



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 198 57 590 B4** 2004.09.09

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **198 57 590.4**
(22) Anmeldetag: **14.12.1998**
(43) Offenlegungstag: **15.06.2000**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **09.09.2004**

(51) Int Cl.7: **B01D 71/02**
B01D 67/00, B01D 39/20

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:
**Rauschenbach, M., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 01187
Dresden**

(72) Erfinder:
**Adler, Jörg, Dipl.-Kristall., 01662 Meißen, DE;
Lenk, Reinhard, Dr., 02779 Großschönau, DE;
Richter, Hans-Jürgen, Dr., 01257 Dresden, DE;
Stockmann, Regina, 01189 Dresden, DE; Tocha,
Daniel, 01097 Dresden, DE; Stroh, Norbert,
Dipl.-Ing., 71106 Magstadt, DE; Tudyka, Stefan, Dr.,
71642 Ludwigsburg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 43 35 122 A1
US 57 66 290

(54) Bezeichnung: **Keramische Flachmembran und Verfahren zu ihrer Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Keramische Flachmembran aus mindestens zwei Schichten gleicher Dicke, die aus mindestens zwei unterschiedlich porösen Teilschichten aufgebaut sind, wobei mindestens eine der Schichten eine gewellte Geometrie aufweist und diese zwei Schichten mindestens punktuell und stoffschlüssig miteinander verbunden sind und dadurch die Flachmembran Kanäle aufweist, deren Querschnitte beliebige Geometrien aufweisen und in Form und Abmessungen über die Länge der Kanäle veränderbar sind.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Filter- und Separationstechnik und der Keramik und betrifft eine keramische Flachmembran beispielsweise in Form eines Multikanalelementes für den Einsatz in der Flüssigkeits- und Gasfiltration und ein Verfahren zu ihrer Herstellung. Derartige Multikanalelemente werden bevorzugt in Form von Filtermodulen, die aus mehreren Multikanalelementen bestehen, eingesetzt.

[0002] Keramische Membranen für Filtrationsanwendungen gibt es mit Flachgeometrie und Rohrgeometrie. Diese Membranen weisen dabei ein möglichst hohes Flächen- zu Volumenverhältnis auf. Bei Membranen in Rohrgeometrie sind sowohl Monokanal- als auch Multikanalelemente möglich. Bei rohrförmigen Multikanalelementen (z.B. 7 oder 19 Kanäle) wird im Vergleich zu Monokanalelementen ein deutlich höheres Flächen- zu Volumenverhältnis erreicht. Durch Erhöhung der Kanalzahl auf z.B. 37 kann die nutzbare Filtrationsfläche weiter erhöht werden. Bei konstantem Außendurchmesser des Rohres ist jedoch die Zahl der Kanäle nicht beliebig erhöhbar, da sonst die Wandstärken zu gering werden und somit die mechanische Stabilität nicht mehr ausreichend gewährleistet ist. Daneben wird mit zunehmender Kanalzahl die Permeatabführung der inneren Kanäle durch die Keramik nach außen erschwert. Für Rohrgeometrien kann auch durch Änderung der üblicherweise konzentrischen Kanal-Querschnittsformen in Kleeblatt- oder Schmetterlingsform das Flächen- zu Volumenverhältnis erhöht werden.

[0003] Die herkömmlichen rohrförmigen Mono- und Multikanalelemente werden durch Extrusion in einem Stück hergestellt.

[0004] Eine neue Technik zur Herstellung von Monokanalelementen, die eine sehr geringe Rauigkeit aufweisen und sich daher gut für die Membranbeschichtung eignen, stellt das Zentrifugieren dar (Nijmeijer, A. u.a. Am. Ceram. Soc. Bull. 77(4), S. 95–98, 1998).

[0005] Die eigentliche Trennmembran wird in einem nachfolgenden Schritt, z.B. durch ein- oder mehrmaliges Benetzen des Rohres mit einer Suspension mit keramischen Pulvern oder mit einer Precursorklösung aufgebracht. Unabhängig von der Chemie und Zusammensetzung des Precursors befindet sich die Trennmembran auf der Innenseite des Rohrkanals bzw. der Rohrkanäle.

