohlräumen sowie komplexen, porösen Strukturen. In diesem Beispiel werden Zu- und Abführung der Rohstoffe und Produkte, Reaktor mit Misch-, Verteil- und Reaktionselementen sowie die Kühlung mit Zu- und Abfuhr des Kühlmittels in einer integrierten Fertigungseinrichtung in einem Fertigungsschritt realisieren. In dieser Fertigungsapparatur

lassen sich Temperaturprofile, Druckprofile und Konzentrationsprofile für die an der Reaktion beteiligten Moleküle optimal einstellen, was bei komplexen Reaktionssystemen für eine maximale Ausbeute unverzichtbar ist.

Schon für dieses einfache Beispiel führt die integrierte Rohstoffdosierung und Kühlung sowie maßgeschneiderte Feinstrukturierung zu vollständiger Vermischung, optimalen Temperatur- und Konzentrationsprofilen und damit maximalen Ausbeuten für eine schnelle, mischintensive, stoffübergangskontrollierte, exotherme Reaktion. So sind im in Abbildung 1 beschriebenen Fertigungsapparat auf die jeweilige Prozessaufgabe zugeschnittene, dreidimensionale Kanäle und poröse Strukturen für Mischen, Verteilen und Reagieren realisiert, die Schicht für Schicht additiv mit Gehäuse/Füllmaterial und Kanälen für Stoff- und Kühlmitteltransport gefertigt werden.

Abbildung 2 zeigt eine mittels 3D-Printing herstellbare Reaktionskolonne (1) mit Trennwand (2). Mittels 3D-Druck lassen sich beliebig komplexe Strukturen erzeugen. In diesem Falle sind dies die Packungseinbauten für die Reaktionszone mit Katalysatorbeschichtung (3) wie die thermischen Trennungszonen, die sich individuell für die verfahrenstechnischen Aufgaben (Austauschfläche, aber auch Druckverluste) auslegen und fertigen lassen (4, 5, 6, 7). Die Vorrichtung beinhaltet auch Verdampfer (8) und Kondensator (9). Diese Vorrichtung ermöglicht grundsätzlich die Durchführung einer Vielzahl von Gleichgewichtsreaktionen (*CIT (2013) 85, No.4, p.550-563*) in einer mittels 3D-Printing realisierten Reaktionstrennwandkolonne.

Die Gleichgewichtsreaktion ($A+B+HB \rightleftharpoons C+D+HB$) wird simultan mit der Trennung der Produkte C und D und der Rückführung der Edukte A und B in die Reaktionszone ausgeführt, wobei für die Siedepunkte $T_C < T_A < T_B < T_D < T_{HB}$ gilt (mit HB als hochsiedender, inerter Verunreinigung).

Auch in diesem Beispiel werden mittels integrierter, in Abbildung 2 nicht gezeigten, aber entsprechend Beispiel realisierbaren Heiz- und Kühlelemente energetisch und ausbeutemäßig bessere Zustände möglich. Auch hier ermöglicht der 3D-Druck eine unerwartete, verfahrenstechnische Verschaltungsvielfalt mit deutlichen Effizienz- und Kostenvorteilen.

Ein weiteres Beispiel für eine effizientere und kostengünstigere Fertigungsapparatur besteht aus einem Reaktor mit integrierter, chromatographischer Aufarbeitung (Abbildung 3). In diesem Fall könnte auch das Adsorptionsmedium (z.B. poröse mit aktiven Zentren versehene Kugeln) (1), der Reaktor zusammen mit den Einbauten (2) und Verteilungselemente (3)) mit dem Gehäusematerial (5) in einem Fertigungsschritt hergestellt werden. Auch die Steuerungsventile lassen sich mittels 3D-Drucks realisieren (4). Auch lassen sich Sensoren zur Messung von Prozessparametern wie Temperatur, Druck und Stoffzusammensetzung in die Bauteile einsetzen.

Das 3D-Printing ermöglicht die wirtschaftliche Fertigung komplexer Strukturen unter Verwendung unterschiedlichster Materialien wie Keramikmaterialien, Metallen und Hochleistungspolymeren. Grundsätzlich lassen sich für die Herstellung des Fertigungsapparats auch verschiedene 3D-Printing-Technologien mit unterschiedlichen Materialien kombinieren, die nicht nur eine Anpassung der Strukturen, sondern auch der Materialien an die Prozessaufgabe erlauben.

