

(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
17. Februar 2022 (17.02.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/032401 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F28F 9/013 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH2021/050018

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. August 2021 (11.08.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
01018/20 14. August 2020 (14.08.2020) CH

(71) Anmelder: **SULZER MANAGEMENT AG** [CH/CH];
Neuwiesenstrasse 15, 8401 Winterthur (CH).

(72) Erfinder: **STREIFF, Felix**; Oberes Gütli 1, 8457 Humlikon (CH).

(74) Anwalt: **GACHNANG AG PATENTANWÄLTE**; Badstrasse 5 / Postfach, 8501 Frauenfeld (CH).

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

(54) Title: APPARATUS FOR SUPPLYING OR DISSIPATING HEAT, FOR CARRYING OUT REACTIONS AND FOR MIXING AND DISPERSING FLOWING MEDIA

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR ZU- ODER ABFUHR VON WÄRME, ZUR DURCHFÜHRUNG VON REAKTIONEN, UND ZUM MISCHEN UND DISPERGIEREN VON STRÖMENDEN MEDIEN

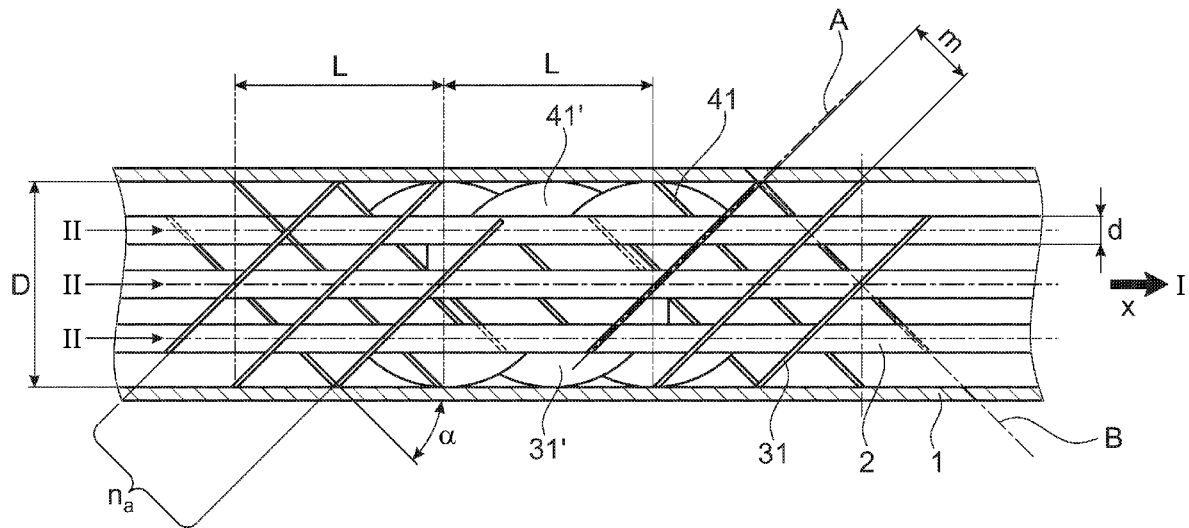


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an apparatus for supplying and dissipating heat, for carrying out reactions and for mixing and dispersing flowing media in a housing (1) with an internal diameter (D) for a medium (I) and comprising internal fittings made up of a bundle of tubes (2) with an external diameter (d) or made up of other elongate elements oriented preferably parallel to the longitudinal axis of the housing and with crosspieces or crosspiece layers (31, 41) installed in a crosswise state between the elongate elements, wherein the crosspieces are inclined in relation to the longitudinal axis of the housing and are not in contact with one another. Following



WO 2022/032401 A1

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

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

a number of axially successive crosspieces, or following a length (L), the crosspieces are installed between the tubes in a state in which they have been turned by preferably 90°. A heat-transfer medium (II) can flow in a co-current or counter-current mode in the tubes, and this results in a mixer/heat exchanger or reactor with an extremely large heat-transfer capacity and almost plug flow.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Zu- und Abfuhr von Wärme, zur Durchführung von Reaktionen und zum Mischen und Dispergieren von strömenden Medien in einem Gehäuse (1) mit einem Innendurchmesser (D) für ein Medium (I) mit Einbauten aus einem Bündel von Rohren (2) mit einem Aussendurchmesser (d) oder anderen länglichen Elementen mit vorzugsweise zur Längsachse des Gehäuses paralleler Ausrichtung und zwischen die länglichen Elementen kreuzweise eingebauten Stegen oder Steglagen (31,41) wobei die Stege zur Längsachse des Gehäuses geneigt sind und sich nicht berühren. Nach einer Anzahl axial aufeinander folgender Stege bzw. einer Länge (L), werden die Stege um vorzugsweise 90° gedreht zwischen die Rohre eingebaut. In den Rohren kann ein Wärmeträgermedium (II) im Gleich- oder Gegenstrom fließen womit ein Mischer-Wärmetauscher oder Reaktor mit ausserordentlich grosser Wärmeübertragungskapazität und nahezu Pfropfenströmung entsteht.

Vorrichtung zur Zu- oder Abfuhr von Wärme, zur Durchführung von Reaktionen, und zum Mischen und Dispergieren von strömenden Medien

5

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Zu- oder Abfuhr von Wärme, zur Durchführung von Reaktionen und zum Mischen und Dispergieren von strömenden Medien in einem Gehäuse mit Einbauten nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Vorrichtung besteht aus einem Bündel von Rohren oder anderen länglichen Elementen mit vorzugsweise zur Längsachse des Gehäuses paralleler Ausrichtung und zwischen die Rohre oder die länglichen Elementen eingeschobenen Stege bzw. Steglagen einer ersten Anordnung die gegen die Längsachse des Gehäuses geneigt sind und mindestens einer zweiten Anordnung von Steglagen wobei der Neigungswinkel der Stege der ersten Anordnung ein entgegengesetztes Vorzeichen aufweisen wie die Anordnung der zweiten Steglagen und sich kreuzen aber nicht berühren. Die Stege werden zwischen die Rohre des Rohrbündels eingebaut und berühren sich nicht. Zwischen den sich kreuzenden Stegen der ersten und der zweiten Anordnung liegt vorzugsweise ein Rohr oder eine Rohrreihe. Das strömende Medium (Produkt) fließt in axialer Hauptströmungsrichtung um die Rohre im Gehäuse. Durch die zu den Rohren bzw. zur Gehäuseachse geneigten, kreuzweise angeordneten Stege wird das strömende Medium zu einer Querströmung um die Rohre gezwungen und gleichzeitig dauernd quervermischt. In den Rohren kann, aber muss nicht, ein Wärmeträgermedium im Gleich- oder Gegenstrom zum Produkt fließen. Als Gehäuse dient vorzugsweise ein rundes Rohr oder der Mantelraum eines Rohrbündel-Wärmetauschers. Die erfindungsgemässe Vorrichtung eignet sich vorzugsweise für laminar strömende Medien, kann aber auch bei turbulenter Strömung eingesetzt werden. Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Durchführung von heterogenen, katalytischen Reaktionen oder zum Stoffaustausch in einem strömenden Medium in einer erfindungsgemässen Vorrichtung.

30

Stand der Technik

Mit der Patentschrift CH 642 564 wurde eine sehr effiziente statische Mischvorrichtung für laminare Strömung bei hochviskosen Produkten bekannt, bei der die Mischelemente aus Gruppen von 6 - 10 sich kreuzenden Stegen bezogen auf die Projektion der Querschnitts

35

bestehen die in sich kreuzenden Ebenen angeordnet sind. Dabei sind die Stege bzw. Ebenen um vorzugsweise 45° zur Strömungsrichtung geneigt und die benachbarten Stege berühren sich an den Kreuzungsstellen. Die Mischelemente haben eine Länge von 0.75 bis $1.5D$ und aufeinander folgende Mischelemente sind um 90° gedreht, in das Gehäuse eingebaut. Speziell für die Verbesserung des Wärmeübergangs in laminar durchströmten Rohren wurde auch eine gestreckte Variante, wie in CH 627 263 beschrieben, mit nur um 30° zur Strömungsrichtung geneigten, sich kreuzenden Stegen die einen geringeren Druckverlustbeiwert, aber natürlich auch eine geringere Misch- und Wärmeaustausch Wirkung hat, bekannt. Diese Mischelemente werden bis heute mit geringen Abweichungen von vielen Anbietern als sogenannte X-Mischer (z.B. SMX, SMXL, KMX, GX, CSE-X, AMX oder UM. Die Aufzählung ist nicht vollständig) angeboten. Sie zeichnen sich aus durch eine sehr gute Mischwirkung, hohe Wärmeübergangs- bzw. Nu-Zahl ($Nu = \alpha D/\lambda$) und ein sehr enges Verweilzeitspektrum. Dabei bedeuten α die Wärmeübergangszahl auf der Produktseite, D (oder auch d) den Rohrdurchmesser und λ die Wärmeleitfähigkeit des Produkts. Die Nu-Zahl ist ausserdem auch bei laminarer Strömung wegen der dauernden Quermischung und Erneuerung der Grenzschicht, im Gegensatz zum leeren Rohr, unabhängig von der Rohrlänge. Die Wärmeübergangszahl α wird bei laminarer Strömung um das $5 - 10$ -fache gegenüber dem leeren Rohr erhöht. Übliche Wärmedurchgangszahlen k bei hochviskosen Stoffen mit diesen Vorrichtungen liegen im Bereich von $150 - 250 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Statische Mischer mit X-Struktur haben das engste Verweilzeitspektrum aller bekannten statischen Mischer. Die gemessene Bodensteinzahl Bo liegt bei $50 - 100 \text{ m}^{-1}$ oder z.B. bei bis zu 200 bei einem Reaktor von 2m Länge (F. Streiff in Wärmeübertragung bei der Kunststoffaufbereitung, S. 241/275, VDI-Verlag, Düsseldorf 1986). Damit wird praktisch eine ideale Pfropfenströmung erreicht ($Bo = \infty$). Die Bodensteinzahl ist ein übliches, dimensionsloses Mass für die Breite der Verweilzeitverteilung bzw. der axialen Rückmischung nach dem Dispersionsmodell ($Bo = vL/D_{ax}$). Dabei bedeuten v die mittlere, axiale Strömungsgeschwindigkeit, D_{ax} den axialen Dispersionskoeffizienten und L die axiale Länge der Vorrichtung. Verglichen mit dem Verweilzeitspektrum des Kaskadenmodells einer Anzahl j von in Serie geschalteten Rührkesseln entspricht $Bo = 2j$. Das Verweilzeitverhalten eines derartigen Reaktors mit $Bo = 200$ ist also vergleichbar mit einer Kaskade von 100 idealen Rührkesseln. Viele Anwendungen für statische Mischer erfordern gleichzeitig eine intensive Quermischung, eine grosse Wärmeübertragungskapazität und ein enges Verweilzeitspektrum. Beispiele sind Reaktoren, insbesondere bei laminarer Strömung wie z. B. Polymerisationsreaktoren. Bei anderen Anwendungen müssen Produkte in kurzer Zeit erhitzt oder gekühlt werden, ohne dass unerwünschte Reaktionen und Produktveränderungen (Polymerisation, Degradation) auftreten. Beim leeren Rohr findet bei laminarer Strömung keine Querströmung zur Wand statt. Das wirkt sich sehr ungünstig auf den Wärmeübergang, die Verweilzeitverteilung und auf die Qualität

der Produkte aus. Bei einigen Anwendungen ist das strömende Medium zusätzlich 2-phasig (gas/flüssig) und die Vorrichtung soll neben dem Wärmeaustausch auch noch eine intensive Vermischung der Phasen und Dispergierung bewirken. Beispiele sind die Erhitzung von Polymerlösungen mit flüchtigen Komponenten oder die Kühlung von Kunststoffschmelzen mit Treibmitteln. Für alle diese Aufgaben ist bei geringen Durchsätzen ein X-Mischer in einem von aussen beheizten oder gekühlten Gehäuse die ideale Lösung. Der Scale-up wird aber bei industriellen Durchsätzen unmöglich weil das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen in einem Rohr mit grösserem Durchmesser sehr rasch abnimmt und die Wärme nicht mehr ausreichend übertragen werden kann. Eine mögliche Lösung dieser Aufgabe ist es, viele Rohre in einem Rohrbündelwärmetauscher parallel zu schalten und Mischelemente in die Rohre einzubauen. Dadurch bleiben die günstigen Eigenschaften der Mischer zwar erhalten aber leider nur in einem Rohr. Von Rohr zu Rohr können sehr grosse Unterschiede des Durchsatzes und der Verweilzeit vorkommen. Diese Gefahr ist besonders hoch, wenn viskose Produkte gekühlt werden sollen oder wenn Polymerlösungen im Wärmetauscher gleichzeitig reagieren und/oder mindestens teilweise entgasen. Durch unterschiedliche Temperaturen und Viskositäten in den einzelnen Rohren kommt es zur sogenannten Maldistribution. Die Maldistribution führt zu einer krassen Ungleichheit der Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur und der Viskosität in den einzelnen Rohren. Das Resultat kann ein Versagen der Vorrichtung oder eine Verminderung der Produktqualität sein.

Durch den verhältnismässig hohen Druckverlustbeiwert der X-Mischelemente müssen die Rohrbündel-Wärmetauschapparate mit kurzen und vielen Rohren gebaut werden. Dadurch werden sie zusätzlich zu den Kosten der Einbauelemente sehr teuer weil die Rohrplatten dick werden und das Volumen der Köpfe sehr gross wird. Bei Produkterhitzern mit teilweiser Entgasung verhindert der Druckverlust der Mischelemente eine frühzeitige Teilentgasung und das Produkt wird dadurch geschädigt oder die vollständige Entgasung behindert. Ein weiterer Nachteil der X-Struktur ist ihre mechanische Schwäche zur Aufnahme der Strömungskräfte. Besonders auf Zug belastet, verhalten sie sich wie ein Scherengitter und werden leicht auseinander gezogen. Aber auch auf Druck belastet, verhalten sie sich wie eine Feder und sind nicht sehr stabil. Als Folge müssen die Stege sehr dick gebaut werden bei hochviskosen Produkten. Das führt zu einer weiteren, starken Zunahme des Druckverlusts. Durch Verstärkungselemente oder durch äussere Ringe wird versucht die Struktur stabiler zu machen.

Mit der Patentschrift DE 28 39 564 wird ein statischer Mischer-Wärmetauscher bzw. Reaktor vorgeschlagen der die Grundidee der X-Struktur aufnimmt aber die Stege durch Rohre ersetzt in denen ein Heiz- oder Kühlmedium fliesst. Dadurch wurde eine Lösung gefunden um die spezifische Wärmeaustauschfläche pro Volumen beim Scale-up vergleichbar wie bei ei-

nem kleinen Gehäusedurchmesser zu halten und gleichzeitig eine ähnliche Mischwirkung und ein ähnliches Verweilzeitverhalten wie bei einem X-Mischer zu erhalten. Die Struktur wird aus sich kreuzenden, mäanderförmig gebogenen Rohrschlangen gebildet. Die Rohre sind ebenfalls vorzugsweise um 45° zur Strömungsrichtung geneigt und übernehmen die Funktion der Stege. Eine Anzahl solcher, sich kreuzender Schlangen, bilden jeweils ein Mischelement und aufeinanderfolgende Elemente werden um 90° verdreht in ein Gehäuse eingebaut. Jedes Element muss mit einem eigenen Sammler für das Wärmeträgermedium ausgerüstet sein. Die Auslegung und der Bau dieser Apparate ist sehr anspruchsvoll und teuer. Um den Aufwand in Grenzen zu halten wird die Elementlänge möglichst lang gewählt, was natürlich die Mischwirkung durch die geringe Anzahl von 90° Drehungen ungünstig beeinflusst. Der Druckverlust auf der Produkt- wie auch auf der Wärmeträgerseite ist sehr hoch. Die Durchflussmenge in den einzelnen Rohrschlangen kann sehr ungleichmässig sein. Das Problem ist besonders gross wenn das Gehäuse aus praktischen Gründen kreisrund, statt wie ursprünglich gedacht, quadratisch ist. Das führt auf der Produktseite zur Gefahr von zusätzlicher Maldistribution. Durch die Wahl des Durchmessers und der Anzahl der Rohrschlangen können auch sehr grosse Reaktorvolumen mit einem grossen Verhältnis von Wärmeaustauschfläche A zu Volumen V bzw. mit einer hohen spezifischen Wärmeübertragungskapazität $(\dot{Q}/V\Delta T) = (kA/V) > 10 \text{ KW/m}^3\text{K}$ unabhängig vom Reaktorvolumen realisiert werden (vergl. S. 265 der oben zitierten Literaturstelle). In den Formeln bedeutet \dot{Q} den übertragbaren Wärmestrom, ΔT mittlere die Temperaturdifferenz zwischen Produkt und Wärmeträgermedium und k die Wärmedurchgangszahl. Dadurch wird der Scale-up vereinfacht und es muss nicht auf parallele Rohre ausgewichen werden. Die Gefahr einer Maldistribution wird dadurch geringer. Die Ausnützung des Volumens mit Wärmeaustauschfläche wird aber begrenzt durch den kleinstmöglichen Biegeradius der Rohrschlangen und den Druckverlust. Auch in diesem Apparat ist die Verweilzeitverteilung vergleichbar eng wie im X-Mischer. Gemessene Bodensteinzahlen liegen ebenfalls bei ca. 60m^{-1} . Die Homogenisierungslänge für die laminare Vermischung ist allerdings bis doppelt so gross wie beim SMX Mischer wegen der runden Form der Stege und wegen den langen Elemente (W. Müller, Chem.-Ing.Tech. 54 1982, Nr. 6). Die Struktur ist ohne zusätzliche Stützelemente nicht einsetzbar für hochviskose Produkte weil sie nicht genügend stabil ist. Gemäss US2004/0125691 wird die Stabilität mit zusätzlichen länglichen Stützelementen verbessert, bleibt aber ein Schwachpunkt und ist aufwändig. Die Apparate haben sich trotz den Mängeln und Schwierigkeiten bewährt und sind bekannt als SMR-Reaktoren und werden häufig eingesetzt als Polymerisationsreaktoren oder Kühler für viskose Produkte z.B. in Faseranlagen oder zur Kühlung von Kunststoffschmelzen.

Mit der Patentschrift EP 1 067 352 wird ein anderer statischer Mischer-Wärmetauscher bzw. Reaktor mit sich kreuzenden Stegen der X-Struktur mit integriertem Rohrbündel vorgeschla-

gen. Die X-Struktur weist nur 4 Stege bezogen auf die Projektion des Querschnitts auf und die Rohre werden durch Bohrungen in den 45° zur Strömungsrichtung geneigten Stegen geführt. Die Stege liegen in sich kreuzenden Ebenenscharen die untereinander einen Winkel von 90° einschliessen. Die Stege berühren sich und sind miteinander und mindestens teilweise mit den Rohren verbunden. Die X-Struktur aus 4 Stegen über den Querschnitt wird
5 zuerst aufgebaut und die Rohre durch die Bohrungen in den Stegen der fertigen Struktur geführt. Der axiale Stegabstand soll 0.2 – 0.4 D sein. Mit der Patentschrift WO 2008/141472 wird eine Modifikation dieser Struktur vorgestellt wobei der axiale Stegabstand zum Durchmesser der Innenrohre < 6 betragen soll. Damit wird eine Verbesserung des Wärmeübergangs erreicht. Wiederum kann durch die Wahl des Durchmessers und der Anzahl der Rohre
10 ein sehr grosses Reaktorvolumen mit einem grossen Verhältnis von Wärmeaustauschfläche zu Volumen, bzw. mit einer hohen spezifischen Wärmeübertragungskapazität wie beim SMR realisiert werden. Der Druckverlust auf der Wärmeträgerseite ist wesentlich geringer als beim SMR und mechanische Limiten durch den Biegeradius entfallen. Das Verweilzeitverhalten
15 dieser Struktur ist gemäss Patentschrift ebenfalls sehr gut und vergleichbar mit den X-Mischern. Die Konstruktion ist allerdings sehr aufwändig und erfordert eine sehr hohe Präzision. Es muss sehr schwer sein alle Bohrungen im Mischer und in der Rohrplatte fluchtend und ohne zu grosse Toleranzen auszurichten. Die mechanische Festigkeit bleibt wie bei der X-Struktur ein Problem.

20

Darstellung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung zur Zu- und Abfuhr von Wärme, zur Durchführung von Reaktionen oder auch als Reaktor für die Fotosynthese und zum Mischen und Dispergieren von strömenden, flüssigen, gasförmigen oder mehrphasigen Medien in einem
25 rohrartigen Gehäuse ohne Maldistribution und mit einer engen Verweilzeitverteilung, vorzugsweise für viskose Produkte, mit einer X-Struktur zu schaffen, die wesentlich einfacher und kostengünstiger als bisher bekannte Vorrichtungen mit dieser Struktur herzustellen ist und die bei Bedarf auch eine hohe Stabilität gegen die Strömungskräfte und einen geringeren Druckverlust, sowohl auf der Wärmeträger- wie auf der Produktseite aufweist. Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Besonders vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist Gegenstand des unabhängigen Verfahrensanspruchs 20.
35

Unter der "Teilung t" oder der "Rohrteilung t" wird insbesondere der Abstand der Rohrmittelpunkte zweier benachbarter Rohre in einer Rohrreihe quer zur Rohr- bzw. Gehäuseachse

oder der Abstand der Mittelpunkte zweier benachbarter länglicher Elemente in einer Reihe quer zur Achse der länglichen Elemente bzw. Gehäuseachse verstanden.

"Quadratische Teilung" bedeutet insbesondere, die Abstände von benachbarten Rohrmittelpunkten in einer ersten Richtung quer zur Rohr- bzw. Gehäuseachse und in einer zweiten Richtung quer zur Rohr- bzw. Gehäuseachse, wobei die zweite Richtung senkrecht zur ersten Richtung steht, gleich sind. Das Gleiche gilt analog für längliche Elemente. Diese quadratische Teilung wird z.B. im VDI-Wärmeatlas, 6. Auflage, 1991, Abschnitt Ob6, Bild 9 dargestellt und beschrieben.

10

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Vorteilhafte Ausführungsvarianten der Erfindung sind in den beigefügten Zeichnungen dargestellt und werden im Folgenden näher erläutert. Dabei zeigen

15

Fig. 1 eine Seitenansicht eines Teils einer Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung mit 9 Rohren und mit 4 sich kreuzenden Stegen bezogen auf die Projektion des Querschnitts in einem aufgeschnittenen Gehäuse

20

Fig. 2 eine Projektion in Strömungsrichtung eines Querschnitts durch eine Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung mit 9 Rohren und 4 Stegblagen in der Projektion des Querschnitts. Die Stege haben die maximale Breite $b = t - d$ und passen zwischen die Rohre.

25

Fig. 3 eine Projektion in Strömungsrichtung eines Querschnitts durch eine Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung mit 21 Rohren bzw. Stäben und 6 Stegen in der Projektion des Querschnitts wobei die maximale Breite der Stege im Bereich der Rohre $b = t - d$ ist und dazwischen sogar abnimmt. Die Stege passen zwischen die Rohre.

30

Fig. 4 eine Projektion in Strömungsrichtung eines Querschnitts durch eine Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung mit 16 Rohren und 5 Stegen in der Projektion des Querschnitts, wobei die Breite der Stege im Bereich der Rohre Ausschnitte aufweisen, und die Stegbreite b kleiner als die Rohrteilung aber grösser als der Zwischenraum benachbarter Rohre ist. In den Achsen der Querschnitte befinden sich keine Rohre. Diese Anordnung ermöglicht U-Rohr Schlaufen.

35

- Fig. 5 eine Projektion in Strömungsrichtung eines Querschnitts durch eine Ausführungsvariante einer erfindungsgemässe Vorrichtung mit 32 Rohren und 7 Steglagen in der Projektion des Querschnitts
- 5 Fig. 6 zeigt die Projektion in Strömungsrichtung eines Querschnitts durch eine Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung wie in Fig. 5 mit nur teilweise genutzten Plätzen für die Rohre oder länglichen Elemente
- 10 Fig. 7 eine Projektion in Strömungsrichtung eines Querschnitts durch eine Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung mit 45 Rohren und 8 Steglagen in der Projektion des Querschnitts, wobei das Vorzeichen der Neigung der Stege jeweils für 2 nebeneinander liegende Steglagen gleich ist (angedeutet durch die Schraffur) und gruppenweise wechselt
- 15 Fig. 8 zeigt die Projektion in Strömungsrichtung eines Querschnitts durch eine Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung, mit ineinander verwobenen Stegen als 90° gedrehte Kreuze
- 20 Fig. 9 Eine perspektivische Darstellung einer Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung mit teilweise auf die Länge L der Mischelemente zugeschnittenen Stegen (31a, 41b). Die Stege haben eine maximale Breite $b > (t - d)$ und umfassen die Rohre teilweise
- 25 Fig. 10 Eine perspektivische Darstellung einer weiteren Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung bei der die Stege in Längsrichtung mindestens teilweise gegeneinander verschoben sind und die Mischelemente axiale Abstände aufweisen
- 30 Fig. 11 Eine perspektivische Darstellung einer weiteren Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung bei der die Stege als 90° gedrehte Kreuze gemäss Fig. 8 ineinander verwoben sind
- 35 Fig. 12 Eine Darstellung von weiteren, möglichen Formen und Querschnitten für Stege und längliche Elemente oder Rohre. Die Darstellung ist nicht abschliessend
- Fig. 13 Perspektivische Darstellung einer möglichen, gitterartigen Verbindung von Stegen zu einer Steglage durch Haltestangen

Fig. 14 Perspektivische Darstellung einer möglichen Variante einer Steglage aus geneigten Stegen die zu einer wellblechartigen Steglage verbunden sind

5 Fig. 15 Das Resultat eines Mischversuchs mit einer erfindungsgemässen Struktur nach Fig. 9 (RWX) im Vergleich zu einem statischen Mischer nach CH 642 564 mit 8 Stegen in der Projektion des Querschnitts

Ausführungsbeispiele

10 Nach der Erfindungsidee besteht die Vorrichtung aus einem vorzugsweise kreisrunden Gehäuse 1 mit einem Innendurchmesser D und einem eingebautem Rohrbündel mit zur Längsachse und zur Hauptströmungsrichtung parallelen Rohren 2 mit einem Aussendurchmesser d . An die Stelle der Rohre können auch andere, längliche Elemente treten. Das Rohrbündel hat vorzugsweise eine quadratische Rohrteilung t . Zwischen die Rohre werden um einen
15 Winkel α , vorzugsweise $\alpha = 30 - 60^\circ$, besonders bevorzugt $\alpha = 45^\circ$ gegen die Längsachse geneigte Stege (31,41) oder Steglagen eingebaut. Der Neigungswinkel der sich kreuzenden Stege (31,41) hat vorzugsweise ein entgegengesetztes Vorzeichen und die in axialer Richtung aufeinander folgenden Stege einer Steglage zwischen den Rohren, sind vorzugsweise parallel zueinander und weisen vorzugsweise alle den gleichen Abstand m auf. Zwischen
20 den sich kreuzenden Stegen liegt vorzugsweise ein Rohr oder eine Rohrreihe, aber es ist auch möglich, dass der Neigungswinkel der Stege auf beiden Seiten eines Rohres oder einer Rohrreihe das gleiche Vorzeichen hat, und dass der Wechsel des Vorzeichens erst nach mehreren benachbarten Stegen bzw. Steglagen erfolgt. Die Stege der Steglagen liegen in Querrichtung vorzugsweise hintereinander in parallelen, sich kreuzenden Ebenen A, B mit
25 dem Neigungswinkel α zur Längsachse. Alle Stege haben vorzugsweise den gleichen Neigungswinkel α . Es ist aber auch möglich, dass die Stege bzw. die Steglagen gegeneinander axial beliebig versetzt sind und/oder dass die senkrechten Abstände m der Stege oder auch der Neigungswinkel innerhalb einer Steglage, oder von Steglage zu Steglage, verschieden sind. Die Stege liegen dann in Querrichtung nicht mehr in gemeinsamen Ebenen hinterei-
30 nander. Die Stege haben eine Breite b und diese Breite ist kleiner oder höchstens gleich gross wie die Rohrteilung t . Die Stege stehen mit ihrer Breite b vorzugsweise senkrecht zu den Rohren. Es ist aber auch möglich die Stege mit ihrer Breite mit einer Neigung zu den Rohren einzubauen. Die Stege können, aber müssen nicht, bis ganz an die Gehäusewand reichen oder sie können diese auch nur punktuell berühren. Das strömende Medium (I) bzw.
35 das Produkt fliesst im Gehäuse bzw. im Mantelraum des Rohrbündels um die Rohre bzw. länglichen Elemente und in den Rohren kann, aber muss nicht ein Wärmeträgermedium (II) im Gleich- oder Gegenstrom fließen. Jeweils eine Anzahl n_a in axialer Richtung aufeinander folgender Stege bilden eine Steglage und alle Steglagen in einem Querschnitt innerhalb der

Länge L bilden ein Mischelement. Die Steglagen aufeinander folgender Mischelemente werden um 90° gedreht zwischen die Rohre eingeschoben. Die Länge L beträgt vorzugsweise 0.5 bis $4D$. Ein auf die Länge zugeschnittenes Mischelement besteht aus Stegen der vollen Länge (31, 41) und abgeschnittenen Stegen (31a, 41b). Vorzugsweise haben die Stege für
5 einen niedrigen Druckverlust eine geringere Breite b als die Rohrteilung t , und besonders einfach wird deren Einbau wenn die max. Breite höchstens $b = t - d$ beträgt (Fig. 2 und Fig.3). Breitere Stege haben Aussparungen (Fig. 4) für den Durchtritt der Rohre und können ebenfalls einfach in bestehende Rohrbündel eingebaut werden, wenn sie beim Einbau leicht schräg gestellt werden. Durch breitere Stege wird die Kontaktlinie zu den Rohren vergrößert. Dies wirkt sich günstig auf die Festigkeit der Struktur und den Wärmeübergang aus,
10 wenn die Rohre mit den Stegen verbunden sind. Selbstverständlich müssen nicht alle Stege einer Vorrichtung dieselbe Breite und Form haben. Fig. 9 zeigt eine Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung ohne Gehäuse in perspektivischer Darstellung mit einem Rohrbündel aus 9 Rohren und Mischelementen der Länge $L = D$ mit 4 Stegen im
15 Querschnitt. Die Stege in dieser Ausführungsvariante sind leicht breiter als der freie Zwischenraum zwischen den Rohrreihen und haben eine maximale Breite $b > (t - d)$. Die Stege müssen nicht unbedingt auf die Länge L zugeschnitten sein sondern die Stege der Steglagen können in das folgende Element hineinragen solange kein Konflikt mit den nachfolgenden, 90° gedrehten Stegen erfolgt oder die Mischelemente können abstandsweise eingebaut sein
20 wie Fig. 10 zeigt. An sich wäre eine häufige Drehung 90° der Stegausrichtung erwünscht für die Quermischung und den Wärmeübergang an die Rohre. Bei zu kurzer Länge L wird jedoch der Transport über den ganzen Querschnitt ungenügend und die Konstruktion wird aufwändiger. Bei einer zu geringen Anzahl 90° Drehungen andererseits, vermindert sich die Quermischung.

25
Überraschend bietet die erfindungsgemässe Vorrichtung noch eine weitere, bisher nicht bekannte Art der Steganordnung an wie in Fig. 8 und Fig. 11 dargestellt. Hier werden die Stege (31,41) und die 90° gedrehten Stege (31',41') in einem Element ineinander verwoben zwischen die Rohre 2 eingeschoben. Es entsteht so ein Element das gleichzeitig in zwei Quer-
30 richtungen mischt. Alle aufeinander folgenden Elemente sind gleich aufgebaut. Die Elemente können abstandsweise oder soweit wie möglich ineinander verschachtelt eingebaut werden. Die typische 90° Drehung von Einzelementen entfällt und es entsteht eine einheitliche Struktur.

35 Vorzugsweise sind alle Mischelemente innerhalb einer erfindungsgemässen Vorrichtung gleich und mit gleichen Stegabständen aufgebaut. Für besondere Aufgaben wie z.B. für lokal dispersives Mischen, oder für lokal erhöhten Wärmeübergang oder Stoffaustausch, kann es jedoch erforderlich sein, dass z.B. der axiale Abstand m der Stege, die Stegbreite b oder die

Mischelementlänge L einzelner Mischelemente oder Mischelementgruppen innerhalb einer Vorrichtung enger bzw. kleiner gewählt werden soll. Zur Erzielung einer hohen Stabilität können die Stege an allen oder nur an einem Teil der Kreuzungsstellen mit den Rohren durch Schweissen, Löten oder Kleben verbunden werden. Die Stege müssen aber nicht notwendigerweise mit den Rohren verbunden sein wenn dies aus praktischen Gründen nicht erwünscht ist, und Gruppen von Stegen oder Steglagen können untereinander durch Abstandshalter und zusätzliche Stützen verbunden sein. Schliesslich können die Stege einer Lage auch durch Bleche verbunden werden und geneigt sein. Dann können die Steglagen die Form eines Wellblechs annehmen. In Fig. 2 sind als Variante gerade Stege der Breite $b = t$ dargestellt während in Fig. 4 die Stege in einer weiteren Ausführungsform breiter sind mit Aussparungen für die Rohre. Die Breite der Stege kann über deren Länge variabel sein, und die seitlichen Begrenzungen können eine geschweifte Form aufweisen, wie als weitere Variante die Fig. 3 zeigt. Dabei beträgt die grösste Breite maximal $b = t$. In den Figuren 2 bis 8 werden die unterschiedlichen Neigungswinkel der sich kreuzenden Stege durch deren unterschiedliche Richtung der Schraffur angezeigt. Aus Gründen der einfacheren Darstellung wird im Folgenden von „Rohren“ oder „Rohrbündeln“ gesprochen in denen vorzugsweise ein Medium zur Zu- oder Abfuhr von Wärme fliesst, wobei an deren Stelle bei Bedarf auch andere, längliche Elemente, auch ohne Wärmeträgermedium, wie Stäbe, Profile, Heizstäbe, stabförmige Leuchtmittel oder Rohre mit einer semipermeablen oder porösen Wand treten können. Die Anwendbarkeit der Erfindung ist ausserdem nicht auf metallische Werkstoffe beschränkt. Die Stege sind vorzugsweise flache, plattenförmige Profile aus Blech oder auch U- oder V-förmige Profile oder Rohre oder Hohlprofile oder Stäbe. Schliesslich kann die Oberfläche der Stege auch strukturiert sein. Fig. 12 zeigt eine Auswahl von möglichen Profilformen die sowohl als Stege, wie auch als längliche Elemente eingesetzt werden können.

25

Mögliche Herstellverfahren

Die Herstellung der erfindungsgemässen Vorrichtung für ausbaubare Rohrbündel ist sehr einfach. Die Stege oder Stegruppen können in die fertigen Rohrbündel eingeschoben werden. Dies trifft besonders dann zu, wenn die Stegbreite überall kleiner als $t - d$ ist und die Stege nur an den von aussen zugänglichen Stellen mit den Rohren verbunden werden. Aber auch breitere Stege bis $b = t$, können einfach einzeln zwischen die Rohre der fertigen Rohrbündel eingebaut werden durch entsprechende Neigung beim Einbau. Erst wenn die Stege auch an von aussen nicht zugänglichen Stellen mit den Rohren verbunden werden sollen, ist die Einführung der Stege beim Aufbau des Rohrbündels notwendig. Vorzugsweise werden die Stege in U-Rohr Bündel eingebaut weil die Vorrichtung dadurch ausbaubar wird und keine Wärmespannungen auftreten können. In diesem Fall befinden sich keine Rohre in den

30

35

Hauptachsen des Gehäusequerschnitts. Nachteil dieser Anordnung ist, dass keine richtige Gegenstromführung zum Wärmeträgermedium möglich ist.

5 Beim Bau von Wärmetauschern mit festen Rohrböden und Leitblechen ist es üblich die Leitbleche zuerst im Mantel einzubauen und am Schluss die Rohre einzuziehen. Diese Herstellmethode kann auch für die erfindungsgemässen Vorrichtungen angewandt werden. Dazu werden die Stege nur mit einer Anzahl länglicher Elemente verbunden, so dass eine stabile Struktur gebildet wird die dann, wie die üblichen Leitbleche, in den Mantel der Vorrichtung eingebaut werden kann. Die restlichen Rohre werden am Schluss an den vorgesehenen Plätzen durch den Rohrboden und die X-Struktur geschoben. In diesem Fall sind die
10 Rohre, mit Ausnahme der stützenden Elemente, nicht mit den Stegen verbunden. Neben den erwähnten Herstellungsmethoden ist es auch möglich die ganzen Einbauten und Rohre oder länglichen Elemente durch einen 3D-Drucker als monolithisches Bauteil herzustellen, wenn es die Abmessungen und das Material zulassen. In einer weiteren Herstellvariante werden
15 die Einbauten in einem 3D Drucker aus einem leicht schmelzbaren Material hergestellt und mit einer meist keramischen Masse überzogen. Dann wird das Material im Innern der ausgehärteten Form ausgeschmolzen und es bleibt eine Gussform übrig die mit flüssigem Metall (Feinguss) oder einem aushärtenden Harz ausgegossen wird.

20 Weitere Ausführungsbeispiele

Die Anzahl und Grösse der zur Längsachse parallelen Rohre richtet sich nach dem erforderlichen Verhältnis von Austauschfläche zu Volumen der Vorrichtung bzw. nach der erforderlichen spezifischen Wärmeübertragungskapazität ($\dot{Q}/V\Delta T = (kA/V)$), oder wenn keine Wärme
25 übertragen werden soll, nach der erforderlichen Abstützung und Stabilität der Stege und der Struktur. Die spezifische Austauschflächen (A/V) bei erfindungsgemässen Reaktoren liegt bei $> 50 \text{ m}^2/\text{m}^3$ und kann bis $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ betragen. Die spezifische Wärmeübergangskapazität der erfindungsgemässen Reaktoren bei hochviskosen Produkten kann über $100 \text{ kW}/\text{m}^3\text{K}$ erreichen. Beispielsweise bei stark exothermen Polymerisationsreaktionen kommt es zur
30 Bildung von Hot-spots und zu Runaway Reaktionen wenn die spezifische Wärmeübergangskapazität des Reaktors nicht genügend gross ist. Dadurch können diese Reaktionen nur in Rohrreaktoren mit kleinem Durchmesser beherrscht werden. Die erfindungsgemässen Reaktoren entsprechen bezüglich Wärmeübergangskapazität, Mischverhalten und Verweilzeitverteilung, Rohrreaktoren mit X-Mischelementen mit einem Rohrdurchmesser von 10 mm
35 ($A/V = 400 \text{ m}^2/\text{m}^3$) bis 80 mm ($A/V = 50 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Im Gegensatz zu diesen Rohrreaktoren ist bei den erfindungsgemässen Reaktoren die spezifische Austauschfläche und die spezifische Wärmeübertragungskapazität weitgehend unabhängig vom Reaktor- oder Apparatevolumen wählbar. Dadurch wird der Scale-up besonders leicht. Beispielsweise Polymerisationsreakti-

onen verlaufen stark exotherm und bei höheren Viskositäten. Damit diese sicher beherrscht werden können bei enger Molekulargewichtsverteilung, sind Apparate wie die erfindungsgemässe Vorrichtung notwendig. Durch die sehr hohe spezifische Wärmeübertragungskapazität und das enge Verweilzeitspektrum, können die Polymerisationsreaktionen praktisch isotherm bei geringen Temperaturdifferenzen kontrolliert werden. Da die Reaktion und der Wärmeübergang in einem Gehäuse mit dauernder Quermischung stattfindet, kann sich eine Maldistribution nicht ausbilden. Resultate aus Pilotversuchen mit kleinen Rohrreaktoren mit X-Mischelementen werden mit Hilfe der erfindungsgemässen Vorrichtung mit vergleichbarem Misch- und Verweilzeitverhalten, einfach skalierbar bis zum industriellen Massstab.

Die Rohrteilung wird vorzugsweise gleichmässig über den ganzen Querschnitt gewählt. Bei einer quadratischen Rohrteilung ist der Aufbau besonders einfach, da die Bauteile aller Mischelemente gleich sind. Es ist auch möglich dass die Teilungen in beiden Querrichtungen und die Stegbreiten der um 90° gedrehten Gruppen unterschiedlich sind oder örtlich abweichen. Es ist aber auch möglich die Teilung örtlich verschieden zu wählen, oder einzelne oder Gruppen von Rohren wegzulassen, oder anstelle von Rohren für den Wärmeaustausch ganz oder teilweise Rohre oder längliche Elemente mit anderen Eigenschaften wie Leuchtelemente oder Elemente mit semipermeablen oder porösen Wänden oder einfach Rohre oder Stäbe ohne Wärmeträgermedium oder andere längliche Profile zur Verstärkung der Struktur an den vorgesehenen Rohrplätzen einzusetzen, wenn es die erforderliche Wärmeübertragungskapazität zulässt. Die Anzahl der Stege n_b in der Projektion auf die Querschnittsfläche entspricht $n_b = r_m + 1$ wobei r_m die Anzahl Rohre in der Rohrreihe in oder nahe der Querschnittsachse ist. Im Gegensatz zu den bekannten X-Mischern steigt damit die Anzahl der Stege mit zunehmender Anzahl Rohre und/oder Gehäusedurchmesser an. Überraschend hat sich gezeigt dass die Anzahl der Stege in Querrichtung auf den Druckverlust nur einen geringen Einfluss hat. Auch die Mischwirkung ist sehr gut, sofern die Anzahl der Stege mindestens $n_b = 4$ beträgt und steigt ab $n_b = 8$ kaum noch weiter an. In Fig. 5 wird eine Ansicht in Strömungsrichtung für eine Ausführungsvariante einer erfindungsgemässen Vorrichtung mit 32 Rohren und 7 Stegen über den Querschnitt gezeigt.

Bei vielen praktischen Anwendungen der erfindungsgemässen Vorrichtungen muss das strömende Medium nur statisch gemischt oder dispergiert werden, ohne dass gleichzeitig Wärme zu- oder abgeführt, oder das Produkt temperiert werden muss. Es können dann Rohrplätze teilweise nicht besetzt werden und/oder die Rohre werden ganz oder teilweise durch volle Profile ersetzt die als Verstärkung für die Struktur dienen. Dadurch entstehen statische Mischer mit sehr hoher Stabilität gegen die Strömungskräfte wie sie z.B. bei der Extrusion oder beim Spritzguss von zähen Kunststoffschmelzen auftreten.

Fig. 6 zeigt eine Variante wie Fig.5 bei der nicht alle möglichen Rohrplätze belegt sind und bei der einige Rohre durch volle Stäbe oder Profile ersetzt werden. Fig. 12 zeigt eine Auswahl möglicher Formen von länglichen Elementen. Die Auswahl ist nicht vollständig. Diese länglichen Elemente können sowohl axial anstelle von Rohren 2, wie auch geneigt dazu als alternative Formen von Stegen (31,41), verbaut werden. Axial aufeinander folgende Stege 5 31 können durch Hilfselemente 5 zu einer Steglage verbunden und zwischen die Rohre eingeschoben werden wie Fig. 13 zeigt. Als Verbindung sind auch Bleche möglich die geneigt sind und die Steglage wird zu einer wellblechartigen Struktur wie in Fig. 14 gezeigt.

10 Die zur Gehäuseachse geneigten, sich kreuzenden Stege oder Profile sorgen für eine intensive Quermischung und Querströmung und verbessern den Wärme-und Stoffaustausch an die Rohre. Der senkrechte Abstand m der in Strömungsrichtung folgenden Stege ist ein bestimmendes Mass für den Druckverlust der erfindungsgemässen Rohrbündelstruktur weil dadurch die benetzte Oberflächen der Einbauten im Reaktor wesentlich beeinflusst wird.

15 Deshalb soll der Abstand m möglichst gross, vorzugsweise 0.2 bis $0.4D$ gewählt werden wenn nur eine gute Quervermischung ohne oder mit geringem Wärmeaustausch erforderlich ist. Es wird erwartet, dass für den Wärmeübergang an die Rohre eine häufigere Kreuzung der Rohre mit den Stegen und eine häufige Drehung der Stegrichtung günstig ist. Bei laminarer Strömung wurde gefunden, dass die Wärmeübergangszahl oder der Stoffaustausch an 20 die Rohre stark ansteigt wenn das Verhältnis $m/d < 4$ beträgt. Mit geringerem Abstand m steigt aber auch der Druckverlust der Vorrichtung. Der optimale Abstand m oder der optimale Durchmesser d der Innenrohre und die optimale Rohrteilung t , hängen deshalb von den spezifischen Erfordernissen der Anwendung ab.

25 **Versuchsergebnisse**

In einem Mischversuch mit aushärtendem Polyesterharz wurde eine erfindungsgemässe Vorrichtung mit einem Bündel von 9 Rohren und jeweils 4 eingeschoben und sich kreuzenden Stegen bezogen auf die Projektion in Strömungsrichtung eines Querschnitts gemäss 30 Fig. 9 durchgeführt. Die Elementlänge L bis zu einer 90° Drehung betrug $1D$ und die maximale Breite der Stege b betrug 60% der Rohrteilung t . Das Resultat wurde verglichen mit einem X-Mischer nach dem Stand der Technik gemäss CH 642 564 mit 8 Stegen bezogen auf die Projektion in Strömungsrichtung eines Querschnitts und gleichem axialen Stegabstand m der Stege, gleicher Elementlänge und gleichem Neigungswinkel der Stege. Die 35 ausgehärteten Mischerstangen wurden jeweils nach $1 D$ Länge aufgeschnitten und die maximale Dicke l einer Schicht als Mischgütemass herausgemessen und mit der Anfangsdicke l_0 verglichen. Diese Messmethode ist sehr einfach und effizient zum Nachweis des Mischvorgangs und der Mischgüte in statischen Mixern bei laminarer Strömung, besonders im

Anfangsbereich der Vermischung. Das Resultat der Mischversuche zeigt Fig. 15. Überraschend wird in der erfindungsgemässen Vorrichtung mit nur 4 Stegen nahezu dieselbe maximale Schichtdicke (Mischgüte) erreicht wie im statischen Mischer nach dem Stand der Technik mit 8 Stegen! Die benetzte Stegoberfläche der erfindungsgemässen Vorrichtung beträgt nur ca. 60% verglichen mit der Ausführung nach dem Stand der Technik. Deshalb kann erwartet werden, dass der Druckverlust bei laminarer Strömung ebenfalls im nahezu gleichen Verhältnis sinkt da die axial ausgerichteten Rohre kaum zum Druckverlust beitragen. Der Versuch zeigt, dass mit der erfindungsgemässen Vorrichtung auch eine ausgezeichnete Mischwirkung bei geringem Druckverlust erreicht wird, selbst dann wenn die Stegbreite wesentlich kleiner als die Rohrteilung ist oder sogar wenn die Stege ohne Aussparungen zwischen die Rohre geschoben werden (Stegbreite maximal $b = t - d$).

Zum Nachweis der erwarteten, engen Verweilzeitverteilung der erfindungsgemässen Vorrichtung wurden CFD Strömungsberechnungen zur Simulation der Verweilzeitverteilung mit der vorangehend beschriebenen Vorrichtung durchgeführt und mit dem bekannten X-Mischer verglichen. Durch die Berechnungen wurde bestätigt, dass das Verweilzeitverhalten der erfindungsgemässen Vorrichtungen wie erwartet mit der bekannten X-Struktur vergleichbar ist. Dadurch können mit der erfindungsgemässen Vorrichtung statische Reaktoren mit ausserordentlich grosser Wärmeübertragungskapazität, guter Quermischung und nahezu idealer Pfropfenströmung, dargestellt werden.

Anwendungsbereich

Die Anwendung der erfindungsgemässen Vorrichtung ist nicht nur auf den laminaren Strömungsbereich beschränkt. Es ist bekannt, dass sich die X-Struktur sehr gut zum Dispergieren von Flüssigkeiten oder Gasen bei turbulenter Strömung in niederviskosen Medien eignet. Somit bietet sich diese Vorrichtung auch an bei niederviskosen Medien für Reaktionen mit grosser Wärmetönung oder auch für Bioreaktoren. Wenn die Rohre durch stabförmige Lichterzeuger oder Leiter ersetzt werden auch zur Fotosynthese. Bei vertikaler Aufstellung lässt sich auch einfach ein Katalysatorträger in das Gehäuse einfüllen für die Durchführung von heterogenen, katalytischen Reaktionen bei höherer Wärmetönung im Festbett oder in der Wirbelschicht.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung wird vorzugsweise eingesetzt als Mischwärmetauscher mit hoher Quer- und geringer axialer Rückmischung für

- Allgemein als Wärmetauscher für laminare Strömung
- Erhitzen oder kühlen von Polymerlösungen oder –Schmelzen
- Produkterhitzer mit Teilentgasung vor Entgasungskammern
- Kühlen von viskosen Produkten
- Erhitzen von empfindlichen oder reaktionsfähigen, viskosen Produkten
- Reaktoren, insbesondere Polymerisationsreaktor
- Gas-Flüssig Reaktor
- Bio-Reaktor mit Fotosynthese
- Reaktor für heterogene Katalyse mit Festbett oder Wirbelschicht

Oder auch ohne ein Wärmeträgermedium als statischer Mischer mit stabiler Struktur und niedrigem Druckverlust, vorzugsweise bei viskosen Produkten. Statische Mischer für Kunststoffschmelzen müssen sehr hohe Strömungskräfte aushalten und benötigen immer eine Temperierung um die Betriebstemperatur im gewünschten Bereich zu halten. Daher sind diese Mischer mit einem beheizbaren Doppelmantelrohr ausgerüstet. Die Mischelemente müssen häufig an der Gehäusewand abgestützt werden damit sie die Strömungskräfte aushalten können. Die Mischelemente können dann nicht mehr ausgebaut werden und auch die nach der Druckbehälter Vorschrift nötigen Schweissnahtprüfungen sind nicht immer möglich. Mit der erfindungsgemässen Vorrichtung wird ein X-Mischer für diese und ähnliche Anwendungen bereitgestellt der einfach beheizbar, sehr stabil und ausbaubar ist. Ein sehr teures Doppelmantelrohr entfällt und wird durch U-Rohrschlangen durch die ein Wärmeträgermedium fliesst ersetzt. Weitere längliche Profile an den Rohrplätzen übernehmen bei Bedarf die

notwendige Verstärkung der Struktur. Der erfindungsgemäße Mischer kann auch rasch auf Betriebstemperatur erhitzt werden, da keine hohen Spannungen im Gehäuse wie bei einem Doppelmantelrohr zu erwarten sind.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Zu- und Abfuhr von Wärme, zur Durchführung von Reaktionen und zum
5 Mischen und Dispergieren von strömenden Medien in einem vorzugsweise rohrartigen Gehäuse (1) mit einem inneren Durchmesser D durch dessen Längsachse eine Hauptströmungsrichtung für einen flüssigen, gasförmigen oder mehrphasigen Produktstrom (I) bestimmt ist, mit Einbauten, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einbauten aus einem Bündel von Rohren (2) mit einem äusseren Durchmesser d oder anderen länglichen
10 Elementen, mit vorzugsweise zur Längsachse des Gehäuses paralleler Ausrichtung, mit vorzugsweise quadratischer Teilung t des Rohrbündels bestehen und zwischen die Rohre oder anderen länglichen Elementen mindestens ein, vorzugsweise plattenförmiger, Steg einer ersten Anordnung (31) eingebaut ist und dieser mindestens einen Steg um einen Winkel α , vorzugsweise $\alpha = 30 - 60^\circ$, besonders bevorzugt $\alpha = 45^\circ$, gegen die
15 Längsachse des Gehäuses geneigt ist und kreuzweise dazu eingeschoben mindestens ein zweiter, vorzugsweise plattenförmiger, Steg einer zweiten Anordnung (41) mit vorzugsweise gleichem Neigungswinkel aber entgegengesetztem Vorzeichen und dass die Stege eine Breite b haben und diese Breite kleiner oder höchstens gleich wie die Teilung t des Rohrbündels ist und dass sich die Stege nicht berühren.
20
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** in axialer Richtung aufeinander folgende Stege zwischen den Rohren oder anderen länglichen Elementen eine Steglage bilden und die Stege einer Steglage vorzugsweise parallel sind und einen Abstand m aufweisen und dass die Steglagen nach einer Anzahl Stege bzw. einer Länge L
25 um vorzugsweise 90° gedreht (31', 41') zwischen die Rohre eingebaut sind.
3. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine erste Steglage (31) benachbart zu einer zweiten, kreuzweise eingebauten Steglage (41) ist, und dass dazwischen ein Rohr oder eine Rohrreihe ist und die Stege
30 sich nicht berühren.
4. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen den benachbarten Stegen quer zur Hauptströmungsrichtung Abstände vorhanden sind und dass die maximale Breite b der Stege vorzugsweise kleiner als
35 85%, insbesondere kleiner als 65% der Rohrteilung t beträgt.

5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stege ohne Aussparungen zwischen die Rohre des Rohrbündels passen und eine maximale Breite $b = t - d$ haben.
- 5 6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stege in Querrichtung so ausgerichtet sind, dass die Stege jeweils in sich kreuzenden Ebenen A, B liegen.
7. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**
10 **dass** der axiale Abstand m der Stege mindestens in einer Steglage 0.2 bis $0.4 D$ beträgt
8. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der axiale Abstand m der Stege mindestens in einer Steglage $< 4 d$ beträgt.
- 15 9. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Gruppen von Steglagen Mischelemente mit einer axialen Länge L bilden und dass die Steglagen aufeinander folgender Mischelemente um 90° gedreht zwischen die Rohre eingeschoben werden, und dass die Länge L der Mischelemente vorzugsweise 0.5 bis $4D$ beträgt.
- 20 10. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die sich kreuzenden Stege (31,41) einer ersten Gruppe mit den sich kreuzenden Stegen (31',41') einer zweiten, um 90° gedrehte Gruppe, ineinander verwobenen sind und ein Mischelement bilden das in zwei Querrichtungen mischt.
- 25 11. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Teil der länglichen Elemente Rohre mit einer Zu- und Ablaufeinrichtung für ein flüssiges, gas- oder dampfförmiges Wärmeträgermedium (II) sind und dass dieses im Gleich- oder Gegenstrom zum Produktstrom (I) im Aussenraum der
30 Rohre fließt.
12. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Teil der länglichen Elemente elektrische Heizstäbe oder elektrische Heizschlangen sind.
- 35 13. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Teil der länglichen Elemente eine poröse oder semipermeable Wand für ein Austauschverfahren aufweist.

14. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Teil der länglichen Elemente mit den Stegen fest verbunden ist oder mit den Stegen ein monolithisches Teil bildet.
- 5
15. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stege mindestens einer Steglage gegeneinander geneigt und durch Hilfselemente oder Bleche miteinander verbunden sind und eine wellblechartige Steglage bilden.
- 10
16. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Gruppen von Steglagen durch Hilfselemente quer oder längs miteinander verbunden sind.
- 15
17. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche zur Erhitzung oder Kühlung oder zur Durchführung von Reaktionen, insbesondere von Polymerisationsreaktionen, wobei das strömende Medium eine hochviskose Lösung oder Schmelze mit ein- oder mehrphasigem Aggregatzustand ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis der Oberfläche des Rohrbündels zum Leervolumen der Vorrichtung bzw. Reaktors mindestens $50 \text{ m}^2/\text{m}^3$ beträgt.
- 20
18. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Teil der Rohre oder länglichen Elemente Leuchtelemente oder Elemente mit semipermeablen oder porösen Wänden oder Rohre oder Stäbe ohne Wärmeträgermedium oder andere längliche Profile zur Verstärkung der Struktur an den vorgesehenen Plätzen des Rohrbündels sind.
- 25
19. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Teil der vorgesehenen Plätze für die Rohre des Rohrbündels nicht besetzt sind.
- 30
20. Verfahren zur Durchführung von heterogenen, katalytischen Reaktionen oder zum Stoffaustausch in einem strömenden Medium in einer Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Produktraum (I) um die Rohre des Rohrbündels mit einer festen oder fluidisierten Schüttung von Katalysatorträgern oder Ionenaustauscher Harzen gefüllt ist.
- 35

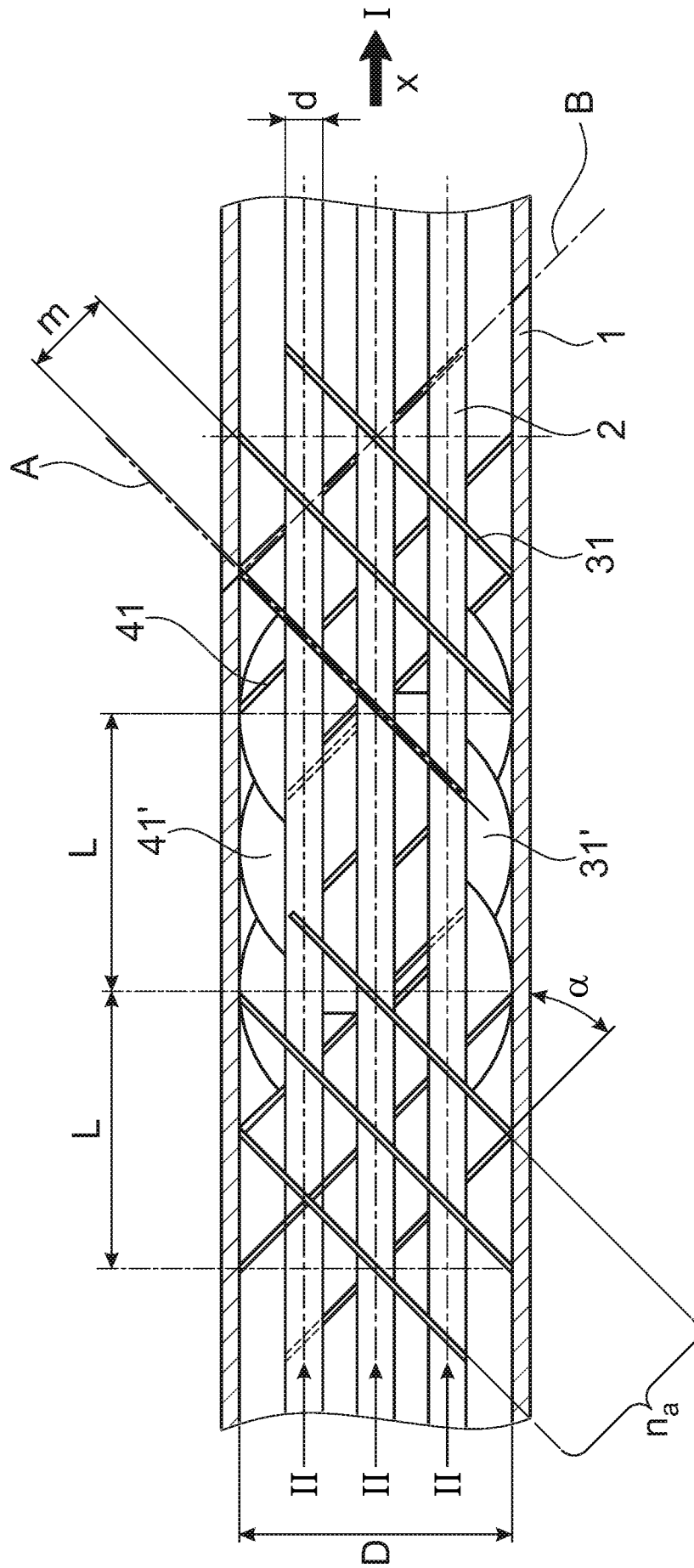


Fig. 1

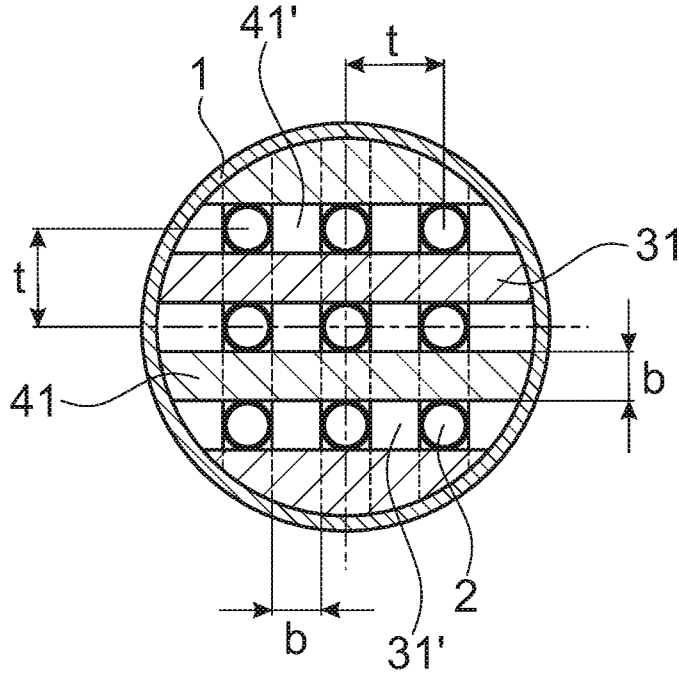


Fig. 2

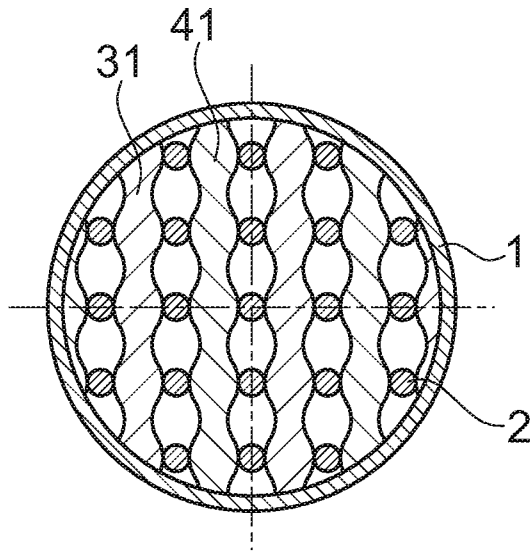


Fig. 3

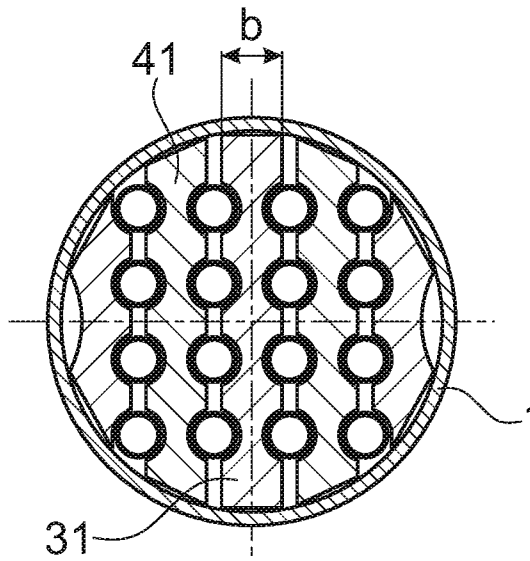


Fig. 4

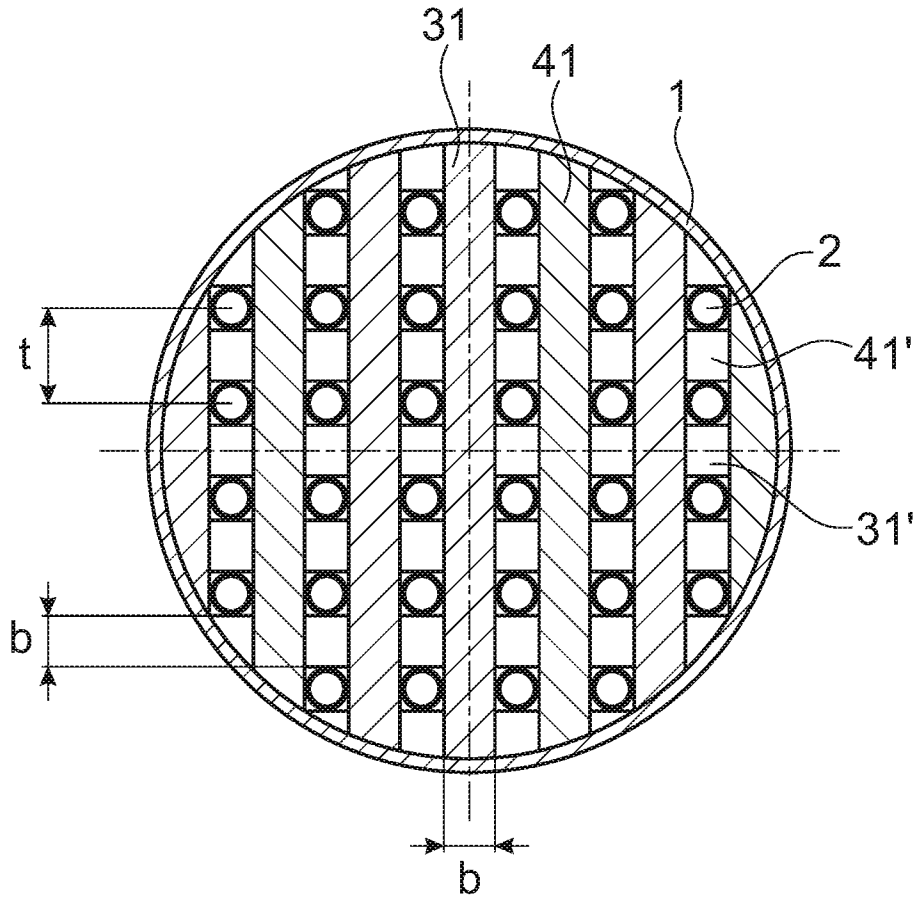


Fig. 5

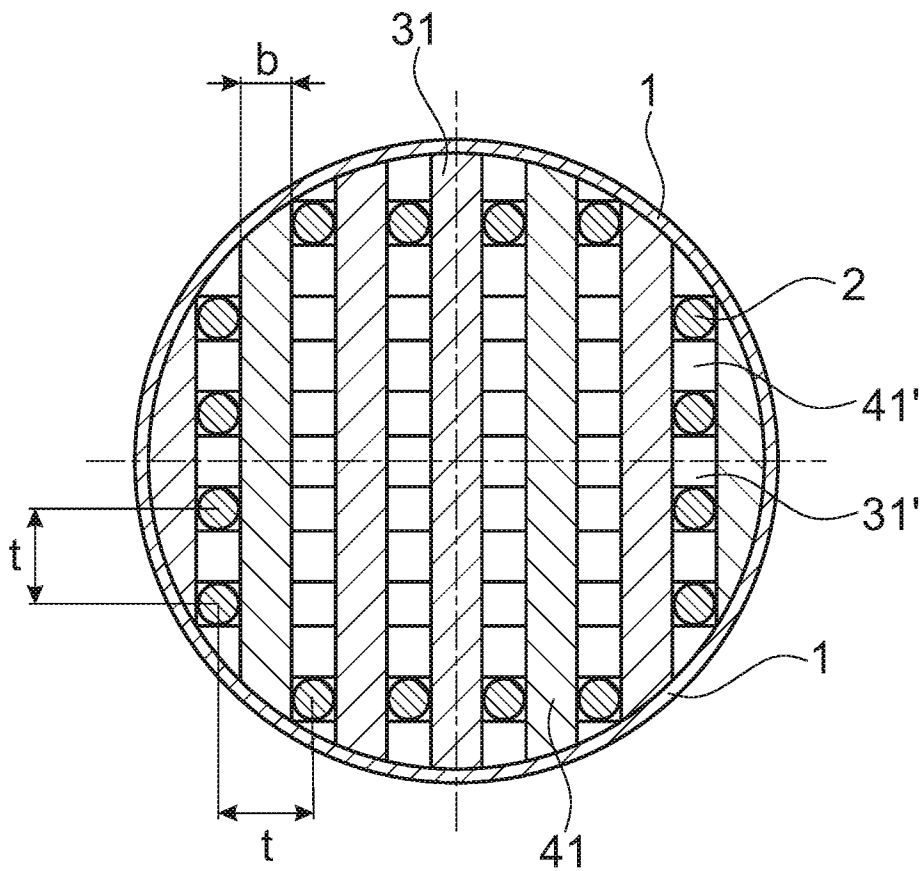


Fig. 6

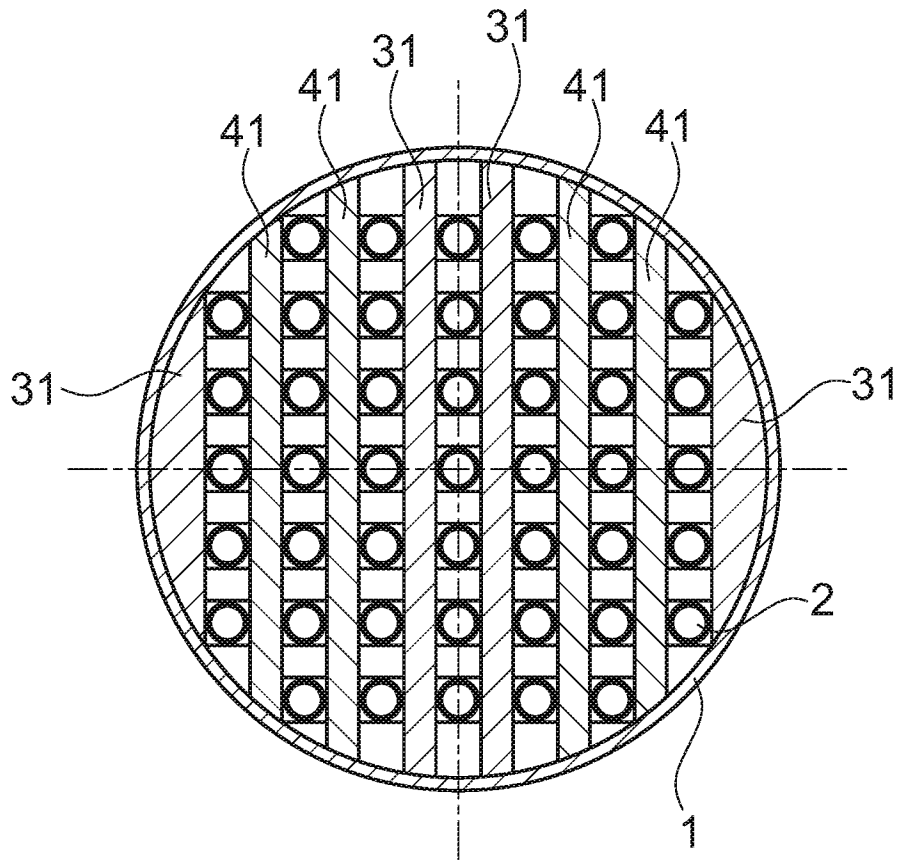


Fig. 7

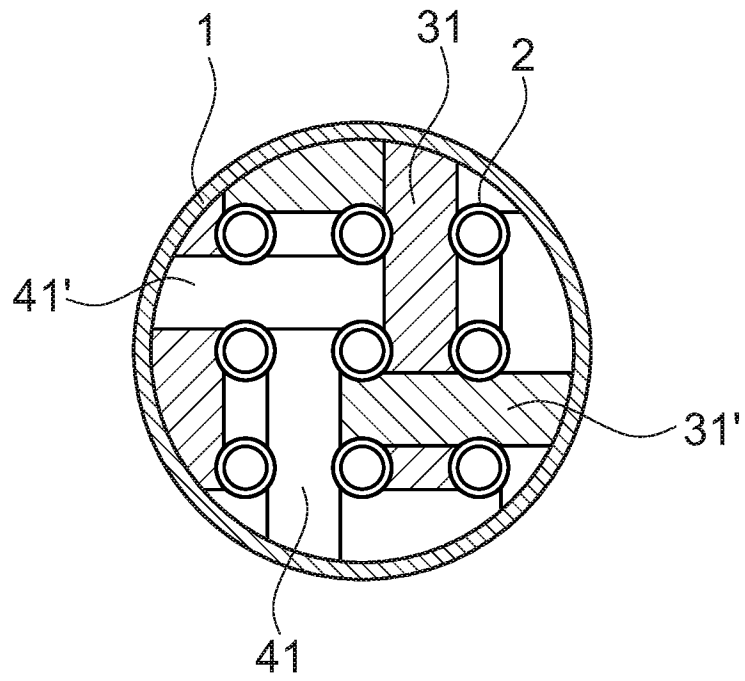


Fig. 8

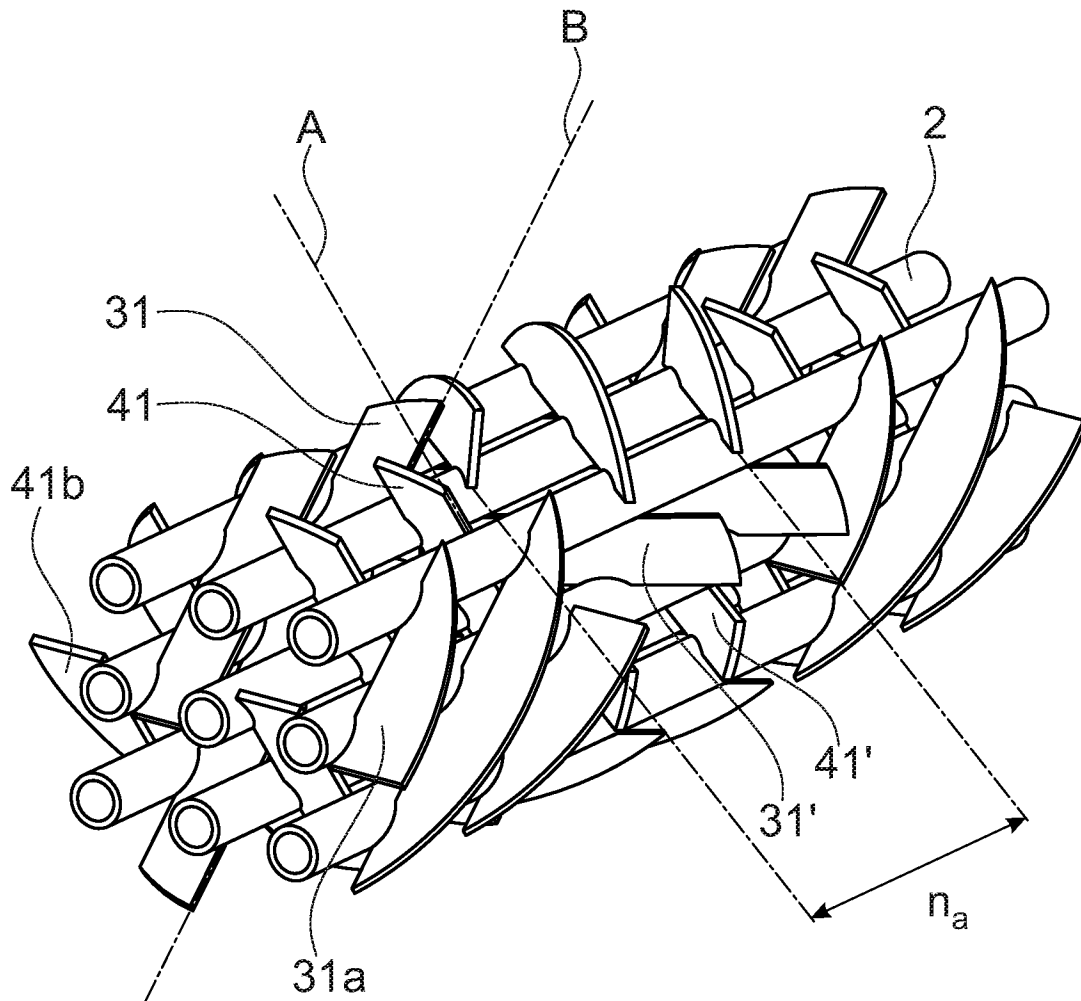


Fig. 9

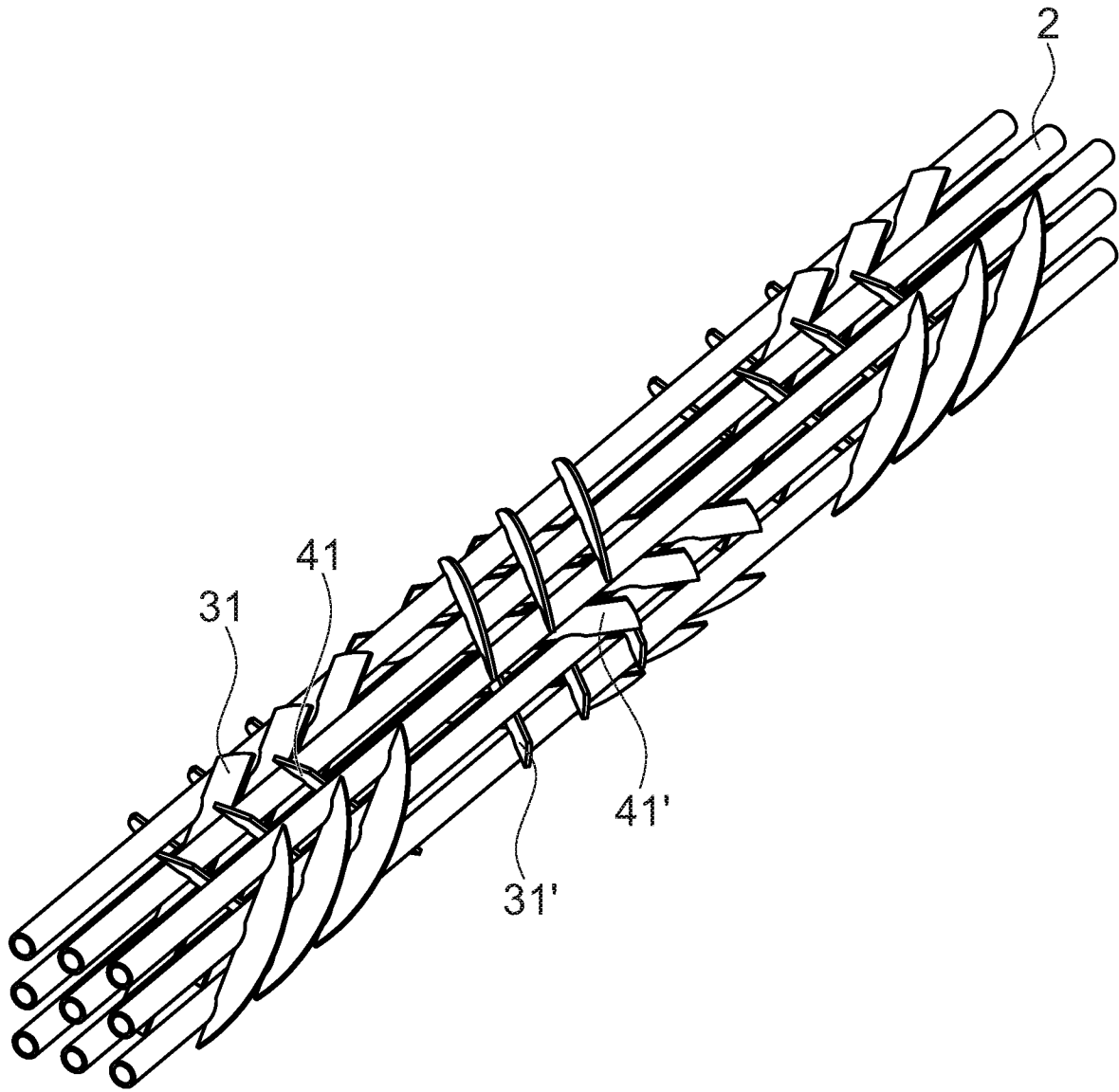


Fig. 10

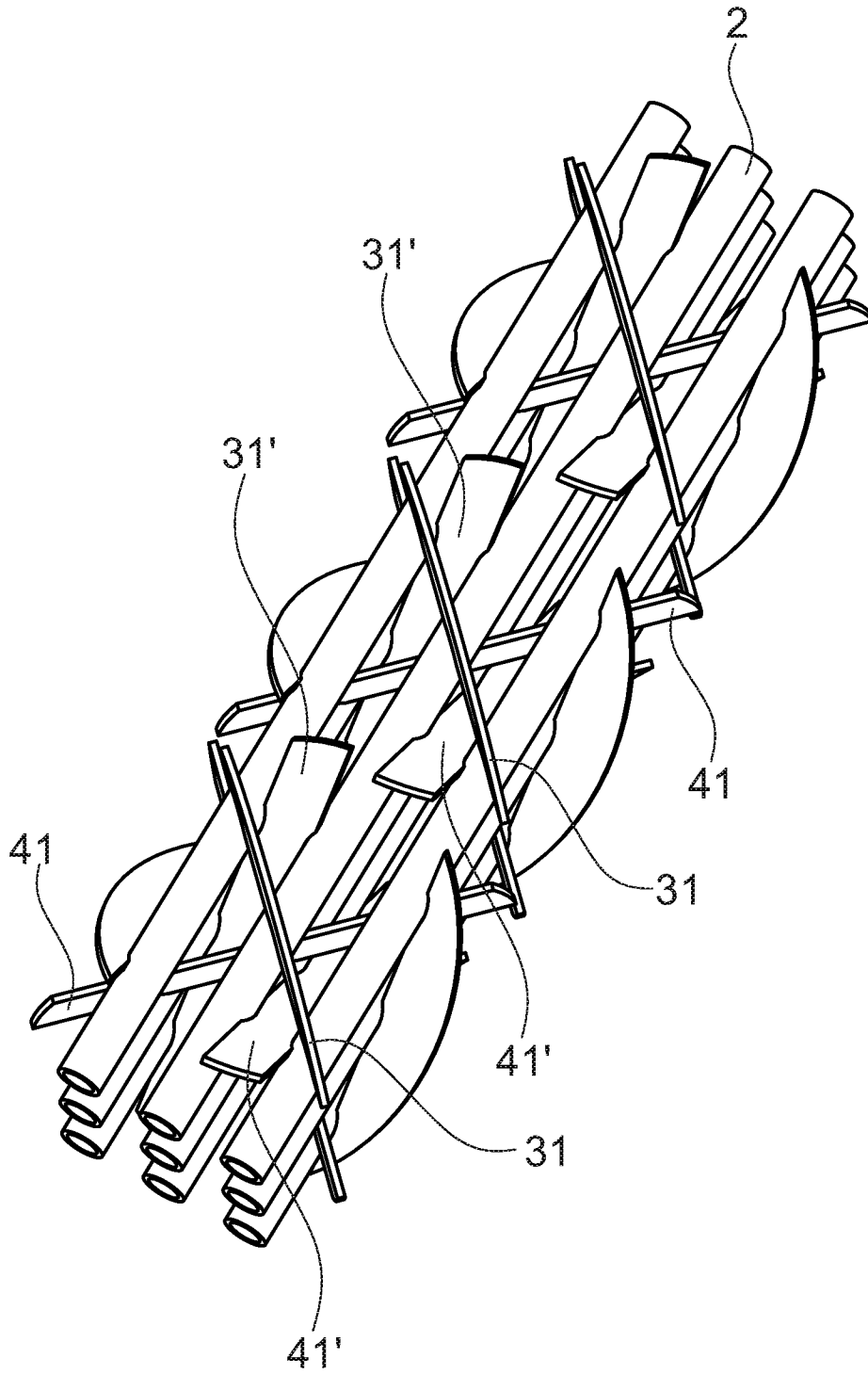


Fig. 11

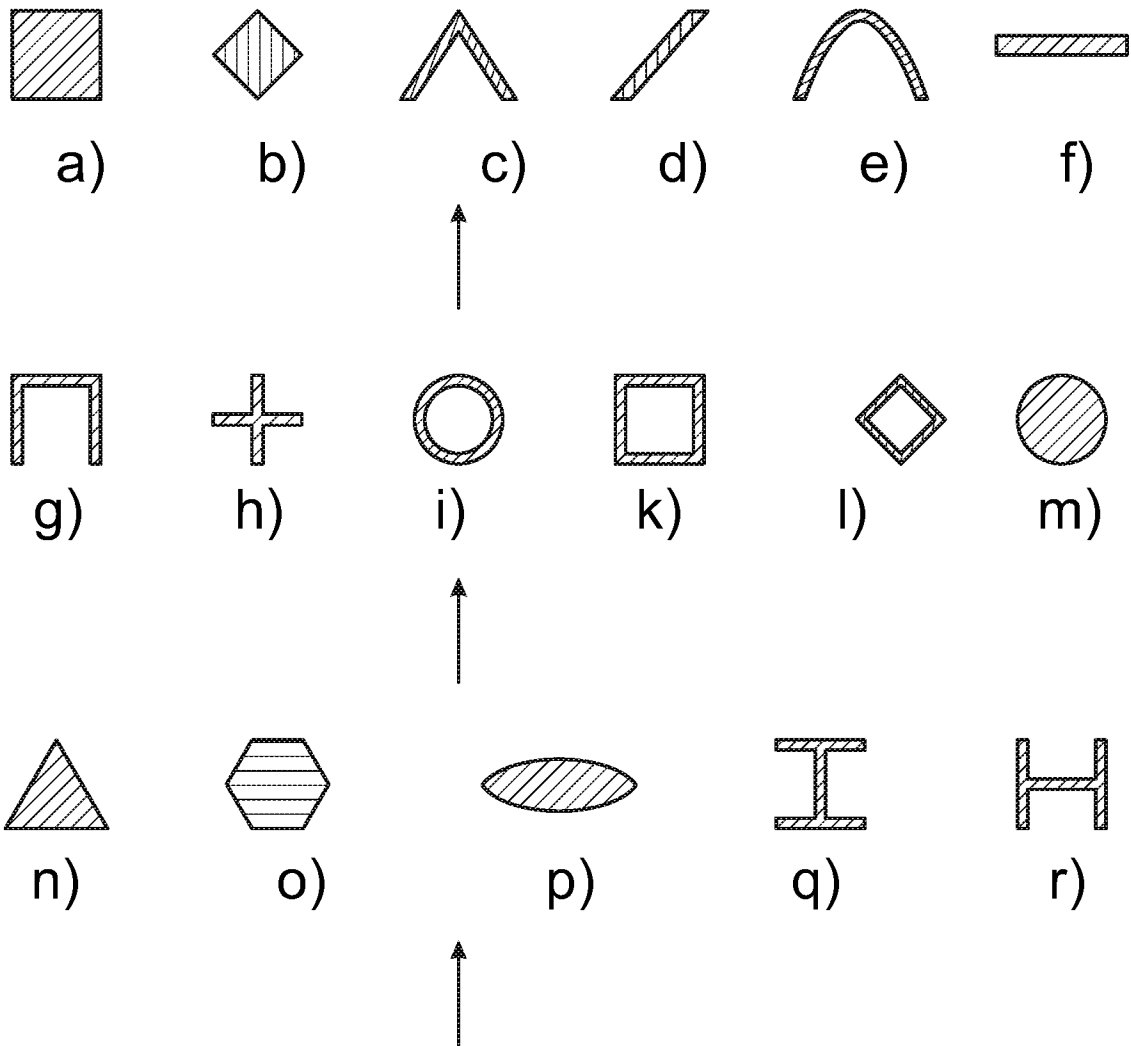


Fig. 12

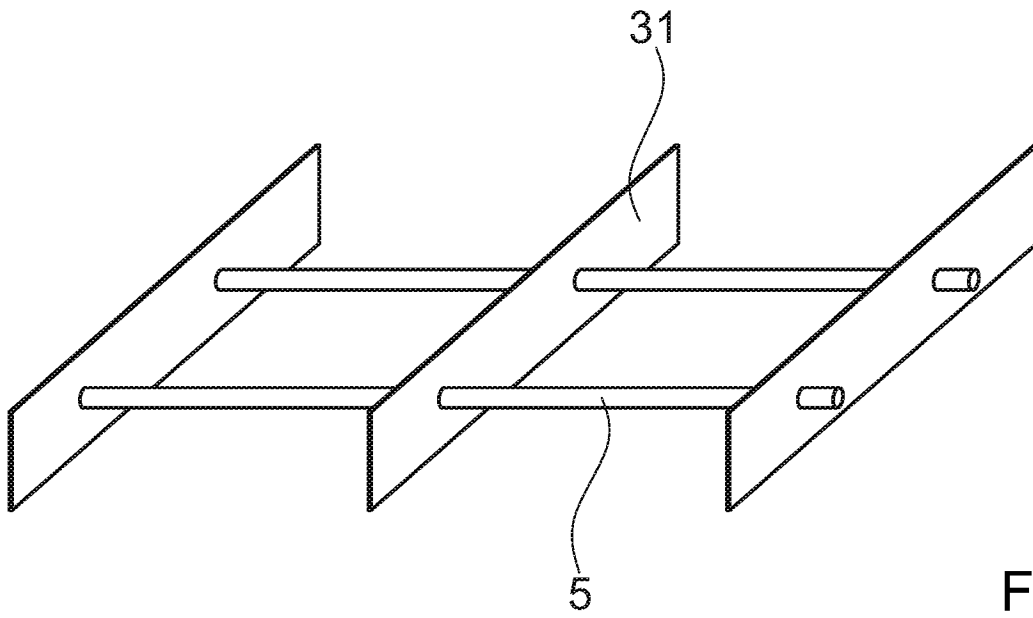


Fig.13

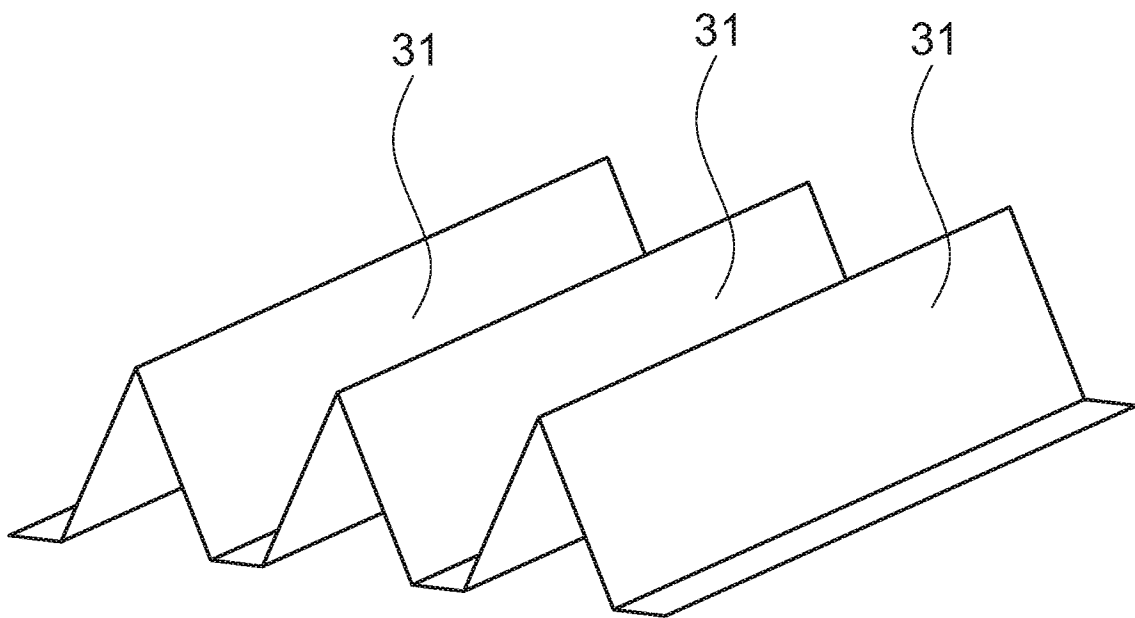


Fig.14

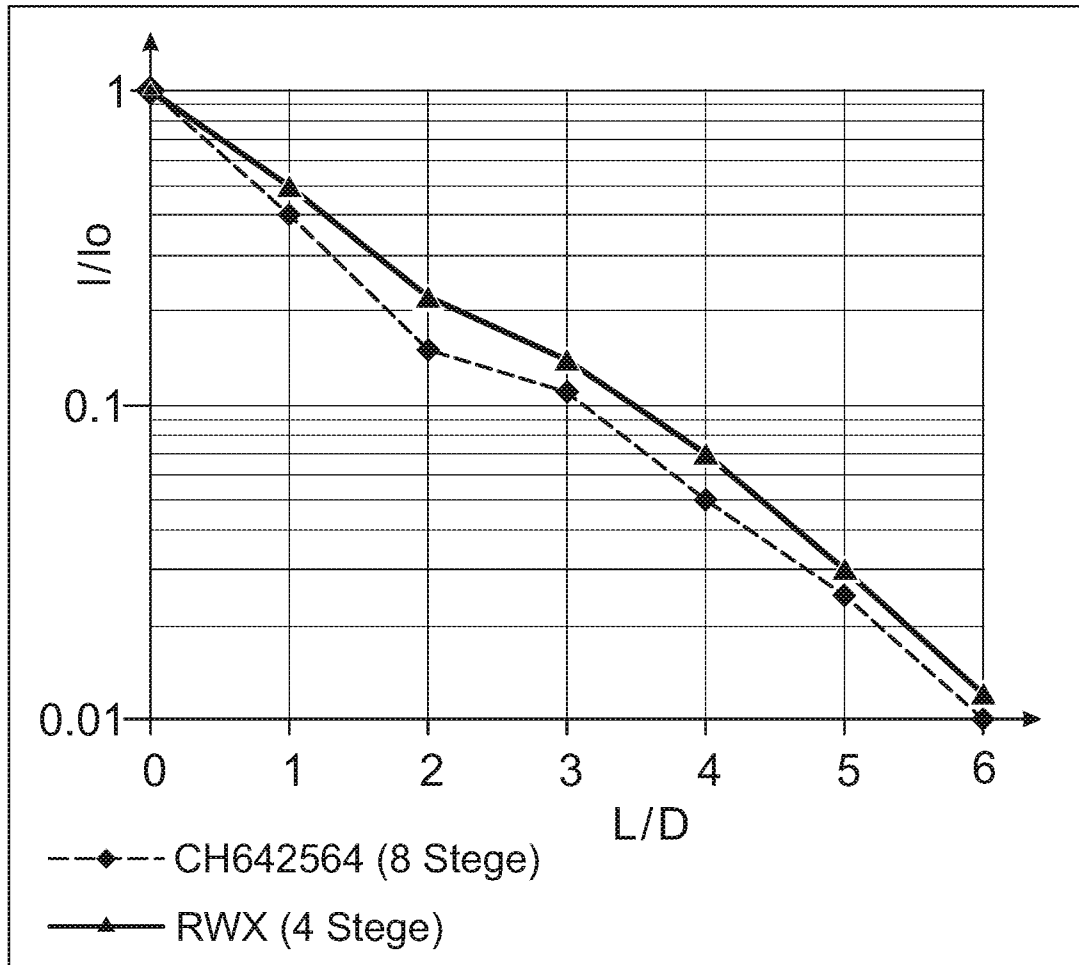


Fig.15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CH2021/050018

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>F28F 9/013</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) F28F 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	CN 107883803 B (CHINA NUCLEAR POWER DESIGN CO LTD SHENZHEN ET AL.) 15 October 2019 (2019-10-15)	1-14,17-19
Y	figures 1-3,7	15,16,20
X	US 4127165 A (SMALL WILLIAM M) 28 November 1978 (1978-11-28) figures 4, 6	1,2,4-9,11,16,17
Y	US 2014219644 A1 (MCCLANAHAN JACK L [US] ET AL) 07 August 2014 (2014-08-07) figures 13,19	15,16
Y	EP 2113732 A1 (FLUITEC INVEST AG [CH]) 04 November 2009 (2009-11-04)	20
A	figures 1,2	1-19
A	US 8628233 B2 (SCHOECHLIN MARTIN [CH]; ATLAS HOLDING AG [CH]) 14 January 2014 (2014-01-14) figures 1-3	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 08 November 2021		Date of mailing of the international search report 19 November 2021
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 Vassoille, Bruno Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CH2021/050018

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)		
CN	107883803	B	15 October 2019	NONE			
US	4127165	A	28 November 1978	AU	1970176	A	02 March 1978
				BE	852188	A	07 September 1977
				BR	7608435	A	11 July 1978
				CA	1078822	A	03 June 1980
				DD	132542	A5	04 October 1978
				DE	2707702	A1	12 January 1978
				ES	456278	A1	16 January 1978
				FR	2357851	A1	03 February 1978
				GB	1562663	A	12 March 1980
				IT	1091804	B	06 July 1985
				JP	S536952	A	21 January 1978
				JP	S5421578	B2	31 July 1979
				MX	144899	A	02 December 1981
				NL	7702226	A	10 January 1978
				NO	142460	B	12 May 1980
				PL	196755	A1	16 January 1978
				SE	423648	B	17 May 1982
				SU	854281	A3	07 August 1981
				US	4127165	A	28 November 1978
				YU	56377	A	31 May 1982
				ZA	766827	B	26 October 1977
US	2014219644	A1	07 August 2014	US	2012073955	A1	29 March 2012
				US	2014219644	A1	07 August 2014
EP	2113732	A1	04 November 2009	NONE			
US	8628233	B2	14 January 2014	AT	498810	T	15 March 2011
				EP	2150765	A1	10 February 2010
				US	2010163216	A1	01 July 2010
				WO	2008141472	A1	27 November 2008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F28F9/013
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F28F

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	CN 107 883 803 B (CHINA NUCLEAR POWER DESIGN CO LTD SHENZHEN ET AL.) 15. Oktober 2019 (2019-10-15)	1-14, 17-19
Y	Abbildungen 1-3,7 -----	15,16,20
X	US 4 127 165 A (SMALL WILLIAM M) 28. November 1978 (1978-11-28)	1,2,4-9, 11,16,17
Y	Abbildungen 4, 6 -----	
Y	US 2014/219644 A1 (MCCLANAHAN JACK L [US] ET AL) 7. August 2014 (2014-08-07)	15,16
Y	Abbildungen 13,19 -----	
Y	EP 2 113 732 A1 (FLUITEC INVEST AG [CH]) 4. November 2009 (2009-11-04)	20
A	Abbildungen 1,2 -----	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

8. November 2021

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

19/11/2021

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

Vassoille, Bruno

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 8 628 233 B2 (SCHOECHLIN MARTIN [CH]; ATLAS HOLDING AG [CH]) 14. Januar 2014 (2014-01-14) Abbildungen 1-3 -----	1-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH2021/050018

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 107883803	B	15-10-2019	KEINE
US 4127165	A	28-11-1978	AU 1970176 A 02-03-1978
			BE 852188 A 07-09-1977
			BR 7608435 A 11-07-1978
			CA 1078822 A 03-06-1980
			DD 132542 A5 04-10-1978
			DE 2707702 A1 12-01-1978
			ES 456278 A1 16-01-1978
			FR 2357851 A1 03-02-1978
			GB 1562663 A 12-03-1980
			IT 1091804 B 06-07-1985
			JP S536952 A 21-01-1978
			JP S5421578 B2 31-07-1979
			MX 144899 A 02-12-1981
			NL 7702226 A 10-01-1978
			NO 142460 B 12-05-1980
			PL 196755 A1 16-01-1978
			SE 423648 B 17-05-1982
			SU 854281 A3 07-08-1981
			US 4127165 A 28-11-1978
			YU 56377 A 31-05-1982
			ZA 766827 B 26-10-1977
US 2014219644	A1	07-08-2014	US 2012073955 A1 29-03-2012
			US 2014219644 A1 07-08-2014
EP 2113732	A1	04-11-2009	KEINE
US 8628233	B2	14-01-2014	AT 498810 T 15-03-2011
			EP 2150765 A1 10-02-2010
			US 2010163216 A1 01-07-2010
			WO 2008141472 A1 27-11-2008