[0006] Neben den Membranen in Rohrgeometrie gibt es Flachmembranen. Derartige Flachmembranen sind in WO 98/28060 A1, DE 36 12 825 A1 und DE 196 24 176 C2 angegeben. Alle diese Flachmembranen sind durch eine planare Oberfläche gekennzeichnet. Außerdem müssen sie bei der Flüssigfiltration sehr dünn sein, um einen ausreichenden Filtratfluß zu gewährleisten. Durch die relativ geringe mechanische Stabilität dünner keramischer Membranen ist eine poröse Abstützung erforderlich, deren Dicke

mehr als das Hundertfache der Dicke der Membranschicht beträgt.

[0007] DE 43 35 122 A1 beschreibt eine keramische Flachmembran, die aus zwei Membranflachfolien besteht, die durch eine stoffgleiche, aber absolut dichte Distanzhalterung in Wellenform voneinander getrennt werden. Die Seite der Membran, welche von dem zu trennenden Medium (Feed) angeströmt wird, besitzt eine ebene, d.h. nicht strukturierte Oberfläche. Dagegen ist in DE 43 29 473 C1 eine Flachmembran beschrieben, deren Geometrie so gestaltet ist, dass an keiner Stelle der Membran Zugspannungen auftreten. Zu diesem Zweck sind auf der Filtralseite Rillen enthalten, die annähernd den Querschnitt eines Halbkreisbogens haben.

[0008] In der WO 90/15661 wird eine selbsttragende Keramikmembran, die aus zwei Schichten, aus einem groben und einem feinen Pulver bestehen, beschrieben. Die Herstellung erfolgt durch das Übereinandergießen der Schichten mittels Foliengießtechnik. Der so erzeugte support-layer-Verbund wird in einem Schritt gebrannt. Angegeben wird auch, dass die Membran im Grünzustand flexibel ist und geprägt werden kann (z. B. Kanäle).

[0009] In der US 5766290 ist ein keramischer Filter aus speziell strukturierten Platten (Zickzackmuster) beschrieben, die versetzt aufeinander gestapelt und verklebt werden, wobei sich hier parallele Kanäle ergeben. Die Platten haben eine gleichförmige poröse Struktur und bestehen aus Bruchstücken von keramischen Fasern. Sie finden Anwendung als hochtemperatur- und druckstabiler Filter für Querstromfiltration von Gasen (Rauchgas, Erdgas).

[0010] Nachteilig ist die eingeschränkte geometrische Gestaltungsmöglichkeit und die gleichförmige poröse Struktur, die einer breiten Anwendung entgegensteht.

[0011] Die Nachteile der bisherigen Flachmembranen und auch der in Rohrgeometrien sind, dass sich die Membranflächen nicht beliebig erhöhen lassen und dass bei einer derartigen Erhöhung die mechanische Stabilität geringer wird.

[0012] Bekannte Membranen werden bekanntermaßen vorrangig aus Polymeren hergestellt. Keramische Membranen konnten sich aufgrund hoher Fertigungskosten trotz besserer Eigenschaften (höhere chemische, thermische und mechanische Festigkeit) bislang nicht durchsetzen.

[0013] Die bisherige Technologie zur Herstellung von keramischen Flachmembranen besteht aus folgenden Schritten:

1. Herstellung des Supportes

- Mischen von eng fraktionierten Pulvern im Größenbereich einiger um mit bekannten Formgebungshilfsmitteln,
- Formgebung,
- Sintern.

2. Herstellung einer Teilschicht auf dem Support

- Suspensionsherstellung aus feinen, ebenfalls möglichst eng fraktionierten Pulvern mit Korngrößen, die kleiner sind als die des Supportes,
 - Beschichtung des Supportes durch Dipcoating,
 - Trocknen,
 - Sintern,
- mehrmalige Wiederholung der letzten drei Schritte

3. Herstellung einer weiteren Teilschicht auf der ersten Teilschicht

- Suspensionsherstellung aus feinen, möglichst eng fraktionierten Pulvern mit Korngrößen, die kleiner sind als die der vorherig aufgetragenen Teilschicht, oder Solherstellung
 - Beschichten der ersten gesinterten Teilschicht durch Dipcoating,
 - Trocknen,
 - Sintern,
- mehrmalige Wiederholung der letzten drei Schritte

4. Fertigung der Module

- Versiegeln der Endstücke (Abdichtung)
- Montage

[0014] Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, daß der hauptsächlichste Nachteil des bekannten Herstellungsverfahrens die aufwendige Wiederholung der Aufbringung, Trocknung und Sinterung der Teilschichten ist. Diese Herstellungsteilschritte sind besonders kostenintensiv.