Ein derartig feinstrukturierte Fertigungseinrichtung führt zu in klassischen Anlagen- und Apparatekonzepten nicht zu realisierenden, überraschend effizienzsteigernden Konfigurationen, die neue Möglichkeiten der energieeffizienten, rohstoffschonenden Herstellung chemischer Produkte eröffnet. Eine Chemieanlage, auch wenn sie teilweise

mittels 3D-Printing hergestellte Bauteile nutzt, kann eine entsprechende Effizienzsteigerung nicht verwirklichen. Nur integrierte, modulare Fertigungsapparatur führen zu nicht nahe liegenden Verbesserungen. Der grundlegende Vorteil einer integrierten, modularen Fertigungseinrichtung wird nachfolgend an unterschiedliche Grundoperationen umfassenden Beispielen erläutert.

Am Beispiel des Mischens, des Reagierens und des thermischen Trennens wird die Funktionsweise einer durch 3D-Printing herstellbaren, integrierten, modularen Apparatur zur Herstellung einer chemischen Verbindung in 2 Stufen erläutert (Abbildung 4). Diese Apparatur integriert 3 verschiedene Reaktionen – eine erste schnelle Reaktion ($A+B \rightarrow C$) im Rohrreaktor (1), eine zweite Gleichgewichtsreaktion ($C+E \leftrightarrow D+F$) in einer Reaktionskolonne (2) (mit thermischer Aufarbeitung bei $T_D < T_C < T_E < T_F$) und einer dritten Reaktion ($F+G \rightarrow H$) in einem adiabaten, katalytischen Mehrstufen-Reaktor (3).

Neuartige Verbindungselemente ersetzen klassische Verrohrung und Pumpen. Das 3D-Printing ermöglicht die maßgeschneiderte Fertigung aller 3 Reaktoren in einer Apparatur. Das Gehäusematerial (4) wird in der Regel aus schlecht wärmeleitendem Material bestehen. Die der Materialauswahl und der Gehäusegestaltung zugrundeliegende Konzeption wird in den späteren Beispielen mit den Abbildungen 5 und 6 erläutert.

Der Rohrreaktor (1) kann über ein poröses Verbindungselement (6) zur Druckeinstellung mit der Reaktionskolonne (2) verknüpft werden. Die Reaktionskolonne kann entsprechend Abbildung 3 zusätzlich mit maßgeschneiderten Packungen im Reaktionsabschnitt (5) wie auch Wärmetauschern (8) im Verstärkerteil und Abtriebsteil versehen werden, um energetisch das Temperaturprofil zu verbessern. Das Produkt F der Reaktionskolonne wird über ein Verbindungselement (6) mit dem Reaktor für die dritte Reaktion verbunden. Generell lassen sich strukturierte Elemente (6) als Gleichrichter und Druckregulierer einsetzen. Die mit Katalysator beschichteten Elemente (7) dieses Reaktors können für jede Reaktionsaufgabe maßgeschneidert werden. Der adiabatabetriebene Reaktor besteht aus 4 Reaktionsstufen (7) und 4 Kühlern zur Wärmeabfuhr (8). Das 3D-Printing erlaubt weiterhin die energetisch optimale Integration von verschiedenen Verdampfern (9), Wärmetauschern (8) und Kondensatoren (10) sowohl in der Reaktionskolonne (2) als auch dem adiabaten Reaktor (3). So kann das Temperaturprofil in der Destillationskolonne wie auch dem adiabaten Reaktor durch Einbau von beliebig vielen Heiz- oder Kühlelementen energetisch optimal eingestellt werden, was in klassischer Bauweise mit externem Verdampfer, Kondensator und Wärmetauschern nicht möglich ist.

In einem weiteren Beispiel wird die energetisch optimale Wärmerückgewinnung in einer durch 3D-Printing hergestellten, chemischen Fertigungseinrichtung erläutert. Die klassische Wärmerückgewinnung einer aus Reaktion und Separation bestehenden Chemieanlage ist in Abbildung 5a gezeigt, die aus 4 Wärmetauschern, einem Heizelement und einer Kühleinrichtung besteht. Das 3D-Printing erlaubt die wirtschaftliche Herstellung dieser Anlage mit Reaktor (1), Separator (2) und Wärmerückgewinnung (3, 4, 5) in einem Fertigungsschritt. In dieser Vorrichtung (Abbildung 5b) kommen zwei integrierte Kühler (3) und zwei Wärmetauscher (4) zum Einsatz, wobei sich komplexe Apparatestrukturen durch 3D-Printing machen lassen. Durch den Einsatz schlecht wärmeleitender Gehäusematerialien (6) und sehr gut wärmeleitender Füllmaterialien (5) lassen sich auch lokale Wärmeströme zur Wärmeintegration nutzen. Anstelle wärmeleitender Materialien (5) können auch Wärmerohre verwandt werden, wobei diese entweder als Fertigteile in das Gehäuse eingefügt oder im 3D-Printing mit Metalllegierungen im Vakuum direkt gefertigt werden.