[0015] Es hat bereits Untersuchungen gegeben, dieses Herstellungsverfahren durch Integration der Beschichtung in den Formgebungsprozeß zu verbessern. Dies wurde speziell mit der Coextrusion versucht. Dabei werden strangförmigen Massen mit einem Kolbenextruder über einen Dorn extrudiert (DE 22 08 767 C1).

[0016] Die Untersuchungen sind aber nicht fortgesetzt und in der Praxis nicht angewandt worden. Die Herstellung von mehrschichtigen Elementen ist auf diese Art und Weise allerdings nicht möglich.

[0017] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine keramische Flachmembran anzugeben, bei der bei Beibehaltung der mechanischen Stabilität der Membranen eine Erhöhung der wirksamen Membranfläche und damit eine Verbesserung des Flächen-zu-Volumenverhältnisses erreicht wird und diese Membranen durch ein kostengünstigeres Verfahren herstellbar sind.

[0018] Die Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen angegebene Erfindung gelöst. Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0019] Die erfindungsgemäße keramische Flachmembran ist aus mindestens zwei Schichten gleicher

Dicke aufgebaut, wobei jede dieser Schichten aus wiederum mindestens zwei Teilschichten aufgebaut ist. Diese beiden Teilschichten können sich hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung und Struktur voneinander unterscheiden oder auch nicht. In jedem Fall unterscheiden sie sich hinsichtlich ihrer mittleren Porengröße. Vorteilhafterweise sind die grobporösen Teilschichten in Richtung des Filtrates angeordnet.

[0020] Unter der mittleren Porengröße ist dabei die Größe zu verstehen, die alle mittleren Abmessungen (insbesondere Durchmesser, Radius, Querschnittsfläche, Volumen) der Poren und auch ihre mittlere Verteilung betrifft.

[0021] Die Teilschichten sind vorteilhafterweise miteinander verbunden. Die Schichten sind vorteilhafterweise miteinander verbunden.

[0022] Erfindungsgemäß weist mindestens eine der Schichten eine nicht planare Geometrie auf. Unter einer planaren Geometrie soll gemäß dieser Erfindung verstanden werden, daß die Oberflächen der Schichten eben oder im wesentlichen eben sind. Alle nicht ebenen oder im wesentlichen nicht ebenen Oberflächen von Schichten weisen somit eine nicht planare Geometrie auf. Durch die nicht planare Geometrie mindestens einer der Schichten entstehen in der erfindungsgemäßen keramischen Flachmembran Kanäle, die entweder das zu trennende Medium oder das Filtrat aufnehmen können.

[0023] Die Querschnitte dieser Kanäle können eine beliebige Geometrie aufweisen und sich auch über die Länge der Kanäle und auch über das Volumen der Flachmembran kontinuierlich oder diskontinuierlich verändern.

[0024] Die erfindungsgemäßen Flachmembranen weisen ein Mehrfaches an Membranfläche gegenüber der bei bekannten Flachmembranen möglichen Membranfläche auf. Die Membranfläche kann sechsmal größer sein als bei einem Multikanalelement mit 19 Einzelkanälen. Es ist auch eine deutlich höhere mechanische Stabilität gegenüber herkömmlichen Flachmembranen erreicht.

[0025] Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die spezielle Form der erfindungsgemäßen Flachmembran beim Überströmen des zu filternden Mediums Turbulenzen und Strudel erzeugt werden, so dass die Bildung einer Deckschicht aus Schmutz- und anderen Partikeln („Fouling“) stark eingeschränkt ist. Ebenfalls wird eine Ablösung einer solchen Schicht während der Filtration begünstigt.

[0026] Damit ist eine erhöhte Permeationsleistung und eine verlängerte Standzeit der Flachmembranen möglich.

[0027] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird die Herstellung der erfindungsgemäßen keramischen Flachmembranen möglich.

[0028] Es werden mindestens zwei Schichten hergestellt, die aus mindestens zwei Teilschichten aufgebaut sind. Diese Teilschichten werden beispielsweise als Folie gegossen, wobei erst die eine Teil-

schicht als Folie gegossen und ganz oder teilweise getrocknet wird und anschließend auf diese Folie die zweite Folie aus dem Material für die zweite Teilschicht gegossen und getrocknet wird. Der so entstandene Schichtverbund wird als eine Schicht beispielsweise mit einer planaren Geometrie belassen und als eine zweite Schicht mit einer längsorientierten Struktur geprägt.

[0029] Die beiden Teilschichten der beiden Schichten können gleiche oder unterschiedliche Zusammensetzung und/oder Struktur aufweisen. In jedem Fall haben sie aber eine unterschiedliche mittlere Porengröße.

[0030] Nach der Herstellung der beiden Schichten werden diese jeweils mit den gleichporösen Schichten aneinander gelegt und mindestens punktuell kraft- und/oder stoffschlüssig miteinander verbunden. Dadurch entsteht eine keramische Flachmembran, die ein Teilelement eines Modules sein kann. Diese Flachmembran wird dann gesintert.

[0031] Es ist jedoch erfindungsgemäß auch möglich, daß die beiden Schichten separat gesintert und dann erst miteinander verbunden werden.

[0032] Im weiteren wird die Erfindung an mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Beispiel 1

Herstellung der Suspension 1

[0033] 100 g Siliciumcarbidpulver mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 45 µm und 15 g Borosilikatglaspulver werden in einer Lösung aus 12,9 g Polyvinylalkohol, 5,3 g Glycerin und 0,5 g Nonanol als Entschäumer in 65 g Wasser dispergiert. Die Dispergierung erfolgt durch 5stündiges Rühren in einem Becherglas mittels Propellerrührer.

Herstellung der Suspension 2

[0034] 100 g Siliciumcarbidpulver mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 2 µm und 20 g Borosilikatglaspulver werden in einer Lösung aus 15 g Polyvinylalkohol, 6,2 g Glycerin, 0,05 g Natriumpolycarbonat als Dispergiermittel und 0,5 g Nonanol als Entschäumer in 65 g Wasser dispergiert. Die Dispergierung erfolgt durch 6stündiges Rühren in einem Becherglas mittels Propellerrührer.

Herstellung der Schicht 1

[0035] Die Suspension 1 wird auf einer Foliengießanlage zu einer Folie vergossen. Die Gießhöhe über der ebenen Unterlage beträgt 0,8 mm. Nach einer Trocknungszeit von 4 h bei Raumtemperatur wird über diese Folie die Suspension 2 mit einer Gießhöhe von 0,1 mm gegossen. Nach einer Trocknungszeit von 6 h bei Raumtemperatur wird aus zwei Teilschichten/Teilfolien eine Schicht/Folie erhalten, die dann von der Unterlage entfernt wird.

Herstellung der Schicht 2

[0036] Die Herstellung der Schicht 2 erfolgt analog dem Verfahren zur Herstellung der Schicht 1.

[0037] Nach dem Vorliegen der beiden Schichten im getrockneten Zustand werden aus der Schicht 1 Quadrate der Abmessungen 100 × 100 mm² geschnitten. Die Schicht 2 wird in Rechtecke der Abmessungen 100 × 134,5 mm² geschnitten. Die Schichtstücke mit den größeren Abmessungen werden mittels Transport durch zwei gegenläufige zylindrische Stempel mit trapezförmig gezählter Oberflächenstruktur geprägt und erlangen dadurch die Abmessungen 100 × 100 mm². Anschließend werden die beiden Schichten, die eine geprägte und die eine ungeprägte, miteinander verbunden, wobei die aus der Suspension 1 hergestellten Teilschichten einander zugewandt sind.

[0038] Durch dieses Verfahren ist eine Flachmembran mit Kanälen entstanden, die einen trapezförmigen Querschnitt aufweisen.