In dieser Apparatur können Wärmeverluste durch lange Übertragungsrohre und große wärmeabgebende Flächen ausgeschlossen sowie kleinere, treibende Temperaturgefälle

realisiert werden. Falls die Materialförderung nicht über das Druckprofil innerhalb der Anlage realisiert werden kann, können Materialströme durch in die Fertigungseinrichtung integrierte Pumpen und Gebläse auf höhere Drücke gebracht werden.

Das abschließende Beispiel erläutert das generelle Konzept der Wärmeintegration von multiplen Grundoperationen (z.B. Reaktions- und Destillationssequenzen) in einer integrierten Vorrichtung, die komplett im 3D-Printing hergestellt wird. Die Verwendung unterschiedlicher Materialien kombiniert mit teilweise evakuierten porösen Strukturen und Hohlräumen führt zu lokal einstellbaren Wärmeleitfähigkeiten und erlaubt damit den gezielten Aufbau von Temperaturgradienten und Temperaturzonen. Auf diese Weise kann die Wärmeübertragung ohne Kühl- oder Heizkanäle realisiert werden. Die Zufuhr und Abfuhr der Wärme für die Grundoperationen sowie die interne Übertragung der Wärme zwischen den Grundoperationen erfolgt über die gezielt eingestellte Wärmeleitfähigkeit. Ein Energieverlust durch Wärmeabstrahlung kann so ebenfalls minimiert werden.

In Abbildung 6 wird der Wärmefluss von der Heizquelle (1) über den Reaktor (2) durch 3 Destillationskolonnen (3, 4, 5) ins Kühlwasser (6) schematisch dargestellt. Im Beispiel sind nur die Apparate aber keine Details wie Verdampfer, Kondensatoren und Verknüpfungen gezeigt. Die Heizwärme des Dampfs (1) wird über gutleitende Füllmaterialien (7) dem Reaktor (2) zugeführt. Die Reaktorabwärme wird über gutleitende Füllmaterialien (8, 9, 10) den Verdampfer-Elementen zugeführt. Diese Materialien (8, 9, 10) lassen sich geometrisch wie auch wärmeleittechnisch individuell gestalten, um optimale Temperaturprofile im Reaktor (2) aber auch den Separatoren (3, 4, 5) zu ermöglichen. Über maßgeschneiderte, wärmeleitende Element (11, 12) zwischen den Kolonnen lassen sich optimale Temperaturprofile in den 3 Destillationskolonnen noch weiter beeinflussen. Ähnliches gilt auch für die Wärmeabfuhr ins Kühlwasser mittels entsprechender Elemente (13, 14, 15). Alle Elemente sind in ein sehr schlecht wärmeleitendes Material (16) eingebracht, wobei die Wärmeleitung durch Poren- und Schaumstrukturen oder eingelagerte Hohlräumen weiter beeinflusst werden kann. 3D-Printing-Technologien, die im Vakuum arbeiten und gasundurchlässige Materialien (z.B. Metalle) verwenden, erlauben weiterhin die Erzeugung von gezielt evakuierten Porenstrukturen und Hohlräumen, die die Wärmeleitung weiter reduzieren. Die optimale Positionierung von Energiesenken und Energiequellen kann durch komplexe Optimierungsalgorithmen analog beispielsweise einer logistischen Fabrik-Layout-Gestaltung ermittelt werden. Die mittels 3D-Printing hergestellte Fertigungsapparatur (Fertigungswürfel) besitzt eine energetisch optimierbare, dreidimensionale Temperaturverteilung. Konventionelle Fertigungstechniken können dies nicht oder nur durch aufwendige, letztlich unwirtschaftliche Wärmetauscher-Netzwerke realisieren (Abbildung 6).

Offensichtlich bieten derartig intensiviertere und integrierte Vorrichtungen neuartige, unerwartete Möglichkeiten, um bei der Durchführung physikalischer und/oder chemischer Grundoperationen Ressourcen (Material wie Energie) zu sparen. Derartige Vorrichtungen repräsentieren das Basismodul einer mit weiteren Modulen flexibel erweiterbaren Anlage. Grundsätzlich lassen sich die neuartigen, vorteilhaften Eigenschaften dieser Vorrichtungen zur Herstellung eines chemischen Produkts nur dann realisieren lassen, wenn die Vorrichtung (Details des Designs), die gewählte Fertigungstechnik für die komplex strukturierte Vorrichtung (Details des 3D-Printings) und das Verfahren (Details der Betriebsbedingungen) aufeinander abgestimmt sind. Generell lassen sich die in den Beispielen gezeigten Designs, 3D-Printing-Technologien und Betriebsbedingungen vielfältig kombinieren.

Ansprüche

1. Vorrichtung zur Herstellung chemischer Produkte, dadurch gekennzeichnet, dass die chemisch-physikalischen Grundoperationen, die Zufuhr und Abfuhr der Energie und Stoffe sowie der Austausch der Energie und Stoffe zwischen den Grundoperationen in Gehäuse-, Wand- und Füllstrukturen eingebettet sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zufuhr und Abfuhr der Energie sowie der Austausch der Energie zwischen den Grundoperationen durch Gehäuse-, Wand- und Füllmaterialien unterschiedlicher Wärmeleitung und in Gehäuse-, Wand- und Füllmaterialien eingebettete Kühl- und Heizkreisläufe erfolgen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zufuhr und Abfuhr der Energie sowie der Austausch der Energie zwischen den Grundoperationen durch strukturierte, poröse Gehäuse-, Wand- und Füllmaterialien und in Gehäuse-, Wand- und Füllmaterialien eingebettete Hohlräume und Wärmerohre erfolgen.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zufuhr und Abfuhr der Stoffe sowie der Austausch der Stoffe zwischen den Grundoperationen durch Gehäuse-, Wand- und Füllmaterialien unterschiedlicher Porosität sowie Löslichkeit und Adsorption für die Stoffe und in Gehäuse-, Wand- und Füllmaterialien eingebettete Kanäle erfolgen.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Pumpen, Saugen, Mischen, katalytische und nicht-katalytische Reaktionen, Destillation, Extraktion, Phasenseparation, Absorption, Adsorption, Chromatographie, Trocknung, Gefriertrocknung als chemisch-physikalische Grundoperationen in Gehäuse-, Wand- und Füllstrukturen realisiert werden.
6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Sensoren und Aktoren in Gehäuse-, Wand- und Füllmaterialien eingebettet sind.
7. Verfahren zur Fertigung einer Vorrichtung mit in Gehäuse-, Wand- und Füllstrukturen eingebetteten, chemisch-physikalischen Grundoperationen, Zufuhr und Abfuhr der Energie und Stoffe sowie der Austausch der Energie und Stoffe zwischen den Grundoperationen, dadurch gekennzeichnet, dass Gehäuse-, Wand- und Füllstrukturen Schicht für Schicht hergestellt werden.
8. Verfahren zur Fertigung der Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass diese Schichten mittels 3D-Printing mit Pulvern (Selective Laser Sintering, Selective Laser Melting, Electron Beam Melting), 3D-Printing mit geschmolzenen Materialien (Fused Filament Fabrication (FFF), Fused Deposition Modeling (FDM), Schmelzschichtung), 3D-Printing mit flüssigen Materialien (Stereolithographie/Digital Light Processing), Poly-jet Technologie, Laminier-Verfahren, Thermischen Drucks und Kombinationen dieser Technologien hergestellt werden.

9. Verfahren zur Fertigung der Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass diese Schichten aus Polymeren, Keramikmaterialien, Metallen sowie Metalllegierungen und Kombinationen dieser Materialien hergestellt werden.
10. Verfahren zur Fertigung der Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Porosität der Schichten und Größe der Kanäle durch den Einsatz von ein oder mehreren, herauswaschbaren, auflösbaren, verbrennbaren Materialien eingestellt werden.
11. Verfahren zur Fertigung der Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass diese Schichten in einem oder mehreren Herstellschritten gefertigt werden.
12. Verfahren zur Herstellung chemischer Produkte mit in Gehäuse-, Wand- und Füllstrukturen eingebetteten, chemisch-physikalischen Grundoperationen, Zufuhr und Abfuhr von Energie und Stoffen sowie Austausch von Energie und Stoffen zwischen den Grundoperationen, dadurch gekennzeichnet, dass eine kontinuierlichen Produktion von 1mg/h bis zu 10 ton/h chemischen Produkten erfolgt.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass Drücke zwischen 1 Millibar und 200 bar eingestellt werden.
14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass durch strukturierte, poröse Füllmaterialien sowie externe Pumpen und Gebläse unterschiedliche, lokale Druckniveaus zwischen 1Millibar und 200bar erzeugt werden.
15. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperaturbereich zwischen -150°C und 800°C liegt.
16. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass durch Verwendung von Gehäuse-, Wand- und Füllmaterialien unterschiedlicher Wärmeleitung und Heiz- oder Kühlelementen dreidimensionale, lokale Temperaturprofile zwischen -150°C und 800°C eingestellt werden.

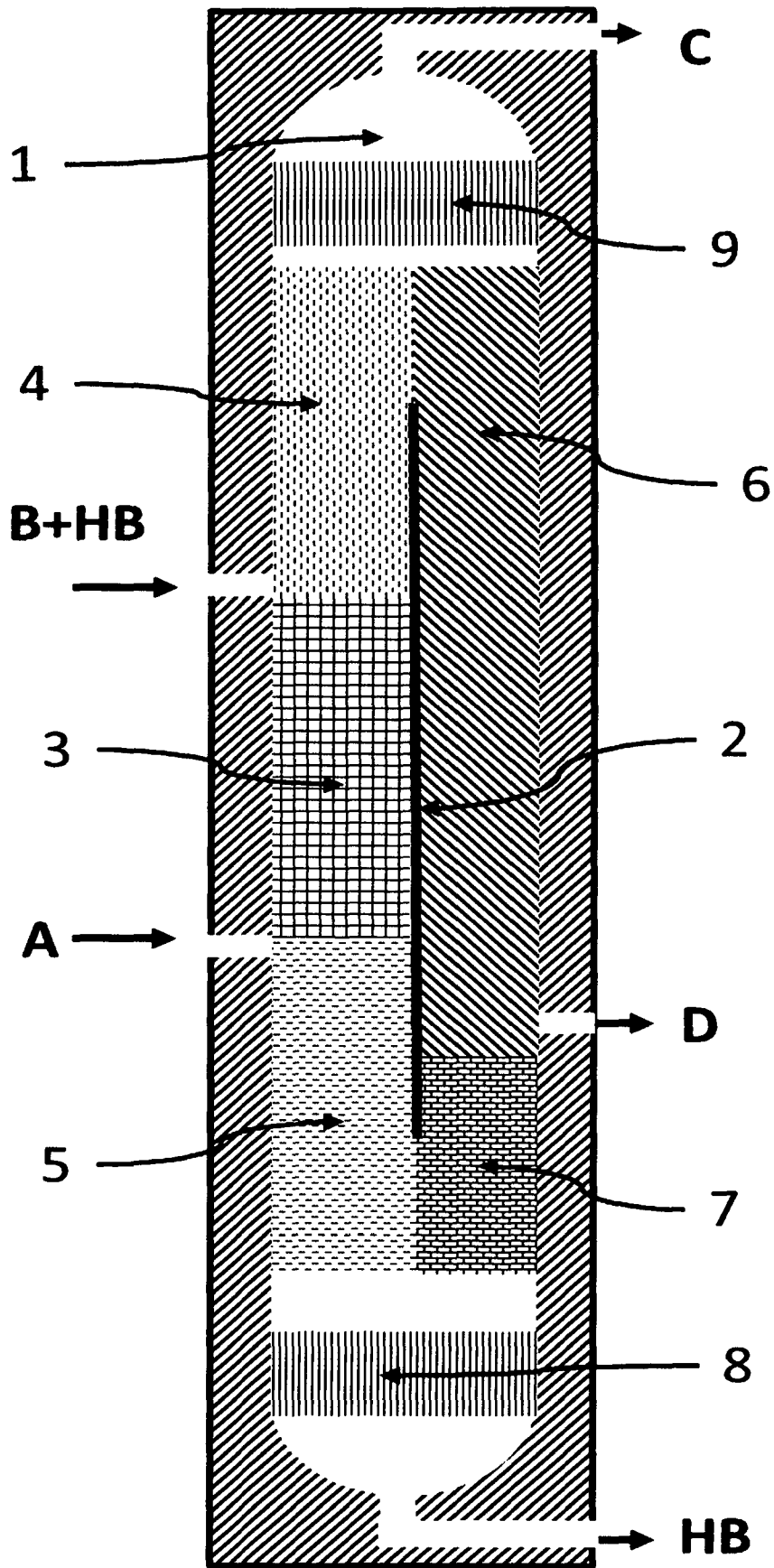


Abbildung 2

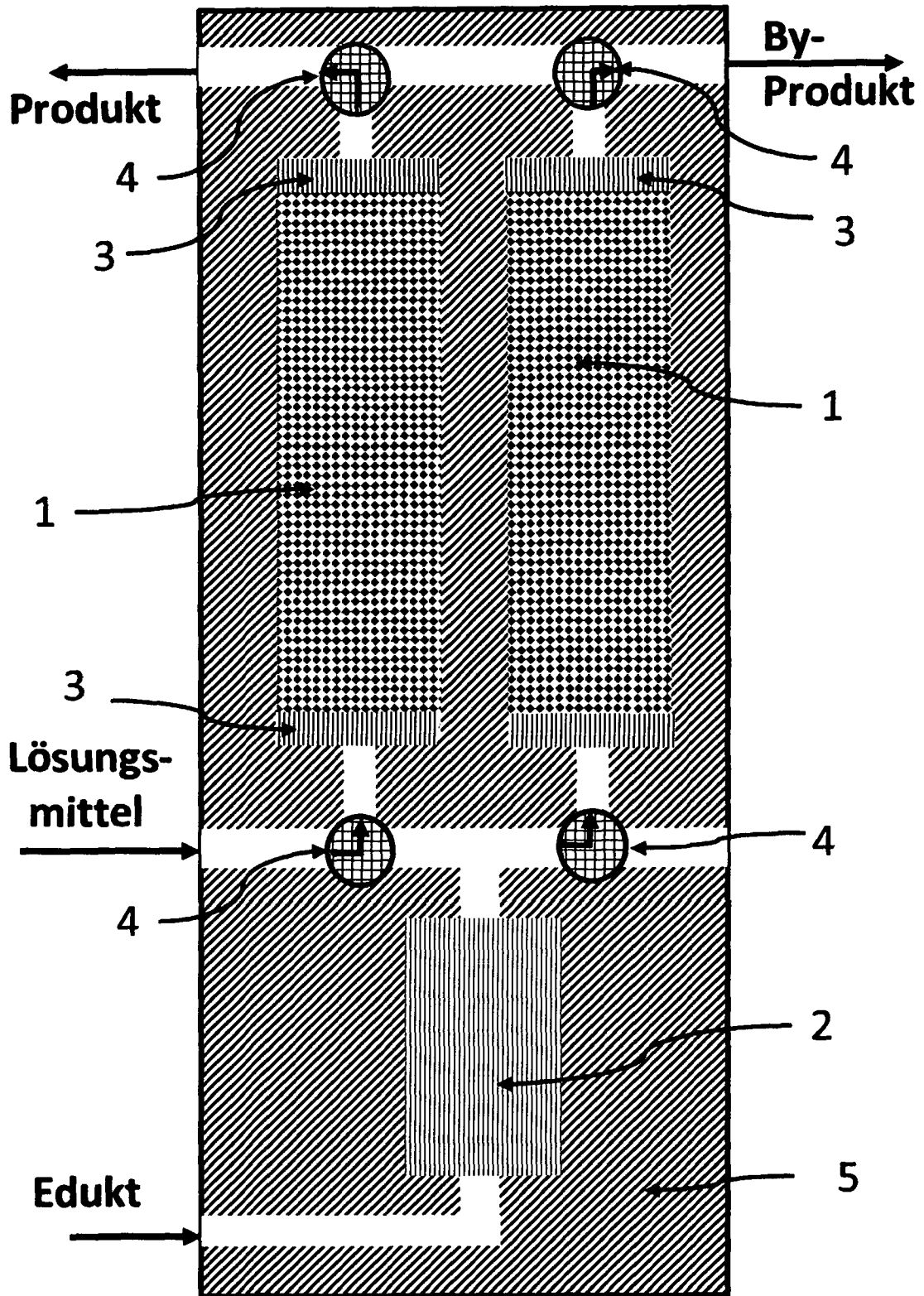


Abbildung 3

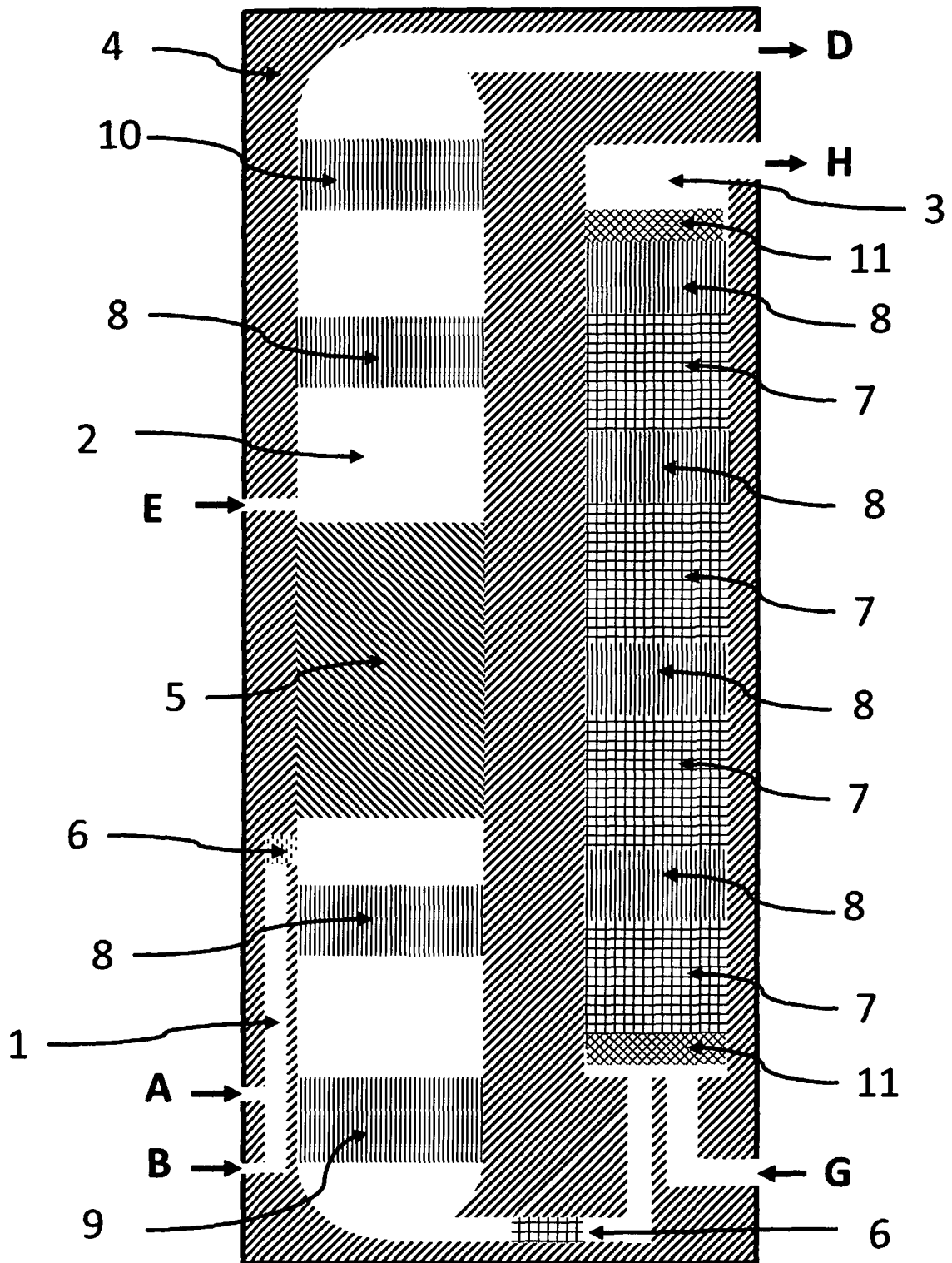


Abbildung 4

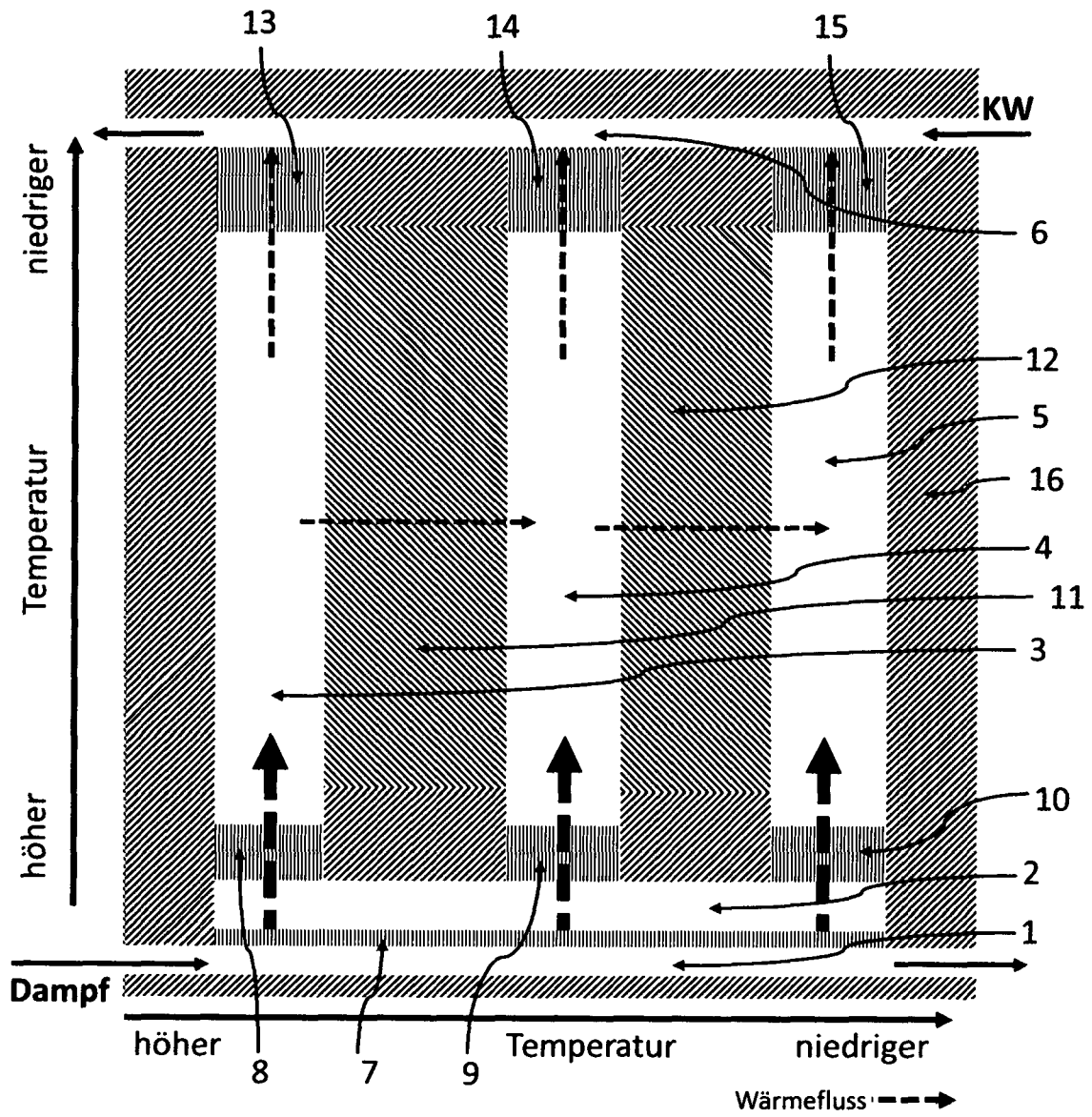


Abbildung 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2014/000422

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B01J19/00
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)
B01J

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, WPI Data

| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|--|--|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| X | WO 2013/050764 A1 (UNIV BRUNEL [GB]) 11 April 2013 (2013-04-11) page 1, lines 3-9 page 4, line 28 - page 5, line 14 page 8, lines 4-16 page 10, line 19 - page 11, line 11 ----- | 1,5-9, 11-13,15 |
| X | US 6 036 927 A (CHATTERJEE DILIP K [US] ET AL) 14 March 2000 (2000-03-14) column 4, line 50 - column 6, line 22; figures 1-6 ----- | 1,3-9, 11-13,15 |
| X | US 2004/025784 A1 (KAWAMURA YOSHIHIRO [JP] ET AL) 12 February 2004 (2004-02-12) paragraphs [0010], [0011], [0042] - [0053]; figures 1-7 ----- | 1,7,11 |

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

4 May 2015

Date of mailing of the international search report

15/05/2015

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

Veronesi, Sergio

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2014/000422

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|------------------|-------------------------|------------------|
| WO 2013050764 A1 | 11-04-2013 | EP 2747884 A1 | 02-07-2014 |
| | | US 2015010445 A1 | 08-01-2015 |
| | | WO 2013050764 A1 | 11-04-2013 |
| ----- | | | |
| US 6036927 A | 14-03-2000 | NONE | |
| ----- | | | |
| US 2004025784 A1 | 12-02-2004 | JP 3979219 B2 | 19-09-2007 |
| | | JP 2004066113 A | 04-03-2004 |
| | | US 2004025784 A1 | 12-02-2004 |
| ----- | | | |

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B01J19/00
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B01J

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| X | WO 2013/050764 A1 (UNIV BRUNEL [GB]) 11. April 2013 (2013-04-11) Seite 1, Zeilen 3-9 Seite 4, Zeile 28 - Seite 5, Zeile 14 Seite 8, Zeilen 4-16 Seite 10, Zeile 19 - Seite 11, Zeile 11 ----- | 1,5-9, 11-13,15 |
| X | US 6 036 927 A (CHATTERJEE DILIP K [US] ET AL) 14. März 2000 (2000-03-14) Spalte 4, Zeile 50 - Spalte 6, Zeile 22; Abbildungen 1-6 ----- | 1,3-9, 11-13,15 |
| X | US 2004/025784 A1 (KAWAMURA YOSHIHIRO [JP] ET AL) 12. Februar 2004 (2004-02-12) Absätze [0010], [0011], [0042] - [0053]; Abbildungen 1-7 ----- | 1,7,11 |



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

4. Mai 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

15/05/2015

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

Veronesi, Sergio

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2014/000422

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| WO 2013050764 A1 | 11-04-2013 | EP 2747884 A1 | 02-07-2014 |
| | | US 2015010445 A1 | 08-01-2015 |
| | | WO 2013050764 A1 | 11-04-2013 |
| ----- | | | |
| US 6036927 A | 14-03-2000 | KEINE | |
| ----- | | | |
| US 2004025784 A1 | 12-02-2004 | JP 3979219 B2 | 19-09-2007 |
| | | JP 2004066113 A | 04-03-2004 |
| | | US 2004025784 A1 | 12-02-2004 |
| ----- | | | |