[0039] Der Flachmembran-Grünkörper wird bei 950 °C an Luft gesintert, wodurch die Flachmembran ihre endgültigen Eigenschaften erhält.

Beispiel 2

Herstellung der Suspension 1

[0040] 65 g Siliciumcarbidpulver mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 20 µm und 11,5 g Borosilikatglaspulver werden in einer Lösung aus 9,8 g Polyvinylalkohol und 9,8 g Polyethylenglykol in 42 g Wasser dispergiert. Die Dispergierung erfolgt durch 5stündiges Rühren in einem Becherglas mittels Propellerrührer. Anschließend wird die Suspension in einer Vakuumbbox bei einem Druck von 12 Pa entgast.

Herstellung der Suspension 2

[0041] 50 g Siliciumcarbidpulver mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 1 µm und 7,2 g Borosilikatglaspulver werden in einer Lösung aus 6,5 g Polyvinylalkohol, 6,5 g Polyethylenglykol und 0,1 g Natriumpolycarbonat als Dispergiermittel in 32 g Wasser dispergiert. Die Dispergierung erfolgt durch gleichmäßiges Bewegen in einem geschlossenen Gefäß auf einem Rollenstuhl. In dem Gefäß befinden sich außer der Suspension 50 Achatkugeln mit einem Durchmesser von 10 mm. Nach der 2stündigen Dispergierung wird die Suspension über ein Sieb abgegossen und danach durch Ultraschallanwendung entgast.

Herstellung der Schicht 1

[0042] Die Suspension 1 wird auf einer Foliengießanlage zu einer Folie vergossen. Die Gießhöhe über der ebenen Unterlage beträgt 0,6 mm. Nach einer Trocknungszeit von 3 h bei Raumtemperatur wird über diese Folie die Suspension 2 mit einer Gießhöhe

he von 0,09 mm gegossen. Nach einer Trocknungszeit von 6 h bei Raumtemperatur wird die so aus zwei Teilschichten/Teilfolien erhaltene Schicht/Folie von der Unterlage entfernt.

Herstellung der Schicht 2

[0043] Die Herstellung der Schicht 2 erfolgt analog dem Verfahren zur Herstellung der Schicht 1.

[0044] Nach dem Vorliegen der beiden Schichten im getrockneten Zustand werden aus beiden Quadrate der Abmessungen $100 \times 100 \text{ mm}^2$ geschnitten. Die Stücke der Schicht 2 werden in eine Form gelegt, die aus einem Rahmen $100 \times 100 \text{ mm}^2$ und aus zwei Preßstempeln mit einer gewellten Oberfläche besteht, und durch Anwendung eines Druckes von 2 MPa verformt. Anschließend werden die beiden Schichten, die eine geprägte und die eine ungeprägte, miteinander verbunden, wobei die aus der Suspension 1 hergestellten Teilschichten einander zugewandt sind.

[0045] Durch dieses Verfahren ist eine Flachmembran mit Kanälen entstanden, die einen wellenförmigen Querschnitt aufweisen.

[0046] Der Flachmembran-Grünkörper wird bei 950°C an Luft gesintert, wodurch die Flachmembran ihre endgültigen Eigenschaften erhält.

Patentansprüche

1. Keramische Flachmembran aus mindestens zwei Schichten gleicher Dicke, die aus mindestens zwei unterschiedlich porösen Teilschichten aufgebaut sind, wobei mindestens eine der Schichten eine gewellte Geometrie aufweist und diese zwei Schichten mindestens punktuell und stoffschlüssig miteinander verbunden sind und dadurch die Flachmembran Kanäle aufweist, deren Querschnitte beliebige Geometrien aufweisen und in Form und Abmessungen über die Länge der Kanäle veränderbar sind.

2. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der die mittlere Porengröße der Teilschichten in Richtung des Filtrates hin zunimmt.

3. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der die eine der zwei Schichten eine planare und die andere eine gewellte Geometrie aufweist.

4. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der beide Schichten eine gewellte Geometrie aufweisen.

5. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der die Kanäle eine längsorientierte Struktur aufweisen.

6. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der die Querschnitte der Kanäle dreieckig, halbkreisförmig, wellenförmig oder trapezförmig ausgebil-

det sind.

7. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der die Zahl der längsorientierten Kanäle zwischen 2 und 500 beträgt.

8. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der das Verhältnis der Dicke der grobporöseren Teilschicht zur Dicke der feinporöseren Teilschicht 5 bis 10 beträgt.

9. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der das Verhältnis der Dicke einer feinporöseren Teilschicht zur Dicke einer weiteren noch feinporöseren Teilschicht 1 bis 10 beträgt.

10. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der der mittlere Porendurchmesser der grobporöseren Teilschicht das 2 bis 10fache des mittleren Porendurchmessers der feinporöseren Teilschicht beträgt.

11. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der der mittlere Porendurchmesser einer feinporöseren Teilschicht das 2 bis 100fache des mittleren Porendurchmessers einer weiteren noch feinporöseren Teilschicht beträgt.

12. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der der mittlere Partikeldurchmesser der grobporöseren Teilschicht das 2 bis 10fache des mittleren Partikeldurchmessers der feinporöseren Teilschicht beträgt.

13. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der der mittlere Partikeldurchmesser einer feinporöseren Teilschicht das 2 bis 100fache des mittleren Partikeldurchmessers einer weiteren noch feinporöseren Teilschicht beträgt.

14. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der wenigstens eine der Teilschichten eine dichte oder nanoporöse anorganische Schicht aufweist.

15. Keramische Flachmembran nach Anspruch 14, bei der die anorganische Schicht eine metallische und/oder keramische Schicht ist.

16. Keramische Flachmembran nach Anspruch 14, bei der die dichte oder nanoporöse Schicht auf die feinporöseste Teilschicht aufgebracht ist.

17. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der einer oder mehrere oder jeder Kanal eine andere Querschnittsgeometrie aufweist.

18. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der die Kanalquerschnittsgeometrien sich periodisch wiederholen.

19. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der einzelne oder alle Kanäle und/oder die gesamte Flachmembran eine in sich verdrehte Form aufweisen.

20. Keramische Flachmembran nach Anspruch 1, bei der die mindestens zwei Schichten aus mindestens zwei miteinander laminierten Teilschichten bestehen.

21. Verfahren zur Herstellung von keramischen Flachmembranen nach einem der Ansprüche 1 bis 16, bei dem aus mindestens zwei keramischen Pulvern gleicher oder unterschiedlicher Zusammensetzung aber unterschiedlicher Partikelgröße oder aus mindestens einem keramischen Pulver und mindestens einer Lösung, die die Vorstufen eines keramischen Materials enthält, unter Zusatz bekannter Additive, Sinterhilfsmittel, Formgebungshilfsmittel, Bindemittel, Dispergierhilfsmittel keramische Suspensionen hergestellt werden, wobei die Partikelgröße der Zusätze nicht größer ist als die größte Partikelgröße der keramischen Pulver, aus einer der Suspensionen mindestens eine Teilschicht geformt und dann die Dispersionsflüssigkeit ganz oder teilweise entfernt wird, danach eine zweite Teilschicht aus der anderen Suspension oder Lösung geformt und die Dispersionsflüssigkeit oder das Lösungsmittel ganz oder teilweise entfernt wird, wobei diese mindestens zwei Teilschichten übereinandergelegt und/oder miteinander zu einer Schicht verbunden werden, anschließend mindestens eine derartige Schicht geprägt und gesintert oder ungesintert mindestens punktuell und stoffschlüssig mit einem nichtgeprägten, gleichartig geprägten, andersartig geprägten oder andersartig strukturierten, gesinterten oder ungesinterten Schicht zu einer Flachmembran verbunden wird, wobei Kanäle mit einer beliebig geformten Querschnittsgeometrie hergestellt werden, und anschließend eine Sinterung erfolgt, sofern noch nicht alle Membranbestandteile gesintert sind.

22. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem als keramische Pulver oxidische oder nichtoxidische Pulver oder Mischungen dieser Pulver eingesetzt werden.

23. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem als keramische Pulver Siliciumcarbid oder Aluminiumoxid oder Zirkonoxid eingesetzt werden.

24. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem als Dispersionsflüssigkeit Wasser eingesetzt wird.

25. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem als Bindemittel ein Gemisch aus mindestens Polyvinylalkohol und mindestens einer thermoplastischen Substanz, wie Stearinsäure, Paraffin, eingesetzt wird.

26. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem als Sinteradditiv ein Glas eingesetzt wird.

27. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem als Lösung, die die Vorstufen eines keramischen Materials enthält, ein Sol eingesetzt wird.

28. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Formung der Teilschichten durch Foliengießen erfolgt.

29. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem nach dem Gießen einer Folie und der Trocknung dieser Folie auf diese eine weitere Folie gegossen wird.

30. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Prägung und Formgebung einer Schicht simultan beim Aufbringen dieser Teilschicht auf die zweite Teilschicht durchgeführt wird.

31. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem das Verhältnis der Spaltbreite einer schlitzartigen Öffnung für das Gießen einer ersten Folie zur Spaltbreite einer schlitzartigen Öffnung für das Gießen einer zweiten Folie darauf 0,1 bis 0,5 beträgt und dieses Verhältnis auch für das Gießen weiterer Folien gilt.

32. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem das Verhältnis des mittleren Partikeldurchmessers einer feinkörnigeren Suspension zum mittleren Partikeldurchmesser einer grobkörnigeren Suspension 0,1 bis 0,5 beträgt und dieses Verhältnis auch für weitere Suspensionen gilt.

33. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Schichtherstellung kontinuierlich aus einem unbeweglichen Behälter auf ein bewegtes Trägerband erfolgt.

34. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Schichtherstellung diskontinuierlich aus einem beweglichen Behälter auf eine unbewegliche Unterlage erfolgt, wobei die unbewegliche Unterlage eine Platte oder eine auf einer Platte fixierte Trägerfolie ist.

35. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem zur Schichtherstellung eine Platte oder ein Trägerband eingesetzt werden, die gewellt, gezackt oder strukturiert sind.

36. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem das Prägen kontinuierlich radial durch zylindrische Stempel mit einer gekrümmten Negativkontur erfolgt.

37. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem das Prägen diskontinuierlich uniaxial durch flächige Stempel mit einer ebenen Negativkontur erfolgt.

38. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem jeweils zwei gegenüberliegende strukturierte Stempel mit der Negativkontur der jeweils beiden Flächen der zu prägenden Schichten eingesetzt werden, wobei der Abstand zwischen den Stempeln und der Anpreß-

druck variiert werden.

39. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Schichten) vor und/oder während und/oder nach dem Prägen erwärmt oder gekühlt werden.

40. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Schichten) vor und/oder während und/oder nach dem Prägen befeuchtet oder getrocknet werden.

41. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Herstellung der Flachmembran aus mindestens einer geprägten Schicht und einer nichtgeprägten, gleichartig geprägten, andersartig geprägten oder andersartig strukturierten Schicht diskontinuierlich uniaxial durch zwei flächige Stempel, wobei einer die ebene Negativkontur der Prägestruktur aufweist, erfolgt.

42. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Herstellung der Flachmembran aus mindestens einer geprägten Schicht und einer nichtgeprägten, gleichartig geprägten, andersartig geprägten oder andersartig strukturierten Schicht kontinuierlich radial durch zwei zylindrische Stempel, wobei jeweils einer die gekrümmte Negativkontur der jeweiligen Prägestruktur aufweist, erfolgt.

43. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem zur Herstellung der mindestens punktuell und stoffschlüssigen Verbindung zwischen zwei Schichten jeweils zwei gegenüberliegende Stempel mit der Negativkontur der jeweils beiden Flächen der aus geprägten und ungeprägten Schichten entstandenen Flachmembran eingesetzt werden, wobei der Abstand zwischen den Stempeln und der Anpreßdruck variiert werden.

44. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die geprägten und/oder ungeprägten Schichten vor und/oder während und/oder nach dem Verbinden mit anderen geprägten und/oder ungeprägten Schichten erwärmt oder gekühlt und/oder befeuchtet oder getrocknet wird.

45. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Prägestempel aus einem Material mit elastischen Eigenschaften besteht.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen