



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 20 2006 017 357 U1 2007.05.31**

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2006 017 357.9**
 (22) Anmeldetag: **21.07.2006**
 (67) aus Patentanmeldung: **PCT/US2006/028530**
 (47) Eintragungstag: **26.04.2007**
 (43) Bekanntmachung im Patentblatt: **31.05.2007**

(51) Int Cl.⁸: **C04B 38/00 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:
737237 16.11.2005 US
323430 30.12.2005 US
322777 30.12.2005 US
323429 30.12.2005 US

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
GEO2 TECHNOLOGIES, INC., Woburn, Mass., US

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:
Viering, Jentschura & Partner, 80538 München

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

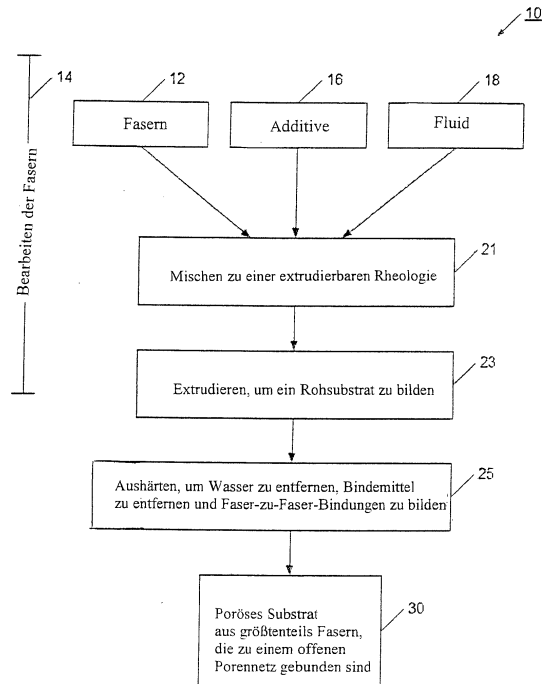
(54) Bezeichnung: **Filterprodukt**

(57) Hauptanspruch: Filterprodukt, aufweisend:
 Poröses keramisches Wabensubstrat (175) mit einer Porosität in dem Bereich von etwa 60 % bis etwa 85 %; mit einer Struktur, die im wesentlichen aus gebundenen keramischen Fasern (12) gebildet ist, und einem Feld von wabenförmigen Kanälen, wobei das Wabensubstrat (175) durch einen Extrusionsprozess (10) mit folgenden Schritten erzeugt wird:

Mischen der Keramikmaterialfaser (12) mit Additiven (16) und einem Fluid (18), um ein extrudierbares Gemisch (21, 52) zu bilden;

Extrudieren des extrudierbaren Gemisches zu einem wabenförmigen Grünkörper-Substrat (23); und

Aushärten des Grünkörper-Substrats (23) zu dem porösen Wabensubstrat (175) durch Bildung von Faser-zu-Faser Bindungen zwischen den Fasern, ein Gehäuse zum Halten des Substrats; einen Einlass zum Aufnehmen eines Fluids und einen Auslass zum Bereitstellen eines gefilterten Fluids.



Beschreibung

HINTERGRUND

1. VERWANDTE ANMELDUNGEN

[0001] Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen US-Patentanmeldung Nummer 60/737,237, eingereicht am 16. November 2005, mit dem Titel „System zum Extrudieren eines porösen Substrats“; der US-Patentanmeldung Nummer 11/323,430, eingereicht am 30. Dezember 2005, mit dem Titel „Extrudierbares Gemisch zum Bilden eines porösen Blocks“; der US-Patentanmeldung Nummer 11/322,777, eingereicht am 30. Dezember 2005, mit dem Titel „Verfahren zum Extrudieren eines porösen Substrats“; und der US-Patentanmeldung Nummer 11/323,429, eingereicht am 30. Dezember 2005, mit dem Titel „Extrudiertes poröses Substrat und Erzeugnisse unter Verwendung desselben“; von denen alle in ihrer Gesamtheit hierin einbezogen sind.

2. GEBIET

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Filterprodukt.

3. BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK

[0003] Viele Prozesse erfordern feste Substrate zum Erleichtern und Unterstützen verschiedener Vorgänge. Zum Beispiel werden Substrate bei Filteranwendungen verwendet, um Schwebstoffe zu filtern, unterschiedliche Substanzen zu trennen oder Bakterien oder Keime aus der Luft zu entfernen. Diese Substrate können derart konstruiert sein, dass sie in Luft, Abgasen oder Flüssigkeiten wirken, und können derart hergestellt werden, dass sie erheblichen Umwelt- oder chemischen Belastungen standhalten. In einem anderen Beispiel werden zur Erleichterung chemischer Reaktionen katalytische Materialien auf die Substrate aufgetragen. Zum Beispiel kann ein Edelmetall auf ein geeignetes Substrat aufgetragen werden, und das Substrat kann dann derart wirken, dass es schädliche Abgase in weniger schädliche Gase katalytisch umwandelt. Typischerweise arbeiten diese festen Substrate wirksamer mit einer höheren Porosität.

[0004] Die Porosität ist im Allgemeinen als die Eigenschaft eines festen Materials definiert, die den prozentualen Anteil des Gesamtvolumens dieses Materials bestimmt, welches von einem offenen Raum eingenommen wird. Zum Beispiel hat ein Substrat mit 50 % Porosität das halbe Volumen des Substrats, das von offenen Räumen eingenommen wird. Auf diese Weise hat ein Substrat mit einer höheren Porosität weniger Masse pro Volumen als ein Substrat mit einer geringeren Porosität. Einige Anwendungen ziehen Nutzen aus einem Substrat mit geringerer Masse. Wenn zum Beispiel ein Substrat verwendet wird, um einen katalytischen Prozess zu unterstützen, und der katalytische Prozess bei einer erhöhten Temperatur arbeitet, erwärmt sich ein Substrat mit einer geringeren thermisch wirksamen Masse schneller auf seine Betriebstemperatur. Auf diese Weise wird die Zeit für den auf seine Betriebstemperatur zu erwärmenden Katalysator, d.h. die Anspringszeit, unter Verwendung eines poröseren und weniger thermisch massiven Substrats reduziert.

[0005] Die Permeabilität ist ebenfalls eine wichtige Eigenschaft für Substrate, insbesondere Filter- und katalytische Substrate. Die Permeabilität steht mit der Porosität dadurch in Beziehung, dass die Permeabilität ein Maß dafür ist, wie leicht ein Fluid, wie eine Flüssigkeit oder ein Gas, durch das Substrat hindurch strömen kann. Die meisten Anwendungen ziehen Nutzen aus einem hochpermeablen Substrat. Zum Beispiel arbeitet ein Verbrennungsmotor effizienter, wenn der NachbehandlungsfILTER einen geringeren Staudruck für den Motor bereitstellt. Ein geringer Staudruck wird durch Verwendung eines höherpermeablen Substrats erzeugt. Da die Permeabilität schwieriger als die Porosität zu messen ist, wird die Porosität häufig als ein Ersatzrichtwert für die Permeabilität eines Substrats verwendet. Jedoch ist dies keine besonders genaue Charakterisierung, da ein Substrat ziemlich porös sein, aber noch eine begrenzte Permeabilität haben kann, wenn die Poren nicht generell offen und miteinander verbunden sind. Zum Beispiel wird ein Styropor-Trinkbecher aus einem hochporösen Schaumstoffmaterial gebildet, ist jedoch permeabel für den Flüssigkeitsstrom. Daher muss in Anbetracht der Bedeutung der Porosität und Permeabilität auch die Porenstruktur des Substrats geprüft werden. In dem Beispiel des Styroporbechers hat das Styropormaterial ein geschlossenes Porennetz. Das heißt, dass der Schaumstoff viele nicht verbundene und/oder geschlossene Poren enthält. Auf diese Weise gibt es viele Lücken und offene Räume in dem Schaumstoff, aber da die Poren nicht verbunden sind, kann kein Fluid oder Gas von der einen Seite des Schaumstoffs zu der anderen strömen. Wenn mehrere der Kanäle beginnen, sich miteinander zu verbinden, beginnen die Fluidpfade, sich von der einen Seite zu der anderen zu bilden. In einem solchen Fall spricht man davon, dass das Material mehrere offene Porennetze besitzt. Je mehr verbundene

Kanäle durch das Material hindurch ausgebildet sind, desto höher ist die Permeabilität für die Substanz. In dem Fall, wo jede Pore mit wenigstens einem anderen Kanal verbunden ist und alle Poren den Fluidstrom durch die gesamte Dicke der aus dem Material gebildeten Wand hindurch ermöglichen, würde das Substrat als ein vollständig offenes Porennetz definiert werden. Es ist wichtig, den Unterschied zwischen Zellen und Poren zu beachten. Als Zellen werden die Kanäle bezeichnet, die (im Allgemeinen, aber nicht unbedingt parallel zueinander) durch das Wabensubstrat hindurch verlaufen. Häufig werden Wabensubstrate im Zusammenhang damit erwähnt, wie viele Zellen pro Quadratinch sie haben. Zum Beispiel hat ein Substrat mit 200 Zellen pro Quadratinch 200 Kanäle entlang der Hauptachse des Substrats. Als Poren werden andererseits die Spalte in dem Material selbst bezeichnet, wie in dem Material, das die Wand bildet, die zwei parallele Kanäle oder Zellen trennt. Vollständig oder größtenteils offene Porennetzsubstrate sind in den Filter- oder Katalysatorindustrien nicht bekannt. Stattdessen sind sogar die meisten porösen verfügbaren extrudierten Substrate eine Mischform aus einer geöffneten und geschlossenen Porenporosität.

[0006] Dementsprechend ist es für viele Anwendungen sehr erwünscht, dass Substrate mit hoher Porosität und mit einer inneren Porenstruktur gebildet werden, die eine gleichermaßen hohe Permeabilität ermöglicht. Ebenso müssen die Substrate mit einer ausreichend festen Struktur gebildet werden, um den strukturellen und umweltbedingten Erfordernissen für besondere Anwendungen Rechnung zu tragen. Zum Beispiel muss ein Filter oder Katalysator, der an einem Verbrennungsmotor angebracht werden soll, in der Lage sein, der möglichen umgebungsbedingten Erschütterung, den thermischen Anforderungen und den Fertigungs- und Nutzungsbeanspruchungen standzuhalten. Schließlich muss das Substrat mit einem Aufwand hergestellt werden können, der gering genug ist, um eine umfassende Benutzung zu ermöglichen. Zum Beispiel muss, um auf das Niveau der weltweiten Schadstoffemission von Kraftfahrzeugen einzuwirken, ein Filtersubstrat sowohl in entwickelten als auch Entwicklungsländern erschwinglich und verwendbar sein. Dementsprechend ist die gesamte Kostenstruktur für Filter- und Katalysatorsubstrate ein wesentlicher Gesichtspunkt bei der Substratgestaltung und dem ausgewählten Verfahren.

[0007] Die Extrusion hat sich als ein effizientes und kostengünstiges Verfahren zur Herstellung fester Substrate mit konstantem Querschnitt erwiesen. Insbesondere ist die Extrusion von Keramikpulvermaterial das am weitesten verbreitete Verfahren zur Herstellung von Filter- und katalytischen Substraten für Verbrennungsmotoren. Mit der Zeit ist das Verfahren zum Extrudieren von Keramikpulver derart fortgeschritten, dass nun Substrate mit Porositäten von annähernd 60 % extrudiert werden können. Diese extrudierten porösen Substrate hatten gute Festigkeitseigenschaften, können flexibel hergestellt werden, können massengefertigt werden, hohe Qualitätsniveaus halten, und sind sehr kostengünstig. Jedoch hat die Extrusion von Keramikpulvermaterial eine praktische Obergrenze der Porosität erreicht, und weitere Erhöhungen der Porosität scheinen zu einer inakzeptablen geringen Festigkeit zu führen. Zum Beispiel hat sich, wenn die Porosität über 60 % erhöht ist, das extrudierte Keramikpulversubstrat als nicht stark genug erwiesen, um in der rauen Umgebung eines Dieselpartikelfilters zu arbeiten. Bei einer anderen Beschränkung der bekannten Extrusionsverfahren war es erwünscht, den Oberflächenbereich in einem Substrat zu vergrößern, um eine effizientere katalytische Umwandlung zu ermöglichen. Um den Oberflächenbereich zu vergrößern, wurde versucht, die Zelldichte der extrudierten Keramikpulversubstrate zu erhöhen, jedoch führte die Erhöhung der Zelldichte zu einem inakzeptablen Staudruck für den Motor. Daher haben die extrudierten Keramikpulversubstrate mit sehr hohen Porositäten keine ausreichende Festigkeit und erzeugen auch einen inakzeptablen Staudruck, wenn ein vergrößerter Oberflächenbereich benötigt wird. Dementsprechend scheint die Extrusion von Keramikpulver ihre praktischen Nutzungsgrenzen erreicht zu haben.

[0008] In dem Bestreben, höhere Porositäten zu erreichen, haben Filterlieferanten versucht, auf gefaltete Keramikpapiere umzustellen. Unter Verwendung solcher gefalteter Keramikpapiere sind Porositäten von etwa 80 % mit sehr geringem Staudruck möglich. Mit einem solchen geringen Staudruck wurden diese Filter bei Anwendungen, wie Bergbau, verwendet, wo ein äußerst geringer Staudruck eine Notwendigkeit ist. Jedoch war die Verwendung der gefalteten Keramikpapierfilter sporadisch und wurde nicht sehr stark angenommen. Zum Beispiel wurden gefaltete Keramikpapiere in rauen Umgebungen nicht wirksam verwendet. Die Herstellung der gefalteten Keramikpapiere erfordert die Verwendung eines Papierherstellungsverfahrens, das Keramikpapierstrukturen erzeugt, die relativ schwach sind und im Vergleich zu extrudierten Filtern nicht kostengünstig zu sein scheinen. Ferner ermöglicht die Bildung von gefalteten Keramikpapieren sehr wenig Flexibilität in der Zellform und Zelldichte. Zum Beispiel ist es schwierig, einen gefalteten Papierfilter mit großen Einlasskanälen und kleineren Auslasskanälen zu erzeugen, welche bei einigen Filteranwendungen erwünscht sein können. Dementsprechend hat die Verwendung von gefalteten Keramikpapieren die Erfordernisse für Filter- und katalytische Substrate mit höherer Porosität nicht erfüllt.

[0009] In einem anderen Beispiel des Bestrebens, die Porosität zu erhöhen und die Nachteile von gefaltetem

Papier zu vermeiden, hat man Substrate durch Formen einer Masse mit keramischen Präkursoren und sorgfältiges Verarbeiten der Masse zu wachsenden monokristallinen Whiskern in einem porösen Muster gebildet. Jedoch erfordert das Wachsen dieser Kristalle an Ort und Stelle eine sorgfältige und genaue Steuerung des Aushärtungsprozesses, was den Prozess für die Massenfertigung schwierig, relativ teuer und anfällig für Fehler macht. Ferner bietet dieser schwierige Prozess nur ein wenig mehr Prozentpunkte in der Porosität. Schließlich entwickelt der Prozess nur einen mullitartigen kristallinen Whisker, welcher die Anwendbarkeit des Substrats beschränkt. Zum Beispiel ist ein Mullit dafür bekannt, dass er einen großen Wärmeausdehnungskoeffizienten hat, was kristalline Mullitwhisker bei vielen Anwendungen unerwünscht macht, die einen breiten Temperaturbereich und genaue Temperaturübergänge erfordern.

[0010] Dementsprechend hat die Industrie einen Bedarf an einem festen Substrat, das eine hohe Porosität und eine entsprechend hohe Permeabilität hat. Bevorzugt würde das Substrat als ein sehr erwünschtes offenes Zellnetz geformt sein, würde kostengünstig in der Herstellung sein und könnte mit flexiblen physikalischen, chemischen und Reaktionseigenschaften hergestellt werden.

ZUSAMMENFASSUNG

[0011] Kurz zusammengefasst, schafft die vorliegende Erfindung ein extrudierbares Gemisch zum Erzeugen eines hochporösen Substrats unter Verwendung eines Extrusionsverfahrens. Insbesondere ermöglicht die vorliegende Erfindung, Fasern, wie organische, anorganische, Glas-, Keramik- oder Metallfasern, zu einer Masse zu vermischen, die, wenn sie extrudiert und ausgehärtet ist, ein hochporöses Substrat bildet. In Abhängigkeit von dem besonderen Gemisch ermöglicht die vorliegende Erfindung Substratporositäten von etwa 60 % bis etwa 90 % und ermöglicht auch Prozessvorteile mit anderen Porositäten. Das extrudierbare Gemisch kann eine breite Vielfalt von Fasern und Additiven verwenden und ist an eine breite Vielfalt von Betriebsumgebungen und Anwendungen anpassbar. Fasern, welche einen Formfaktor von größer als 1 haben, werden nach den Substratanforderungen ausgewählt und werden mit Bindemitteln, Porenbildnern, Extrusionshilfsmitteln und Fluid vermischt, um eine homogene extrudierbare Masse zu bilden. Die homogene Masse wird zu einem Rohsubstrat extrudiert. Das flüchtigere Material wird vorzugsweise aus dem Rohsubstrat entfernt, was ermöglicht, dass sich die Fasern miteinander verbinden und kontaktieren. Während der Aushärtungsprozess andauert, werden Faser-zu-Faser-Bindungen gebildet, um eine Struktur mit einem im Wesentlichen offenen Porennetz zu erzeugen. Das resultierende poröse Substrat ist bei vielen Anwendungen nützlich, zum Beispiel als ein Substrat für ein Filter- oder Katalysatorgehäuse oder einen Katalysator.

[0012] In einem spezielleren Beispiel werden Keramikfasern mit einem Formfaktor zwischen etwa 3 und etwa 1000, obwohl typischer in dem Bereich von etwa 3 bis etwa 500 ausgewählt. Der Formfaktor ist das Verhältnis der Länge der Faser geteilt durch den Durchmesser der Faser. Die Keramikfasern werden mit Bindemittel, Porenbildner und einem Fluid zu einer homogenen Masse vermischt. Ein Schermischprozess wird angewendet, um die Faser gleichmäßig in der Masse vollständiger zu verteilen. Das Keramikmaterial kann etwa 8 bis etwa 40 Volumenprozent der Masse sein, woraus sich ein Substrat ergibt, das zwischen etwa 92 % und etwa 60 % Porosität hat. Die homogene Masse wird zu einem Rohsubstrat extrudiert. Das Bindemittelmateriale wird aus dem Rohsubstrat entfernt, was den Fasern ermöglicht, zu überlappen oder zu kontaktieren. Während der Aushärtungsprozess andauert, werden Faser-zu-Faser-Bindungen gebildet, um ein festes offenes Zellnetz zu erzeugen. Wie in dieser Beschreibung verwendet, ist „Aushärten“ derart definiert, dass es zwei wesentliche Verfahrensschritte umfasst: 1) Bindemittelentfernung und 2) Bindungsbildung. Der Bindemittelentfernungsvorgang entfernt freies Wasser, entfernt den größten Teil der Additive und ermöglicht den Faser-zu-Faser-Kontakt. Das resultierende poröse Substrat ist bei vielen Anwendungen nützlich, zum Beispiel als ein Substrat für einen Filter oder Katalysator.

[0013] In einem anderen speziellen Beispiel kann ein poröses Substrat ohne die Verwendung von Porenbildnern erzeugt werden. In diesem Fall kann das Keramikmaterial etwa 40 bis etwa 60 oder mehr Volumenprozent der Masse sein, woraus sich ein Substrat ergibt, das zwischen etwa 60 % und etwa 40 % Porosität hat. Da kein Porenbildner verwendet wird, ist das Extrusionsverfahren vereinfacht und kostengünstiger. Ebenso ist die resultierende Struktur ein sehr erwünschtes, im Wesentlichen offenes Porennetz.

[0014] Vorteilhafterweise erzeugt das offenbarte Faserextrusionssystem ein Substrat, das eine hohe Porosität hat und sowohl ein offenes Porennetz, das eine entsprechend hohe Permeabilität ermöglicht, als auch eine ausreichende Festigkeit entsprechend den Anforderungserfordernissen hat. Das Faserextrusionssystem erzeugt auch ein Substrat mit ausreichender Kosteneffizienz, um eine umfassende Verwendung der resultierenden Filter und Katalysatoren zu ermöglichen. Das Extrusionssystem ist leicht für die Massenfertigung einsetzbar und ermöglicht, dass flexible chemische Zusammensetzungen und Konstruktionen eine Vielzahl von An-

wendungen unterstützen. Die vorliegende Erfindung stellt eine bahnbrechende Verwendung von Fasermaterial in einem extrudierbaren Gemisch dar. Dieses fasrige extrudierbare Gemisch ermöglicht die Extrusion von Substraten mit sehr hohen Porositäten in einer Massenfertigung und in einer kostengünstigen Weise. Durch Ermöglichen der Verwendung von Fasern in dem reproduzierbaren und robusten Extrusionsprozess ermöglicht die vorliegende Erfindung die Massenfertigung von Filter- und katalytischen Substraten zur weiten Verwendung in der ganzen Welt.

[0015] Diese und andere Merkmale der vorliegenden Erfindung sind aus einer Lesung der folgenden Beschreibung ersichtlich und können durch die Mittel und Kombinationen realisiert werden, die in den beigefügten Ansprüchen besonders aufgezeigt sind.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0016] Die Zeichnungen bilden einen Teil dieser Beschreibung und enthalten beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung, welche in verschiedenen Formen ausgeführt werden können. Es versteht sich, dass in manchen Fällen verschiedene Aspekte der Erfindung übertrieben oder vergrößert gezeigt sein können, um ein Verständnis der Erfindung zu erleichtern.

[0017] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm eines Systems zum Extrudieren eines porösen Substrats gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0018] [Fig. 2](#) ist eine Darstellung eines fasrigen extrudierbaren Gemisches gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0019] [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) sind Darstellungen eines offenen Porennetzes gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0020] [Fig. 4](#) ist ein Elektronenmikroskopbild eines offenen Porennetzes gemäß der vorliegenden Erfindung und eines geschlossenen Porennetzes des Standes der Technik.

[0021] [Fig. 5](#) ist eine Darstellung eines Filterblocks unter Verwendung eines porösen Substrats gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0022] [Fig. 6](#) sind Tabellen von Fasern, Bindemitteln, Porenbildnern, Fluiden und Rheologien, die bei der vorliegenden Erfindung zweckmäßig sind.

[0023] [Fig. 7](#) ist ein Blockdiagramm eines Systems zum Extrudieren eines porösen Substrats gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0024] [Fig. 8](#) ist ein Blockdiagramm eines Systems zum Aushärten eines porösen Substrats gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0025] [Fig. 9](#) ist ein Blockdiagramm eines Systems zum Bearbeiten von Fasern für ein poröses Substrat gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0026] [Fig. 10](#) ist ein Schema zum Extrudieren eines porösen Gradientensubstrats gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0027] [Fig. 11](#) ist ein Schema zum Extrudieren eines porösen Gradientensubstrats gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0028] [Fig. 12](#) ist ein Schema zum Extrudieren eines porösen Gradientensubstrats gemäß der vorliegenden Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0029] Ausführliche Beschreibungen von Beispielen der Erfindung sind hierin vorgesehen. Es versteht sich jedoch, dass die vorliegende Erfindung in verschiedenen Formen veranschaulicht werden kann. Daher sind die hierin offenbarten speziellen Details nicht als Einschränkung zu interpretieren, sondern vielmehr als eine repräsentative Grundlage zum Lehren eines technisch versierten Fachmanns, wie die vorliegende Erfindung

in nahezu jedem(r) eingehenden System, Struktur oder Methode anzuwenden ist.

[0030] Mit Bezug auf [Fig. 1](#) wird nun ein System zum Extrudieren eines porösen Substrats erläutert. Im Allgemeinen nutzt ein System **10** ein Extrusionsverfahren, um ein Rohsubstrat zu extrudieren, das zu dem hochporösen Endsubstratprodukt ausgehärtet werden kann. Das System **10** erzeugt vorteilhafterweise ein Substrat mit hoher Porosität, das sowohl ein im Wesentlichen offenes Porennetz, das eine entsprechend hohe Permeabilität ermöglicht, als auch eine ausreichende Festigkeit entsprechend den Anforderungserfordernissen hat. Das System **10** erzeugt auch ein Substrat mit ausreichender Kosteneffizienz, um eine umfassende Verwendung der resultierenden Filter und Katalysatoren zu ermöglichen. Das System **10** ist leicht für die Massenfertigung einsetzbar und ermöglicht, dass flexible chemische Zusammensetzungen und Konstruktionen eine Vielzahl von Anwendungen unterstützen.

[0031] Das System **10** ermöglicht einen hochflexiblen Extrusionsvorgang, so dass es in der Lage ist, einen breiten Bereich von speziellen Anwendungen abzudecken. Bei der Verwendung des Systems **10** bestimmt der Substratgestalter zuerst die Erfordernisse für das Substrat. Diese Erfordernisse können zum Beispiel Beschränkungen der Größe, Fluidpermeabilität, gewünschten Porosität, Porengröße, mechanischen Festigkeit und Stoßeigenschaften, Wärmebeständigkeit und chemischen Reaktionsfähigkeit umfassen. Nach diesen und anderen Erfordernissen wählt der Gestalter Materialien zur Verwendung beim Bilden eines extrudierbaren Gemisches aus. Bedeutenderweise ermöglicht das System **10** die Verwendung von Fasern **12** bei der Bildung eines extrudierten Substrats. Diese Fasern können zum Beispiel Keramikfasern, organische Fasern, anorganische Fasern, Polymerfasern, Oxidfasern, glasige Fasern, Glasfasern, amorphe Fasern, kristalline Fasern, Nichtoxidfasern, Karbidfasern, Metallfasern, andere anorganische Faserstrukturen oder eine Kombination aus diesen sein. Jedoch wird zur Erleichterung der Erläuterung die Verwendung von Keramikfasern beschrieben, obwohl es sich versteht, dass auch andere Fasern verwendet werden können. Ebenso wird das Substrat häufig als ein Filtersubstrat oder ein katalytisches Substrat beschrieben, obwohl auch andere Verwendungen betrachtet werden und innerhalb des Bereichs dieser Lehre sind. Der Gestalter wählt die besondere Art der Faser auf der Basis der anwendungsspezifischen Anforderungen aus. Zum Beispiel kann die Keramikfaser als eine Mullfaser, eine Aluminiumsilikatfaser oder ein anderes allgemein verfügbares Keramikfasermaterial ausgewählt werden. Die Fasern müssen bei **14** üblicherweise bearbeitet werden, indem man die Fasern auf eine brauchbare Länge schneidet, was einen Schneidvorgang vor dem Vermischen der Fasern mit Additiven umfassen kann. Ebenso schneiden die verschiedenen Misch- und Formgebungsschritte bei dem Extrusionsverfahren weiter die Fasern.

[0032] Nach den speziellen Erfordernissen werden Additive **16** hinzugefügt. Diese Additive **16** können Bindemittel, Dispersionsmittel, Porenbildner, Weichmacher, Verarbeitungshilfsmittel und Verstärkungsmaterialien umfassen. Ebenso wird ein Fluid **18**, welches üblicherweise Wasser ist, mit den Additiven **16** und den Fasern **12** kombiniert. Die Fasern, die Additive und das Fluid werden zu einer extrudierbaren Rheologie **21** vermischt. Dieses Mischen kann Trockenmischen, Nassmischen und Schermischen umfassen. Die Fasern, die Additive und das Fluid werden gemischt, bis eine homogene Masse erzeugt wird, was die Fasern in der Masse gleichmäßig verteilt und anordnet. Die fasrige und homogene Masse wird dann extrudiert, um ein Rohsubstrat **23** zu bilden. Das Rohsubstrat hat eine ausreichende Festigkeit, um bis zu den übrigen Prozessen zusammenzuhalten.

[0033] Das Rohsubstrat wird dann bei **25** ausgehärtet. Wie in dieser Beschreibung verwendet, ist „Aushärten“ derart definiert, dass es zwei wesentliche Verfahrensschritte umfasst: 1) Bindemittelentfernung und 2) Bindungsbildung. Der Bindemittelentfernungsvorgang entfernt freies Wasser, entfernt den größten Teil der Additive und ermöglicht den Faser-zu-Faser-Kontakt. Häufig wird das Bindemittel unter Verwendung eines Erwärmungsvorgangs entfernt, der das Bindemittel abbrennt, jedoch versteht es sich, dass andere Entfernungsvorgänge in Abhängigkeit von den benutzten speziellen Bindemittel verwendet werden können. Zum Beispiel können manche Bindemittel unter Verwendung eines Verdampfungs- oder Sublimationsvorgangs entfernt werden. Manche Bindemittel und/oder andere organische Komponenten können vor dem Abbau in eine Dampfphase geschmolzen werden. Während der Aushärtungsvorgang andauert, werden Faser-zu-Faser-Bindungen gebildet. Diese Bindungen fördern die gesamte Strukturfestigkeit und erzeugen auch die gewünschte Porosität und Permeabilität für das Substrat. Dementsprechend ist das ausgehärtete Substrat **30** ein hochporöses Substrat aus größtenteils Fasern, die zu einem offenen Porennetz **30** gebunden sind. Das Substrat kann dann als ein Substrat für viele Anwendungen, einschließlich als ein Substrat für Filteranwendungen und Katalysatoranwendungen verwendet werden. Vorteilhafterweise hat das System **10** ein erwünschtes Extrusionsverfahren ermöglicht, um Substrate mit Porositäten von bis zu etwa 90 % herzustellen.

[0034] Mit Bezug auf [Fig. 2](#) wird nun ein extrudierbares Material **50** erläutert. Das extrudierbare Material **50**

ist zur Extrusion aus einem Extruder, wie einem Kolben- oder Schneckenextruder, bereit. Das extrudierbare Gemisch **52** ist eine homogene Masse, die Fasern, Weichmacher und andere Additive enthält, wie es durch die spezielle Anwendung erforderlich ist. [Fig. 2](#) stellt einen vergrößerten Abschnitt **54** der homogenen Masse dar. Es versteht sich, dass der vergrößerte Abschnitt **54** nicht im Maßstab gezeichnet werden kann, sondern als ein Hilfsmittel für diese Beschreibung vorgesehen ist. Das extrudierbare Gemisch **52** enthält Fasern, wie Fasern **56**, **57** und **58**. Diese Fasern wurden ausgewählt, um ein stark poröses und festes Endsubstrat mit gewünschten thermischen, chemischen, mechanischen und Filtrationseigenschaften zu erzeugen. Wie es sich versteht, wurden im Wesentlichen fasrige Körper nicht als extrudierbar in Betracht gezogen, da sie keine eigene Plastizität haben. Jedoch wurde herausgefunden, dass durch genaue Auswahl von Weichmachern und durch Prozesssteuerung ein extrudierbares Gemisch **52** aus Fasern extrudiert werden kann. Auf diese Weise können die Kosten-, Massenfertigungs- und Flexibilitätsvorteile der Extrusion erweitert werden, indem die Vorteile einbezogen werden, die aus der Verwendung von fasrigem Material zur Verfügung stehen.

[0035] Im Allgemeinen wird eine Faser als ein Material mit einem relativ kleinen Durchmesser und einem Formfaktor von größer als Eins betrachtet. Der Formfaktor ist das Verhältnis der Länge der Faser geteilt durch den Durchmesser der Faser. Wie hierin verwendet, wird bei dem „Durchmesser“ der Faser der Einfachheit halber davon ausgegangen, dass die Querschnittsform der Faser ein Kreis ist; diese vereinfachte Annahme wird für Fasern unabhängig von ihrer tatsächlichen Querschnittsform angewendet. Zum Beispiel hat eine Faser mit einem Formfaktor von 10 eine Länge, die dem 10-fachen Durchmesser der Faser entspricht. Der Durchmesser der Faser kann 6 Mikrometer sein, obwohl die Durchmesser in dem Bereich von etwa 1 Mikrometer bis etwa 25 Mikrometer leicht verfügbar sind. Es versteht sich, dass Fasern mit vielen anderen Durchmessern und Formfaktoren in dem System **10** erfolgreich verwendet werden können. Wie mit Bezug auf spätere Figuren ausführlicher beschrieben ist, gibt es mehrere Alternativen zum Auswählen von Formfaktoren für die Fasern. Es versteht sich auch, dass die Form der Fasern in starkem Gegensatz zu dem üblichen Keramikpulver steht, wo der Formfaktor jedes Keramikpartikels annähernd 1 ist.

[0036] Die Fasern für das extrudierbare Gemisch **52** können metallisch sein (manchmal auch als metallische Drähte mit dünnem Durchmesser bezeichnet), obwohl [Fig. 2](#) in Bezug auf Keramikfasern diskutiert wird. Die Keramikfasern können in einem amorphen Zustand, einem glasigen Zustand, einem kristallinen Zustand, einem polykristallinen Zustand, einem monokristallinen Zustand oder einem glaskeramischen Zustand sein. Beim Bilden des extrudierbaren Gemisches **52** wird ein relativ geringes Volumen von Keramikfaser verwendet, um das poröse Substrat zu erzeugen. Zum Beispiel kann das extrudierbare Gemisch **52** nur etwa 10 bis 40 Volumenprozent Keramikfasermaterial haben. Auf diese Weise hat nach dem Aushärten das resultierende poröse Substrat eine Porosität von etwa 90 % bis etwa 60 %. Es versteht sich, dass andere Mengen von Keramikfasermaterial ausgewählt werden können, um andere Porositätswerte zu erzeugen.

[0037] Um ein extrudierbares Gemisch zu erzeugen, werden die Fasern üblicherweise mit einem Weichmacher kombiniert. Auf diese Weise werden die Fasern mit anderen ausgewählten organischen oder anorganischen Additiven kombiniert. Diese Additive bilden drei Haupteigenschaften für das Extrudat. Erstens ermöglichen die Additive, dass das extrudierbare Gemisch eine Rheologie hat, die zum Extrudieren geeignet ist. Zweitens verleihen die Additive dem extrudierten Substrat, welches üblicherweise als Rohsubstrat bezeichnet wird, eine ausreichende Festigkeit, um seine Form zu halten und die Fasern zu positionieren, bis diese Additive während des Aushärtungsvorgangs entfernt werden. Drittens werden schließlich die Additive derart ausgewählt, dass sie in dem Aushärtungsvorgang in einer Weise abbrennen, welche die Anordnung der Fasern in einer überlappenden Konstruktion erleichtert und die Bildung einer festen Struktur nicht schwächt. Üblicherweise enthalten die Additive ein Bindemittel, wie das Bindemittel **61**. Das Bindemittel **61** wirkt als ein Hilfsmittel, um die Fasern in der Position zu halten und dem Rohsubstrat Festigkeit zu verleihen. Die Fasern und Bindemittel können verwendet werden, um ein poröses Substrat mit einer relativ hohen Porosität zu erzeugen. Jedoch können, um die Porosität weiter gleichmäßig zu erhöhen, zusätzliche Porenbildner, wie der Porenbildner **63**, hinzugefügt werden. Die Porenbildner werden hinzugefügt, um den offenen Raum in dem ausgehärteten Endsubstrat zu vergrößern. Die Porenbildner können in der Form sphärisch, länglich, fasrig oder unregelmäßig sein. Die Porenbildner werden nicht nur für ihre Fähigkeit, einen offenen Raum zu erzeugen, und auf der Basis ihres thermischen Abbauverhaltens ausgewählt, sondern auch für die Unterstützung bei der Ausrichtung der Fasern. Auf diese Weise unterstützen die Porenbildner die Anordnung der Fasern zu einem überlappenden Muster, um die geeignete Bindung zwischen den Fasern während eines späteren Stadiums der Aushärtung zu erleichtern. Außerdem spielen Porenbildner auch eine Rolle bei der Ausrichtung der Fasern in bevorzugte Richtungen, was Einfluss auf die Wärmeausdehnung des extrudierten Materials und die Festigkeit entlang verschiedener Achsen hat.

[0038] Wie oben kurz beschrieben, kann das extrudierbare Gemisch **52** eine oder mehrere Fasern verwenden.

den, die aus vielen Arten von verfügbaren Fasern ausgewählt sind. Ferner kann die ausgewählte Faser mit einem oder mehreren Bindemitteln kombiniert werden, die aus einer breiten Vielfalt von Bindemitteln ausgewählt sind. Ebenso können ein oder mehrere Porenbildner hinzugefügt werden, die aus einer Vielfalt von Porenbildnern ausgewählt sind. Das extrudierbare Gemisch kann Wasser oder anderes Fluid als dessen Weichmachmittel verwenden und kann andere Additive hinzugefügt haben. Diese Flexibilität bei der Bildung der chemischen Zusammensetzung ermöglicht, dass das extrudierbare Gemisch **52** vorteilhafterweise bei vielen unterschiedlichen Arten von Anwendungen verwendet werden kann. Zum Beispiel können Gemischkombinationen nach den erforderlichen Umgebungs-, Temperatur-, chemischen, physikalischen und anderen Anforderungen ausgewählt werden. Ferner kann, da das extrudierbare Gemisch **52** für die Extrusion vorbereitet ist, das extrudierte Endprodukt flexibel und wirtschaftlich gebildet werden. Obwohl in [Fig. 2](#) nicht dargestellt, wird das extrudierbare Gemisch **52** mittels eines Schnecken- oder Kolbenextruders extrudiert, um ein Rohsubstrat zu bilden, welches dann zu dem porösen Endsubstratprodukt ausgehärtet wird.

[0039] Die vorliegende Erfindung stellt eine bahnbrechende Verwendung von Fasermaterial in einem Kunststoffblock oder Gemisch zur Extrusion dar. Dieses fasrige extrudierbare Gemisch ermöglicht die Extrusion von Substraten mit sehr hohen Porositäten in einer Massenfertigung und in kostengünstiger Weise. Durch Ermöglichen der Verwendung der Fasern bei dem reproduzierbaren und robusten Extrusionsverfahren ermöglicht die vorliegende Erfindung die Massenfertigung von Filter- und katalytischen Substraten zur breiten Verwendung in der ganzen Welt.

[0040] Mit Bezug auf [Fig. 3A](#) ist ein vergrößerter ausgehärteter Bereich eines porösen Substrats dargestellt. Der Substratabschnitt **100** ist nach der Bindemittellentfernung **102** und nach dem Aushärtungsvorgang **110** dargestellt. Nach der Bindemittellentfernung **102** werden die Fasern, wie die Faser **103** und **104**, zunächst in Position mit Bindemittelmaterial gehalten, und wenn das Bindemittelmaterial abbrennt, werden die Fasern derart freigelegt, dass sie in einer überlappenden, aber losen Struktur sind. Ebenso kann ein Porenbildner **105** positioniert sein, um sowohl einen offenen Raum zu erzeugen als auch die Fasern auszurichten oder anzuordnen. Da die Fasern nur ein relativ geringes Volumen des extrudierbaren Gemisches haben, existieren viele offene Räume **107** zwischen den Fasern. Wenn das Bindemittel und der Porenbildner abgebrannt sind, können sich die Fasern leicht verschieben, um weiter einander zu kontaktieren. Das Bindemittel und die Porenbildner werden ausgewählt, um in einer gesteuerten Weise derart abzubrennen, dass sie nicht die Anordnung der Fasern unterbrechen oder das Substrat beim Abbrennen zusammenfallen lassen. Üblicherweise werden das Bindemittel und die Porenbildner derart ausgewählt, dass sie vor dem Bilden von Bindungen zwischen den Fasern abbauen oder abbrennen. Während der Aushärtungsvorgang andauert, beginnen die überlappenden und sich berührenden Fasern, Bindungen zu bilden. Es versteht sich, dass die Bindungen in verschiedenartiger Weise gebildet werden können. Zum Beispiel können die Fasern erwärmt werden, um die Bildung einer flüssigkeitsunterstützten Sinterbindung an dem Schnittpunkt oder Knotenpunkt der Fasern zu ermöglichen. Dieses Sintern im flüssigen Zustand kann sich aus den besonders ausgewählten Fasern oder aus zusätzlichen Additiven ergeben, die zu dem Gemisch hinzugefügt oder an den Fasern beschichtet sind. In anderen Fällen kann es erwünscht sein, eine Sinterbindung im festen Zustand zu bilden. In diesem Fall bilden die sich kreuzenden Bindungen eine Kornstruktur, welche die überlappenden Fasern verbindet. In dem Rohzustand haben die Fasern noch keine physikalischen Bindungen miteinander gebildet, können jedoch infolge des Verwickelns der Fasern miteinander noch ein gewisses Maß an Rohfestigkeit besitzen. Die besondere Art der ausgewählten Bindung ist von der Auswahl der Ausgangsmaterialien, der gewünschten Festigkeit und der wirkenden chemischen Zusammensetzungen und Umgebungen abhängig. In manchen Fällen werden die Bindungen durch das Vorhandensein von anorganischen Bindemitteln verursacht, die das Gemisch darstellen, das die Fasern in einem Verbundnetz zusammenhält, und die während des Aushärtungsvorgangs nicht abbrennen.

[0041] Vorteilhafterweise erleichtert die Bildung von Bindungen, wie der Bindungen **112**, das Bilden einer im Wesentlichen festen Struktur mit den Fasern. Die Bindungen ermöglichen auch die Bildung eines offenen Porennetzes mit sehr hoher Porosität. Zum Beispiel wird ein offener Raum **116** durch den Raum zwischen den Fasern natürlich erzeugt. Ein offener Raum **114** wird erzeugt, wenn der Porenbildner **105** herabfällt oder abbrennt. Auf diese Weise erzeugt der Vorgang zur Bildung der Faserbindung ein offenes Porennetz ohne oder nahezu ohne begrenzte Kanäle. Dieses offene Porennetz erzeugt eine hohe Permeabilität und hohe Filtrationseffizienz und ermöglicht einen großen Oberflächenbereich beispielsweise zum Hinzufügen eines Katalysators. Es versteht sich, dass die Bildung von Bindungen von der Art der gewünschten Bindung, wie Sintern im festen Zustand oder flüssigkeitsunterstützten/flüssigen Zustand, und Additiven abhängen kann, die während des Aushärtungsvorgangs vorhanden sind. Zum Beispiel können die Additive, die besondere Faserauswahl, die Zeit der Erwärmung, das Niveau der Wärme und die Reaktionsumgebung sämtlich angepasst werden, um eine besondere Art der Bindung zu erzeugen.

[0042] Mit Bezug auf [Fig. 3B](#) wird nun ein vergrößerter ausgehärteter Bereich eines porösen Substrats erläutert. Der Substratabschnitt **120** ist nach der Bindemittelfernung **122** und nach dem Aushärtungsvorgang **124** dargestellt. Der Substratabschnitt **120** ist ähnlich wie der Substratabschnitt **100**, der mit Bezug auf [Fig. 3A](#) beschrieben ist, so dass nicht ausführlich beschrieben wird. Das Substrat **120** wurde ohne die Verwendung von speziellen Porenbildnern gebildet, so dass sich das gesamte offene Porennetz **124** aus der Positionierung der Fasern mit einem Bindemittelmaterial ergeben hat. Auf diese Weise können Substrate mit angemessener hoher Porosität ohne die Verwendung irgendwelcher spezieller Porenbildner gebildet werden, wodurch die Kosten und die Komplexität für die Herstellung solcher Substrate mit angemessener Porosität reduziert werden. Es wurde herausgefunden, dass Substrate mit einer Porosität im Bereich von etwa 40 % bis etwa 60 % auf diese Weise hergestellt werden können.

[0043] Mit Bezug auf [Fig. 4](#) wird nun ein Elektronenmikroskopbildsatz **150** erläutert. Der Bildsatz **150** stellt zuerst ein offenes Porennetz **152** dar, das nach Wunsch unter Verwendung eines fasrigen extrudierbaren Gemisches erzeugt wird. Wie zu sehen ist, haben die Fasern Bindungen mit sich kreuzenden Faserknotenpunkten gebildet, und Porenbildner und Bindemittel wurden unter Belassen eines porösen offenen Porennetzes abgebrannt. Im starken Gegensatz dazu stellt das Bild **154** ein typisches geschlossenes Zellnetz dar, das unter Verwendung bekannter Verfahren hergestellt ist. Das teilweise geschlossene Porennetz hat eine relativ hohe Porosität, jedoch stammt zumindest ein Teil der Porosität von geschlossenen Kanälen. Diese geschlossenen Kanäle tragen nicht zur Permeabilität bei. Auf diese Weise hat von einem offenen Porennetz und einem geschlossenen Porennetz mit derselben Porosität das offene Porennetz eine wünschenswertere Permeabilitätscharakteristik.

[0044] Das extrudierbare Gemisch und der Prozess, die im Allgemeinen so weit beschrieben sind, werden verwendet, um ein sehr vorteilhaftes und poröses Substrat zu erzeugen. In einem Beispiel kann das poröse Substrat zu einem Filterblocks substrat **175** extrudiert werden, wie in [Fig. 5](#) dargestellt ist. Der Substratblock **175** wurde unter Verwendung eines Kolben- oder Schneckenextruders extrudiert. Der Extruder könnte klimatisiert sein, um bei Raumtemperatur, etwas erhöhter Temperatur oder in einem gesteuerten Temperaturfenster zu arbeiten. Außerdem könnten verschiedene Teile des Extruders auf unterschiedliche Temperaturen erwärmt werden, um auf die Verzögerungseigenschaften, die Vorgeschichte des Scherens und die Gelbildungseigenschaften einzuwirken. Außerdem kann auch die Größe der Extrusionspressformen dementsprechend bemessen werden, um die erwartete Schrumpfung in dem Substrat während des Erwärmungs- und Sintervorgangs zu regeln. Vorteilhafterweise war das extrudierbare Gemisch ein fasriges extrudierbares Gemisch mit ausreichend Weichmacher und anderen Additiven, um die Extrusion von fasrigem Material zu ermöglichen. Der extrudierte Block im Rohzustand wurde ausgehärtet, um das freie Wasser zu entfernen, Additive abzubrennen und strukturelle Bindungen zwischen den Fasern zu bilden. Der resultierende Block **175** hat sowohl sehr erwünschte Porositätseigenschaften als auch eine ausgezeichnete Permeabilität und einen sehr brauchbaren Oberflächenbereich. Ebenso kann der Block **175** in Abhängigkeit von den besonderen ausgewählten Fasern und Additiven für eine vorteilhafte Tiefenfilterung konstruiert werden. Der Block **176** hat Kanäle **179**, die sich längs durch den Block hindurch erstrecken. Die Einlässe zu dem Block **178** können für einen Durchströmvorgang offen gelassen werden, oder jede andere Öffnung kann verstopft werden, um einen Wandströmungseffekt zu erzeugen. Obwohl der Block **175** mit hexagonalen Kanälen gezeigt ist, versteht es sich, dass andere Muster und Größen verwendet werden können. Zum Beispiel können die Kanäle mit einem gleichmäßig großen quadratischen, rechteckigen oder dreieckigen Kanalmuster; einem quadratisch/rechteckigen oder oktagon/quadratischen Kanalmuster mit größeren Einlasskanälen; oder mit einem anderen symmetrischen oder asymmetrischen Kanalmuster versehen sein. Die genauen Formen und Größen der Kanäle oder Zellen können durch Anpassen der Gestaltung der Pressform abgestimmt werden. Zum Beispiel kann ein quadratischer Kanal derart gestaltet sein, dass er gekrümmte Ecken unter Verwendung von EDM (Funkenerosion) hat, um die Zapfen in der Pressform zu formen. Solche gerundeten Ecken werden erwartet, um trotz eines etwas höheren Staudrucks die Festigkeit des Endprodukts zu erhöhen. Außerdem kann die Pressformgestaltung modifiziert werden, um Wabensubstrate zu extrudieren, wo die Wände unterschiedliche Dicken haben und die Außenhaut eine andere Dicke als der Rest der Wände hat. Gleichermaßen kann bei manchen Anwendungen eine Außenhaut auf das extrudierte Substrat zur endgültigen Bestimmung der Größe, Form, Kontur und Festigkeit aufgebracht werden.

[0045] Bei der Verwendung als eine Durchströmvorrichtung ermöglicht die hohe Porosität des Blocks **176** einen großen Oberflächenbereich für die Anwendung des katalytischen Materials. Auf diese Weise kann ein sehr wirksamer und effizienter Katalysator mit einer geringen thermisch wirksamen Masse hergestellt werden. Mit einer solchen geringen thermisch wirksamen Masse hat der resultierende Katalysator gute Ansprungeigenschaften und nutzt effizient das katalytische Material. Bei der Verwendung in einem Beispiel der Wandströmung oder Wandfilterung ermöglicht die hohe Permeabilität der Substratwände relativ geringe Staudrücke, wo-

bei der Tiefenfilterung erleichtert wird. Diese Tiefenfilterung ermöglicht eine effiziente teilweise Entfernung und erleichtert auch wirksamer die Regenerierung. Bei der Gestaltung der Wandströmung wird das durch das Substrat hindurch strömende Fluid gezwungen, sich durch die Wände des Substrats hindurch zu bewegen, wodurch ein direkterer Kontakt mit den Fasern ermöglicht wird, welche die Wand bilden. Diese Fasern bieten einen großen Oberflächenbereich für eventuelle Reaktionen, die derart ablaufen, als ob ein Katalysator vorhanden wäre. Da das extrudierbare Gemisch aus einer breiten Vielfalt von Fasern, Additiven und Fluiden gebildet werden kann, kann die chemische Zusammensetzung des extrudierbaren Gemisches angepasst werden, um einen Block mit speziellen Eigenschaften zu erzeugen. Zum Beispiel werden, wenn der endgültige Block als Dieselpartikelfilter gewünscht wird, die Fasern derart ausgewählt, dass sie zu einem sicheren Betrieb sogar bei der extremen Temperatur einer ungesteuerten Regenerierung beitragen. In einem anderen Beispiel werden, wenn der Block dazu verwendet werden soll, um eine besondere Art von Abgas zu filtern, die Faser und die Bindungen derart ausgewählt, dass sie nicht mit dem Abgas in dem erwarteten Betriebstemperaturbereich reagieren. Obwohl die Vorteile des Substrats mit hoher Porosität mit Bezug Filter und Katalysatoren beschrieben wurden, versteht es sich, dass es viele andere Anwendungen für das hochporöse Substrat gibt.

[0046] Das fasrige extrudierbare Gemisch, wie mit Bezug auf [Fig. 2](#) beschrieben, kann aus einer breiten Vielfalt von Ausgangsmaterialien gebildet werden. Die Auswahl der geeigneten Materialien basiert im Allgemeinen auf den chemischen, mechanischen und Umgebungsbedingungen, unter denen das Endsubstrat arbeiten muss. Dementsprechend ist es ein erster Schritt bei der Gestaltung eines porösen Substrats, die endgültige Anwendung für das Substrat zu verstehen. Auf der Basis dieser Erfordernisse können besondere Fasern, Bindemittel, Porenbildner, Fluide und andere Materialien ausgewählt werden. Es versteht sich, dass das Verfahren, das bei den ausgewählten Materialien angewendet wird, Einfluss auf das Endsubstratprodukt haben kann. Da die Faser das Hauptstrukturmaterial in dem Endsubstratprodukt ist, ist die Auswahl des Fasermaterials entscheidend dafür, dass das Endsubstrat in seiner beabsichtigten Anwendung arbeiten kann. Dementsprechend werden die Fasern nach den erforderlichen Bindungsanforderungen ausgewählt, und eine besondere Art von Bindungsvorgang wird ausgewählt. Der Bindungsvorgang kann ein Sintern im flüssigen Zustand, ein Sintern im festen Zustand oder eine Verbindung sein, die ein Bindemittel, wie einen Glasbildner, Glas, Schichtsilikate, Keramik, keramische Präkursoren oder kolloide Lösungen, erfordert. Das Bindemittel kann ein Teil einer der Faserkonstruktionen, eine Beschichtung an der Faser oder eine Komponente in einem der Additive sein. Es versteht sich auch, dass mehr als eine Art von Faser ausgewählt werden kann. Es versteht sich ebenso, dass einige Fasern während des Aushärtungs- und Bindungsvorgangs verbraucht werden können. Bei der Auswahl der Faserzusammensetzung ist die Endbetriebstemperatur ein wichtiger Gesichtspunkt, so dass die Wärmebeständigkeit der Faser aufrechterhalten werden kann. In einem anderen Beispiel wird die Faser derart ausgewählt, dass sie in der Gegenwart von erwarteten Gasen, Flüssigkeiten oder festen Schwebstoffen chemisch inaktiv und nicht reagierend bleibt. Die Faser kann auch nach ihren Kosten ausgewählt werden, und einige Fasern können infolge ihrer geringen Abmessungen gesundheitliche Bedenken darstellen, so dass ihre Verwendung vermieden werden kann. In Abhängigkeit von der mechanischen Umgebung werden die Fasern nach ihrer Fähigkeit ausgewählt, sowohl eine starke feste Struktur zu bilden als auch die erforderliche mechanische Integrität beizubehalten. Es versteht sich, dass die Auswahl einer geeigneten Faser oder eines Satzes von Fasern Kompromisse zwischen Ausführung und Anwendung mit sich bringen kann. [Fig. 6](#), Tabelle 1 zeigt verschiedene Arten von Fasern, die verwendet werden können, um ein fasriges extrudierbares Gemisch zu bilden. Im Allgemeinen können die Fasern oxid- oder nichtoxidkeramisch, gläsern, organisch, anorganisch sein, oder sie können metallisch sein. Für keramische Materialien können die Fasern in verschiedenen Zuständen, wie amorph, glasig, polykristallin oder monokristallin, sein. Obwohl Tabelle 1 viele verfügbare Fasern aufzeigt, versteht es sich, dass andere Arten von Fasern verwendet werden können.

[0047] Die Bindemittel und Porenbildner können dann sowohl nach der Art der ausgewählten Fasern als auch nach anderen gewünschten Eigenschaften ausgewählt werden. In einem Beispiel wird das Bindemittel derart ausgewählt, dass es eine besondere Art von Bindung im flüssigen Zustand zwischen den ausgewählten Fasern erleichtert. Insbesondere hat das Bindemittel eine Komponente, welche bei einer Bindungstemperatur derart reagiert, dass sie den Fluss einer flüssigen Verbindung zu den Knotenpunkten der sich kreuzenden Fasern erleichtert. Ebenso wird das Bindemittel für seine Fähigkeit ausgewählt, sowohl die ausgewählte Faser weichzumachen als auch deren Festigkeit im Rohzustand beizubehalten. In einem Beispiel wird das Bindemittel auch nach der Art der verwendeten Extrusion und der erforderlichen Temperatur für die Extrusion ausgewählt. Zum Beispiel bilden manche Bindemittel eine gallertartige Masse, wenn sie zu sehr erwärmt werden, und können daher nur bei Extrusionsverfahren mit geringer Temperatur verwendet werden. In einem anderen Beispiel kann das Bindemittel nach seinen Stoß- oder Schermischeigenschaften ausgewählt werden. Auf diese Weise kann das Bindemittel das Schneiden der Fasern mit dem gewünschten Formfaktor während des Mischvorgangs erleichtern. Das Bindemittel kann auch nach seinen Abbau- oder Abbrenneigenschaften ausgewählt werden. Das Bindemittel muss in der Lage sein, die Fasern generell an Ort und Stelle zu halten und

die sich bildende Faserstruktur während des Abbrennens nicht zu unterbrechen. Zum Beispiel können, wenn das Bindemittel zu schnell oder heftig abbrennt, die austretenden Gase die sich bildende Struktur unterbrechen. Ebenso kann das Bindemittel nach der Menge des Restes des Binders ausgewählt werden, der nach dem Abbrennen hinterlassen wird. Manche Anwendungen können hochempfindlich gegen solche Reste sein.

[0048] Porenbildner können für die Bildung von relativ angemessenen Porositäten nicht benötigt werden. Zum Beispiel können die natürliche Anordnung und Verdichtung der Fasern innerhalb des Bindemittels zusammenwirken, um eine Porosität von etwa 40 % bis etwa 60 % zu ermöglichen. Auf diese Weise kann ein Substrat mit angemessener Porosität unter Verwendung eines Extrusionsverfahrens ohne die Verwendung von Porenbildnern erzeugt werden. In manchen Fällen ermöglicht die Beseitigung von Porenbildnern ein poröses Substrat, das im Vergleich zu bekannten Verfahren wirtschaftlicher herzustellen ist. Jedoch können, wenn eine Porosität von mehr als etwa 60 % erforderlich ist, Porenbildner verwendet werden, um einen zusätzlichen Luftraum innerhalb des Substrats nach dem Aushärten zu bewirken. Die Porenbildner können auch nach ihren Abbau- oder Abbrenneigenschaften ausgewählt werden, und können auch nach ihrer Größe und Form ausgewählt werden. Die Porengröße kann zum Beispiel zum Abscheiden besonderer Arten von Schwebstoffen oder zum Ermöglichen einer besonders hohen Permeabilität wichtig sein. Die Form der Poren kann auch angepasst werden, um zum Beispiel die genaue Ausrichtung der Fasern zu unterstützen. Zum Beispiel kann eine relativ längliche Porenform die Fasern zu einem ausgerichteteren Muster anordnen, während eine unregelmäßigere oder sphärische Form die Fasern zu einem beliebigeren Muster anordnen kann.

[0049] Die Faser kann von einem Hersteller als eine zugeschnittene Faser bereitgestellt und direkt in dem Verfahren verwendet werden, oder eine Faser kann in einem Massenformat bereitgestellt werden, welches üblicherweise vor der Benutzung bearbeitet wird. Auf die eine oder andere Art sollten Verfahrensgesichtspunkte berücksichtigen, wie die Faser zu ihrer endgültigen gewünschten Formfaktorverteilung zu bearbeiten ist. Im Allgemeinen wird die Faser zunächst vor dem Vermischen mit anderen Additiven zerschnitten, und wird dann während der Misch-, Scher- und Extrusionsschritte weiter zerschnitten. Jedoch kann die Extrusion auch mit unzerschnittenen Fasern durchgeführt werden, indem die Rheologie derart festgelegt wird, dass sie das Extrusionsgemisch mit angemessenen Extrusionsdrücken extrudierbar macht, und ohne dass Dilatanzströmungen in dem Extrusionsgemisch verursacht werden, wenn es an der Extrusionspressformfläche unter Druck platziert ist. Es versteht sich, dass das Zerschneiden von Fasern zu einer angemessenen Formfaktorverteilung an verschiedenen Stellen in dem gesamten Prozess durchgeführt werden kann. Sobald die Faser ausgewählt und auf eine brauchbare Länge zugeschnitten wurde, wird sie mit dem Bindemittel und dem Porenbildner vermischt. Dieses Mischen kann zunächst in einer trockenen Form durchgeführt werden, um den Mischvorgang einzuleiten, oder kann als ein Nassmischvorgang durchgeführt werden. Das Fluid, welches üblicherweise Wasser ist, wird zu dem Gemisch hinzugefügt. Um das erforderliche Niveau der homogenen Verteilung zu erreichen, wird das Gemisch über ein oder mehrere Stadien schergemischt. Das Schermischen oder Dispersionsmischen schafft sowohl einen sehr erwünschten homogenen Mischvorgang für eine gleichmäßige Verteilung der Fasern in dem Gemisch als auch ein weiteres Zerschneiden von Fasern auf den gewünschten Formfaktor.

[0050] [Fig. 6](#), Tabelle 2 zeigt verschiedene Bindemittel, die zur Auswahl zur Verfügung stehen. Es versteht sich, dass ein einziges Bindemittel verwendet werden kann, oder mehrere Bindemittel können verwendet werden. Die Bindemittel werden im Allgemeinen in organische und anorganische Klassifikationen eingeteilt. Die organischen Bindemittel brennen im Allgemeinen bei einer niedrigen Temperatur während des Aushärtens ab, während die anorganischen Bindemittel üblicherweise einen Teil der Endstruktur bei einer höheren Temperatur bilden. Obwohl verschiedene Bindemittelauswahlen in Tabelle 2 aufgelistet sind, versteht es sich, dass verschiedene andere Bindemittel verwendet werden können. [Fig. 6](#), Tabelle 3 zeigt eine Liste von verfügbaren Porenbildnern. Porenbildner können im Allgemeinen als organisch oder anorganisch definiert werden, wobei die organischen üblicherweise bei einer niedrigeren Temperatur als die anorganischen abbrennen. Obwohl verschiedene Porenbildner in Tabelle 3 aufgelistet sind, versteht es sich, dass andere Porenbildner verwendet werden können. [Fig. 6](#), Tabelle 4 zeigt verschiedene Fluide, die verwendet werden können. Obwohl es sich versteht, dass Wasser das wirtschaftlichste und am häufigsten verwendete Fluid sein kann, können manche Anwendungen andere Fluide erfordern. Obwohl Tabelle 4 verschiedene Fluide zeigt, die verwendet werden können, versteht es sich, dass andere Fluide nach speziellen Anwendungs- und Prozessanforderungen ausgewählt werden können.

[0051] Im Allgemeinen kann das Gemisch derart angepasst werden, dass es eine Rheologie hat, die für eine vorteilhafte Extrusion geeignet ist. Üblicherweise resultiert die richtige Rheologie aus der richtigen Auswahl und Mischung der Fasern, Bindemittel, Dispersionsmittel, Weichmacher, Porenbildner und Fluide. Ein hohes Maß an Mischung wird benötigt, um den Fasern eine angemessene Plastizität zu verleihen. Sobald die richtige Faser, das richtige Bindemittel und der richtige Porenbildner ausgewählt wurden, wird die Menge des Fluids

üblicherweise endgültig geregelt, um die richtige Rheologie zu erreichen. Eine richtige Rheologie kann angezeigt werden, wie zum Beispiel durch einen von zwei Versuchen. Der erste Versuch ist ein subjektiver, informeller Versuch, wo ein Tropfen des Gemisches entfernt und zwischen den Fingern einer erfahrenen Extrusionsbedienperson geformt wird. Die Bedienperson ist in der Lage, zu erkennen, wenn das Gemisch zwischen den Fingern richtig gleitet, was anzeigt, dass das Gemisch in einem richtigen Zustand für die Extrusion ist. Ein zweiter objektiverer Versuch beruht auf der Messung physikalischer Eigenschaften des Gemisches. Im Allgemeinen kann die Scherfestigkeit im Vergleich zum Kompaktionsdruck unter Verwendung eines begrenzten (d.h. Hochdruck) ringförmigen Rheometers gemessen werden. Die Messungen werden übernommen und entsprechend einem Vergleich der Kohäsionsfestigkeit mit der Druckabhängigkeit aufgezeichnet. Durch Messen des Gemisches bei verschiedenen Gemischen und Fluidniveaus kann ein Rheologiediagramm gebildet werden, das die Rheologiepunkte anzeigt. Zum Beispiel stellt Tabelle 5 in [Fig. 6](#) ein Rheologiediagramm für ein fasriges Keramikgemisch dar. Die Achse **232** stellt die Kohäsionsfestigkeit dar, und die Achse **234** stellt die Druckabhängigkeit dar. Der extrudierbare Bereich **236** stellt einen Bereich dar, wo die fasrige Extrusion höchstwahrscheinlich auftritt. Daher wird ein Gemisch, das durch irgendeine Messung gekennzeichnet ist, die in den Bereich **236** fällt, wahrscheinlich erfolgreich extrudiert. Natürlich versteht es sich, dass das Rheologiediagramm vielen Variationen unterliegt, und so ist eine gewisse Variation in der Positionierung des Bereichs **236** zu erwarten. Außerdem gibt es verschiedene andere direkte und indirekte Versuche zum Messen der Rheologie und Plastizität, und es versteht sich, dass irgendeine Anzahl von diesen verwendet werden kann, um zu prüfen, ob das Gemisch die richtige Rheologie hat, mit der es zu der Endform des gewünschten Produktes extrudiert werden kann.

[0052] Sobald die richtige Rheologie erreicht wurde, wird das Gemisch mittels eines Extruders extrudiert. Der Extruder kann ein Kolbenextruder, ein Schneckenextruder oder ein Doppelschneckenextruder sein. Das Extrusionsverfahren kann hochautomatisiert sein oder kann einen menschlichen Eingriff erfordern. Das Gemisch wird mittels einer Pressform extrudiert, welche die gewünschte Querschnittsform für den Substratblock hat. Die Pressform wurde derart ausgewählt, dass sie das Rohsubstrat ausreichend formt. Auf diese Weise wird ein stabiles Rohsubstrat erzeugt, das durch den Aushärtungsvorgang behandelt wird, während seine Form und Faserausrichtung beibehalten wird.

[0053] Das Rohsubstrat wird dann getrocknet und ausgehärtet. Die Trocknung kann bei Raumbedingungen, bei gesteuerten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbedingungen (wie in gesteuerten Öfen), in Mikrowellenöfen, in HF-Öfen und Konvektionsöfen stattfinden. Die Aushärtung erfordert im Allgemeinen die Entfernung von freiem Wasser, um das Rohsubstrat zu trocknen. Es ist wichtig, das Rohsubstrat in einer gesteuerten Weise derart zu trocknen, dass keine Risse oder andere strukturelle Fehler eingebracht werden. Die Temperatur kann dann erhöht werden, um Additive, wie Bindemittel und Porenbildner, abzubrennen. Die Temperatur wird gesteuert, um sicherzustellen, dass die Additive in einer gesteuerten Weise abgebrannt werden. Es versteht sich, dass das Abbrennen der Additive ein Durchlaufen von Temperaturen über verschiedene Zeitzyklen und verschiedene Wärmeniveaus erfordern kann. Sobald die Additive abgebrannt sind, wird das Substrat auf die erforderliche Temperatur erwärmt, um strukturelle Bindungen an der Faserkreuzungspunkten oder Knotenpunkten zu bilden. Die erforderliche Temperatur wird nach der Art der erforderlichen Bindung und der chemischen Zusammensetzung der Fasern ausgewählt. Zum Beispiel werden flüssigkeitsunterstützte gesinterte Bindungen üblicherweise bei einer Temperatur gebildet, die geringer als bei Bindungen im festen Zustand ist. Es versteht sich, dass die Größe der Zeit bei der Bindungstemperatur entsprechend der speziellen Art der zu erzeugenden Bindung geregelt werden kann. Der gesamte Wärmezyklus kann in demselben Ofen, in unterschiedlichen Öfen, in diskontinuierlichen oder kontinuierlichen Prozessen und bei Bedingungen von Luft oder gesteuerter Atmosphäre durchgeführt werden. Nachdem die Faserbindungen gebildet wurden, wird das Substrat langsam auf Raumtemperatur abgekühlt. Es versteht sich, dass der Aushärtungsvorgang in einem Ofen oder mehreren Öfen/Herden durchgeführt werden kann und in Produktions-Öfen/Herden, wie Tunnelöfen, automatisiert werden kann.

[0054] Mit Bezug auf [Fig. 7](#) wird nun ein System zum Extrudieren eines porösen Substrats erläutert. Das System **250** ist ein hochflexibler Prozess zum Erzeugen eines porösen Substrats. Um das Substrat zu gestalten, werden die Substraterfordernisse definiert, wie in Block **252** gezeigt ist. Zum Beispiel definiert die endgültige Verwendung des Substrats im Allgemeinen die Substraterfordernisse, welche Größenbeschränkungen, Temperaturbeschränkungen, Festigkeitsbeschränkungen und chemische Reaktionsbeschränkungen umfassen können. Ferner können die Kosten und die Herstellbarkeit des Substrats in der Masse bestimmte Auswahlen bestimmen und vorantreiben. Zum Beispiel kann eine hohe Produktionsrate zu der Erzeugung von relativ hohen Temperaturen in der Extrusionspressform führen, und daher werden Bindemittel ausgewählt, die bei einer erhöhten Temperatur arbeiten, ohne auszuhärten oder zu gelieren. Bei Extrusionen unter Verwendung von Hochtemperaturbindemitteln müssen die Pressformen und der Zylinder bei einer relativ hohen Temperatur, wie

60 bis 180°C, gehalten werden können. In einem solchen Fall kann das Bindemittel schmelzen, was den Bedarf an zusätzlichem Fluid reduziert oder ausschließt. In einem anderen Beispiel kann ein Filter derart gestaltet sein, dass er Schwebstoffe abscheidet, so dass die Faser derart ausgewählt wird, dass sie mit den Schwebstoffen selbst bei erhöhten Temperaturen nicht reagierend bleibt. Es versteht sich, dass ein breiter Bereich von Anwendungen mit einem breiten Bereich von möglichen Gemischen und Prozessen in Einklang gebracht werden kann. Ein erfahrener Fachmann versteht die Kompromisse, die mit der Auswahl von Fasern, Bindemitteln, Porenbildnern, Fluiden und Verfahrensschritten verbunden sind. Allerdings ist einer der bedeutenden Vorteile des Systems **250** seine Flexibilität bezüglich der Auswahl der Gemischzusammensetzung und der Anpassungen an die Prozesse.

[0055] Sobald die Substraterfordernisse definiert wurden, wird eine Faser aus Tabelle 1 von [Fig. 6](#) ausgewählt, wie in Block **253** gezeigt ist. Die Faser kann von einer einzigen Art sein oder kann eine Kombination aus zwei oder mehreren Arten sein. Es versteht sich auch, dass manche Fasern derart ausgewählt werden können, dass sie während des Aushärtungsvorgangs verbraucht werden können. Ebenso können Additive zu den Fasern hinzugefügt werden, wie zum Beispiel Beschichtungen an den Fasern, um andere Materialien in das Gemisch einzuführen. Zum Beispiel können Dispersionsmittel an Fasern aufgebracht werden, um die Trennung und Anordnung von Fasern zu erleichtern, oder Bindemittel können auf die Fasern aufgetragen werden. In dem Fall von Bindemitteln unterstützen die Bindemittel, wenn die Fasern die Aushärtungstemperaturen erreichen, die Bildung und das Fließen von Bindungen im flüssigen Zustand.

[0056] Eine typische Zusammensetzung, um eine Porosität > 80 % zu erreichen

		Dichte (g/cm ³)	Masse (g)	Volumen (cm ³)	Volumen (%)
Faser	Mullit	2,7	300,0	111,1	9,2
Verstärker	Bentonit	2,6	30,0	11,5	1,0
Bindemittel	HPMC (Hydroxypropylmethylzellulose)	0,5	140,0	280,0	23,1
Weichmacher	Propylenglykol	1,1	15,0	13,6	1,1
Porenbildner	PMMA (Polymethylmethacrylat)	1,19	500,0	420,2	34,7
Fluid	Wasser	1	375,0	375,0	31
Gesamt			1360,0	1211,5	100,0

[0057] Ein Bindemittel wird dann aus Tabelle 2 von [Fig. 6](#) ausgewählt, wie in Block **255** gezeigt ist. Das Bindemittel wird derart ausgewählt, dass es sowohl die Festigkeit im Rohzustand fördert als auch das Abbrennen steuert. Ebenso wird das Bindemittel derart ausgewählt, dass es eine ausreichende Plastizität in dem Gemisch erzeugt. Wenn erforderlich, wird ein Porenbildner aus Tabelle 3 von [Fig. 6](#) ausgewählt, wie in Block **256** gezeigt ist. In manchen Fällen kann eine ausreichende Porosität durch die Verwendung von ausschließlich Fasern und Bindemitteln erreicht werden. Die Porosität wird nicht nur durch die natürlichen Verdichtungseigenschaften der Fasern erreicht, sondern auch durch den Raum, der von den Bindemitteln, Lösungsmitteln und anderen leicht flüchtigen Komponenten eingenommen wird, welche während der Entbindungs- und Aushärtungsstadien freigegeben werden. Um höhere Porositäten zu erreichen, können zusätzliche Porenbildner hinzugefügt werden.

[0058] Porenbildner werden auch nach ihren gesteuerten Abbrennfähigkeiten ausgewählt und können auch die Weichmachung des Gemisches unterstützen. Ein Fluid, welches üblicherweise Wasser ist, wird aus Tabelle 4, [Fig. 6](#) ausgewählt, wie in Block **257** gezeigt ist. Andere flüssige Materialien, wie zum Beispiel ein Dispersionsmittel, zur Unterstützung der Trennung und Anordnung der Fasern und Weichmacher und Extrusionshilfsmittel zur Verbesserung des Strömungsverhaltens des Gemisches können hinzugefügt werden. Dieses Dispersionsmittel kann verwendet werden, um die elektronische Oberflächenladung an den Fasern zu regeln. Auf diese Weise können Fasern eine gesteuerte Ladung haben, um zu bewirken, dass sich einzelne Fasern einander abstoßen. Dies erleichtert eine homogenere und beliebigere Verteilung der Fasern. Eine typische Zusammensetzung für ein Gemisch, das ein Substrat mit einer Porosität > 80 % zu erzeugen beabsichtigt, ist unten gezeigt. Es versteht sich, dass das Gemisch entsprechend der Zielporosität, der speziellen Anwendung und den Verfahrensgesichtspunkten abgestimmt werden kann.

[0059] Wie in Block **254** gezeigt, sollten die in Block **252** ausgewählten Fasern derart bearbeitet werden, dass sie eine angemessene Formfaktorverteilung haben. Dieser Formfaktor sollte bevorzugt im Bereich von etwa 3

bis etwa 500 liegen und kann einen oder mehrere Verteilungsmodi haben. Es versteht sich, dass andere Bereiche, zum Beispiel um einen Formfaktor von 1000 herum ausgewählt werden können. In einem Beispiel kann die Verteilung von Formfaktoren über den gewünschten Bereich beliebig verteilt werden, und in anderen Beispielen können die Formfaktoren mit diskreteren Moduswerten ausgewählt werden. Es wurde herausgefunden, dass der Formfaktor ein wichtiger Faktor beim Definieren der Verdichtungseigenschaften für die Fasern ist. Dementsprechend werden der Formfaktor und die Verteilung der Formfaktoren derart ausgewählt, dass ein besonderes Festigkeits- und Porositätsanfordernis realisiert wird. Ebenso versteht es sich, dass die Bearbeitung der Fasern in ihre bevorzugte Formfaktorverteilung an verschiedenen Stellen in dem Prozess durchgeführt werden kann. Zum Beispiel können die Fasern von einem Fremdbearbeiter zugeschnitten werden und mit einer vorbestimmten Formfaktorverteilung geliefert werden. In einem anderen Beispiel können die Fasern in einer Massenform bereitgestellt und als ein vorbereitender Schritt in dem Extrusionsverfahren zu einem geeigneten Formfaktor bearbeitet werden. Es versteht sich, dass das Mischen, Schermischen oder Dispersionsmischen und Extrusionsaspekte des Prozesses **250** auch zum Schneiden und Zerkleinern der Fasern beitragen können. Dementsprechend ist der Formfaktor der Fasern, die ursprünglich in das Gemisch eingeführt werden, anders als der Formfaktor in dem ausgehärteten Endsubstrat. Dementsprechend sollte die Zerkleinerungs- und Schneidwirkung des Mischens, des Schermischens und der Extrusion bei der Auswahl der richtigen Formfaktorverteilung **254** in Betracht gezogen werden, die in den Prozess einbezogen wird.

[0060] Mit den Fasern, die zu der geeigneten Formfaktorverteilung bearbeitet sind, werden die Fasern, Bindemittel, Porenbildner und Fluide zu einer homogenen Masse vermischt, wie in Block **262** gezeigt ist. Dieser Mischvorgang kann einen Trockenmischaspekt, einen Nassmischaspekt und einen Schermischaspekt umfassen. Es wurde herausgefunden, dass das Scher- oder Dispersionsmischen erwünscht ist, um eine hochhomogene Verteilung von Fasern innerhalb der Masse zu erzeugen. Diese Verteilung ist infolge der relativ geringen Konzentration von Keramikmaterial in dem Gemisch besonders wichtig. Wenn das homogene Gemisch gemischt wird, kann die Rheologie des Gemisches geregelt werden, wie in Block **264** gezeigt ist. Wenn das Gemisch gemischt wird, wird seine Rheologie weiter geändert. Die Rheologie kann subjektiv geprüft werden oder kann gemessen werden, um mit dem gewünschten Bereich übereinzustimmen, wie in Tabelle 5 von [Fig. 6](#) dargestellt ist. Das Gemisch, das in diesen gewünschten Bereich fällt, hat eine hohe Wahrscheinlichkeit, richtig zu extrudieren. Das Gemisch wird dann zu einem Rohsubstrat extrudiert, wie in Block **268** gezeigt ist. Im Falle der Schneckenextruder kann das Mischen auch in dem Extruder selbst, und nicht in einem separaten Mischer auftreten. In solchen Fällen muss die Vorgeschichte des Scherens des Gemisches sorgfältig gehandhabt und gesteuert werden. Das Rohsubstrat hat eine ausreichende Rohfestigkeit, um seine Form und Faseranordnung während des Aushärtungsvorgangs zu halten. Das Rohsubstrat wird dann ausgehärtet, wie in Block **270** gezeigt ist. Der Aushärtungsvorgang umfasst das Entfernen von irgendwelchem restlichen Wasser, das gesteuerte Abbrennen der meisten Additive und das Bilden der Faser-zu-Faser-Bindungen. Während des Abbrennvorgangs halten die Fasern ihre verwickelte und kreuzende Beziehung bei, und während der Aushärtungsvorgang andauert, werden Bindungen an den Kreuzungspunkten oder Knotenpunkten gebildet. Es versteht sich, dass sich die Bindungen aus einem Bindungsvorgang im flüssigen Zustand oder im festen Zustand ergeben können. Ebenso versteht es sich, dass einige der Bindungen die Folge von Reaktionen mit Additiven sein können, die in dem Bindemittel, den Porenbildnern, als Beschichtungen an den Fasern, oder in den Fasern selbst vorgesehen sind. Nachdem die Bindungen gebildet wurden, wird das Substrat langsam auf Raumtemperatur abgekühlt.

[0061] Mit Bezug auf [Fig. 8](#) wird nun ein Verfahren zum Aushärten eines porösen fasrigen Substrats erläutert. Das Verfahren **275** hat ein Rohsubstrat mit einem fasrigen keramischen Inhalt. Der Aushärtungsvorgang entfernt zuerst langsam das restliche Wasser aus dem Substrat, wie in Block **277** gezeigt ist. Üblicherweise kann die Entfernung von Wasser bei einer relativ niedrigen Temperatur in einem Ofen durchgeführt werden. Nachdem das restliche Wasser entfernt wurde, können die organischen Additive abgebrannt werden, wie in Block **279** gezeigt ist. Diese Additive werden in einer gesteuerten Weise abgebrannt, um die richtige Anordnung der Fasern zu erleichtern und sicherzustellen, dass austretende Gase und Rückstände nicht mit der Faserstruktur in störenden Eingriff gelangen. Wenn die Additive abbrennen, halten die Fasern ihre überlappende Anordnung aufrecht und können weiter an den Kreuzungspunkten oder Knotenpunkten kontaktieren, wie in Block **281** gezeigt ist. Die Fasern wurden in diesen überlappenden Anordnungen unter Verwendung des Bindemittels positioniert und können besondere Muster haben, die durch die Verwendung von Porenbildnern gebildet werden. In manchen Fällen könnten anorganische Additive verwendet werden, welche sich mit den Fasern verbinden, während des Bindungsbildungsvorgangs verbraucht werden oder als ein Teil der Endsubstratstruktur verbleiben können. Der Aushärtungsvorgang schreitet fort, um Faser-zu-Faser-Bindungen zu bilden, wie in Block **285** gezeigt ist. Die spezielle Zeitsteuerung und Temperatur, die zum Erzeugen der Bindungen erforderlich sind, hängen von der Art der verwendeten Fasern, der Art der verwendeten Bindemittel oder Hilfsmittel und der Art der gewünschten Bindung ab. In einem Beispiel kann die Bindung eine Sinterbindung im flüssigen Zustand

sein, die zwischen den Fasern erzeugt wird, wie in Block **286** gezeigt ist. Solche Bindungen werden von Glasbildnern, Glas, keramischen Präkursoren oder anorganischen Flussmitteln unterstützt, die in dem System vorhanden sind. In einem anderen Beispiel kann eine Sinterbindung im flüssigen Zustand unter Verwendung von Sinterhilfsmitteln oder Agenzien erzeugt werden, wie in Block **288** gezeigt ist. Die Sinterhilfsmittel können als eine Beschichtung an den Fasern, als Additive, von Bindemitteln, von Porenbildnern oder von der chemischen Zusammensetzung der Fasern selbst bereitgestellt werden. Ebenso kann die Faser-zu-Faser-Bindung durch ein Sintern im festen Zustand zwischen den Fasern gebildet werden, wie in Block **291** gezeigt ist. In diesem Falle besitzen die sich kreuzenden Fasern Korngrößenwachstum und Massenübergang, was zu der Bildung von chemischen Bindungen an den Knotenpunkten und zu einer insgesamt festen Struktur führt. Im Falle des Sinterns im flüssigen Zustand sammelt sich eine Masse von Bindungsmaterial an den Kreuzungsknotenpunkten der Fasern an und bildet die feste Struktur. Es versteht sich, dass der Aushärtungsvorgang in einem oder mehreren Öfen durchgeführt werden kann und in einem industriellen Tunnel- oder Brennofen automatisiert werden kann.

[0062] Mit Bezug auf [Fig. 9](#) wird nun ein Verfahren zur Vorbereitung der Fasern erläutert. Das Verfahren **300** zeigt, dass Massenfaser aufgenommen werden, wie in Block **305** gezeigt ist. Die Massenfaser haben üblicherweise sehr lange Fasern in einer gruppierten und verflochtenen Anordnung. Solche Massenfaser müssen bearbeitet werden, um die Fasern zur Verwendung in dem Mischvorgang ausreichend zu trennen und zu schneiden. Dementsprechend werden die Massenfaser mit Wasser **307** und möglicherweise einem Dispersionsmittel **309** gemischt, um einen Brei **311** zu bilden. Das Dispersionsmittel **309** kann zum Beispiel ein pH-Regler oder ein Ladungsregler sein, um die Fasern beim Abstoßen voneinander zu unterstützen. Es versteht sich, dass verschiedene andere Arten von Dispersionsmitteln verwendet werden können. In einem Beispiel werden die Massenfaser vor der Einführung in den Brei mit einem Dispersionsmittel beschichtet. In einem anderen Beispiel wird das Dispersionsmittel einfach zu dem Breigemisch **311** hinzugefügt. Das Breigemisch wird heftig gemischt, wie in Block **314** gezeigt ist. Dieses heftige Mischen dient dazu, die Massenfaser in eine brauchbare Formfaktorverteilung zu zerschneiden und zu trennen. Wie vorher beschrieben, ist der Formfaktor für die anfängliche Verwendung der Fasern anders als die Verteilung in dem Endsubstrat, da der Misch- und Extrusionsvorgang die Fasern weiter zerkleinert.

[0063] Nachdem die Fasern zu einer geeigneten Formfaktorverteilung geschnitten wurden, wird das Wasser unter Verwendung einer Filterpresse **316** oder durch Pressen gegen einen Filter in einer anderen Ausstattung größtenteils entfernt. Es versteht sich, dass andere Wasserentfernungsverfahren, wie zum Beispiel Gefrier-trocknung, verwendet werden können. Die Filterpresse kann Druck, Vakuum oder andere Mittel verwenden, um das Wasser zu entfernen. In einem Beispiel werden die zerschnittenen Fasern weiter in einen vollständig trockenen Zustand getrocknet, wie in Block **318** gezeigt ist. Diese getrockneten Fasern können dann in einem Trockenmischverfahren **323** verwendet werden, wo sie mit anderen Bindemitteln und trockenen Porenbildnern vermischt werden, wie in Block **327** gezeigt ist. Dieses anfängliche Trockenmischen trägt zur Erzeugung einer homogenen Masse bei. In einem anderen Beispiel wird der Wassergehalt der gefilterten Fasern für den richtigen Feuchtigkeitsgehalt geregelt, wie in Block **321** gezeigt ist. Insbesondere wird genügend Wasser in der zerkleinerten Fasermasse gelassen, um das Nassmischen zu erleichtern, wie in Block **325** gezeigt ist. Es wurde herausgefunden, dass durch Austritt von ein wenig breiigem Wasser mit den Fasern eine zusätzliche Trennung und Verteilung der Fasern erreicht werden kann. In dem Stadium des Nassmischens können auch Bindemittel und Porenbildner hinzugefügt werden, und Wasser **329** kann hinzugefügt werden, um die richtige Reologie zu erreichen. Die Masse wird auch schergemischt, wie in Block **332** gezeigt ist. Das Schermischen kann auch durchgeführt werden, indem das Gemisch unter Verwendung eines Schneckenextruders, eines Doppelschneckenextruders oder eines Schermischers (wie eines Mischers des Sigma-Schaufeltyps) durch schlauchartige Pressformen hindurchtritt. Das Schermischen kann auch in einem Sigma-Mischer, einem Hochschermischer und innerhalb des Schneckenextruders stattfinden. Der Schermischvorgang ist zum Erzeugen einer homogenen Masse **335** erwünscht, die eine gewünschte Plastizität und extrudierbare Rheologie hat, damit die Extrusion wirksam wird. Die homogene Masse **335** hat eine gleichmäßige Verteilung der Fasern, wobei die Fasern in einer überlappenden Matrix positioniert sind. Auf diese Weise wird, wenn die homogene Masse zu einem Substratblock extrudiert und ausgehärtet wird, eine Bindung der Fasern zu einer festen Struktur ermöglicht. Ferner bildet diese feste Struktur ein offenes Porennetz mit hoher Porosität, hoher Permeabilität und einem hohen Oberflächenbereich.

[0064] Mit Bezug auf [Fig. 10](#) wird nun ein Verfahren zum Erzeugen eines Gradientensubstratblocks erläutert. Das Verfahren **350** ist derart gestaltet, dass es die Herstellung und Extrusion eines Substratblocks mit einer Gradientencharakteristik ermöglicht. Zum Beispiel kann ein Substrat erzeugt werden, das ein erstes Material in Richtung zu der Mitte des Blocks und ein anderes Material in Richtung zu der Außenseite des Blocks aufweist. In einem spezielleren Beispiel wird ein Material mit einem geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten

in Richtung zu der Mitte des Blocks verwendet, wo besonders hohe Wärme zu erwarten ist, während ein Material mit einem relativ hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten an den Außenflächen verwendet wird, wo eine geringe Wärme erwartet wird. Auf diese Weise kann ein einheitlicheres Ausdehnungsvermögen für den gesamten Block erhalten werden. In einem anderen Beispiel können ausgewählte Bereiche eines Blocks keramisches Material mit höherer Dichte aufweisen, um eine erhöhte strukturelle Abstützung zu schaffen. Diese strukturellen Stützelemente können konzentrisch oder axial in dem Block angeordnet sein. Dementsprechend können die speziellen Materialien nach gewünschten Gradienten in der Porosität, Porengröße oder chemischen Zusammensetzung entsprechend den Anforderungserfordernissen ausgewählt werden. Ferner kann der Gradient die Verwendung von mehr als zwei Materialien erfordern.

[0065] In einem Beispiel kann die Gradientenstruktur durch Bereitstellen eines Zylinders aus einem ersten Material **351** erzeugt werden. Ein Blech aus einem zweiten Material **353** wird um den Zylinder **351** herum gewickelt, wie durch die Darstellung **355** gezeigt ist. Auf diese Weise ist die Schicht B **353** ein konzentrisches Rohr um den inneren Zylinder **351** herum. Der geschichtete Zylinder **355** wird dann in einem Kolbenextruder platziert, dem Luft evakuiert wird, und die Masse wird durch eine Pressform hindurch extrudiert. Während des Extrusionsverfahrens wird Material an der Grenzfläche zwischen dem Material A und dem Material B gemischt, was einen nahtlosen Übergang erleichtert. Eine solche Grenzfläche ermöglicht die Überlappung und Bindung von Fasern zwischen zwei unterschiedlichen Arten von Materialien, wodurch eine stärkere Gesamtstruktur gefördert wird. Sobald das Material extrudiert, ausgehärtet und kompaktiert wurde, erzeugt es ein Filter- oder Katalysatorgehäuse **357** mit einem Gradientensubstrat. Insbesondere bildet sich das Material A in der Mitte des Substrats, während sich das Material B **361** an den äußeren Abschnitten bildet. Es versteht sich, dass mehr als zwei Materialien verwendet werden können, und dass die Porengröße, Porosität und chemischen Eigenschaften gradientisch geregelt werden können.

[0066] Mit Bezug auf [Fig. 11](#) wird nun ein anderes Verfahren **375** zum Erzeugen eines Gradientensubstrats beschrieben. Bei dem Verfahren **375** ist ein erster Zylinder **379** in etwa der Größe des Kolbenextrusionszylinders vorgesehen. In einem Beispiel ist der äußere Zylinder **379** der tatsächliche Zylinder, der in dem Kolbenextruder verwendet wird. Ein inneres Rohr **377** ist vorgesehen, das einen kleineren Durchmesser als das äußere Rohr **379** hat. Die Rohre sind konzentrisch derart angeordnet, dass das innere Rohr **377** konzentrisch innerhalb des Rohres **379** positioniert ist. Pellets eines ersten extrudierbaren Gemischmaterials **383** sind in dem Rohr **377** eingelagert, während Pellets eines zweiten extrudierbaren Gemischmaterials **381** in dem Ring zwischen dem Rohr **377** und dem Rohr **379** eingelagert sind. Das innere Rohr wird vorsichtig entfernt, so dass das Material A von dem Material **381** konzentrisch umgeben ist. Die Anordnung des Materials wird dann in dem Extrusionskolben platziert, dem Luft vakuumentfernt wird, und durch eine Pressform hindurch extrudiert. Sobald es extrudiert, ausgehärtet und kompaktiert ist, wird ein Gradientensubstrat erzeugt, wie mit Bezug auf [Fig. 10](#) beschrieben ist. Es versteht sich, dass mehr als zwei konzentrische Ringe gebildet werden können, und dass verschiedene Arten von Gradienten erzeugt werden können.

[0067] Mit Bezug auf [Fig. 12](#) wird ein anderes Verfahren zum Herstellen eines Gradientensubstrats erläutert. Das Verfahren **400** hat eine Säule eines extrudierbaren Gemisches **402** mit abwechselnden Scheiben aus zwei extrudierbaren Materialien. Das extrudierbare Gemisch **402** weist ein erstes Material **403** benachbart zu einem zweiten Material **404** auf. In einem Beispiel ist das Material A relativ porös, während das Material B weniger porös ist. Während der Extrusion fließt das Material durch die Extrusionspressform hindurch, was bewirkt, dass sich die Fasern von dem Abschnitt A und dem Abschnitt B in einer überlappenden Anordnung vermischen. Auf diese Weise werden die jeweiligen Abschnitte A und B miteinander verbunden, um einen fasrigen Substratblock zu bilden. Nach dem Aushärten und Kompaktieren wird ein Filter **406** erzeugt. Der Filter **406** weist einen ersten Abschnitt **407** mit relativ hoher Porosität und einen zweiten Abschnitt **408** mit weniger Porosität auf. Auf diese Weise wird Gas, das durch den Filter **406** hindurchströmt, zuerst durch einen Bereich hoher Porosität mit großer Porengröße hindurch gefiltert und dann durch einen weniger porösen Bereich mit kleiner Porengröße hindurch gefiltert. Auf diese Weise werden große Partikel im Bereich **407** abgeschieden, während kleinere Partikel im Bereich **408** abgeschieden werden. Es versteht sich, dass die Größe und Anzahl der Materialscheiben entsprechend den Anforderungserfordernissen geregelt werden können.

[0068] Das Faserextrusionssystem bietet eine große Flexibilität in der Anwendung. Zum Beispiel kann ein breiter Bereich von Fasern und Additiven ausgewählt werden, um das Gemisch zu bilden. Es bestehen sowohl verschiedene Misch- und Extrusionsoptionen als auch Optionen bezüglich des Aushärtungsverfahrens, der Zeit und der Temperatur. Mit den offenbarten Lehren versteht ein in den Extrusionstechniken erfahrener Fachmann, dass viele Variationen verwendet werden können. Das Wabensubstrat ist eine allgemeine Gestaltung, die unter Verwendung der in der vorliegenden Erfindung beschriebenen Technik erzeugt werden kann, jedoch können andere Formen, Größen, Konturen und Gestaltungen für verschiedene Anwendungen extrudiert wer-

den.

[0069] Für bestimmte Anwendungen, wie zum Beispiel die Verwendung bei Filtervorrichtungen (DPF, Öl/Luftfilter, Heißgasfilter, Luftfilter, Wasserfilter usw.) oder katalytischen Vorrichtungen (wie 3-Wege-Katalysatoren, SCR-Katalysatoren, deodorierende Mittel, deodorierende Mittel, biologische Reaktoren, chemische Reaktoren, Oxidationskatalysatoren usw.), müssen die Kanäle in einem extrudierten Substrat verstopft werden können. Das Verstopfen kann in dem Rohzustand oder an einem gesinterten Substrat durchgeführt werden. Die meisten Verstopfungszusammensetzungen erfordern eine Wärmebehandlung für die Aushärtung und Bindung mit dem extrudierten Substrat.

[0070] Obwohl besondere bevorzugte und alternative Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung offenbart wurden, ist es für einen erfahrenen Durchschnittsfachmann ersichtlich, dass viele verschiedene Modifikationen und Erweiterungen der oben beschriebenen Technologie unter Verwendung der Lehre dieser hierin beschriebenen Erfindung realisiert werden können. Alle derartigen Modifikationen und Erweiterungen sollen in den wirklichen Sinn und Bereich der Erfindung einbezogen sein, wie in den beigefügten Ansprüchen diskutiert ist.

Schutzansprüche

1. Filterprodukt, aufweisend:

Poröses keramisches Wabensubstrat (**175**) mit einer Porosität in dem Bereich von etwa 60 % bis etwa 85 %; mit einer Struktur, die im wesentlichen aus gebundenen keramischen Fasern (**12**) gebildet ist, und einem Feld von wabenförmigen Kanälen, wobei das Wabensubstrat (**175**) durch einen Extrusionsprozess (**10**) mit folgenden Schritten erzeugt wird:

Mischen der Keramikmaterialfaser (**12**) mit Additiven (**16**) und einem Fluid (**18**), um ein extrudierbares Gemisch (**21**, **52**) zu bilden;

Extrudieren des extrudierbaren Gemisches zu einem wabenförmigen Grünkörper-Substrat (**23**); und Aushärten des Grünkörper-Substrats (**23**) zu dem porösen Wabensubstrat (**175**) durch Bildung von Faser-zu-Faser Bindungen zwischen den Fasern,

ein Gehäuse zum Halten des Substrats;

einen Einlass zum Aufnehmen eines Fluids und einen Auslass zum Bereitstellen eines gefilterten Fluids.

2. Filterprodukt nach Anspruch 1, wobei das Fluid ein Abgas oder eine Flüssigkeit ist.

3. Filterprodukt nach Anspruch 1, wobei das Filterprodukt ein Fahrzeugluftfilter, ein Fahrzeugabgasfilter oder ein Fahrzeugkabinenfilter ist.

4. Filterprodukt nach Anspruch 1, ferner aufweisend einen Katalysator, der an dem extrudierten Substrat angeordnet ist.

5. Filterprodukt nach Anspruch 4, wobei das Fluid ein Abgas oder eine Flüssigkeit ist.

Es folgen 17 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

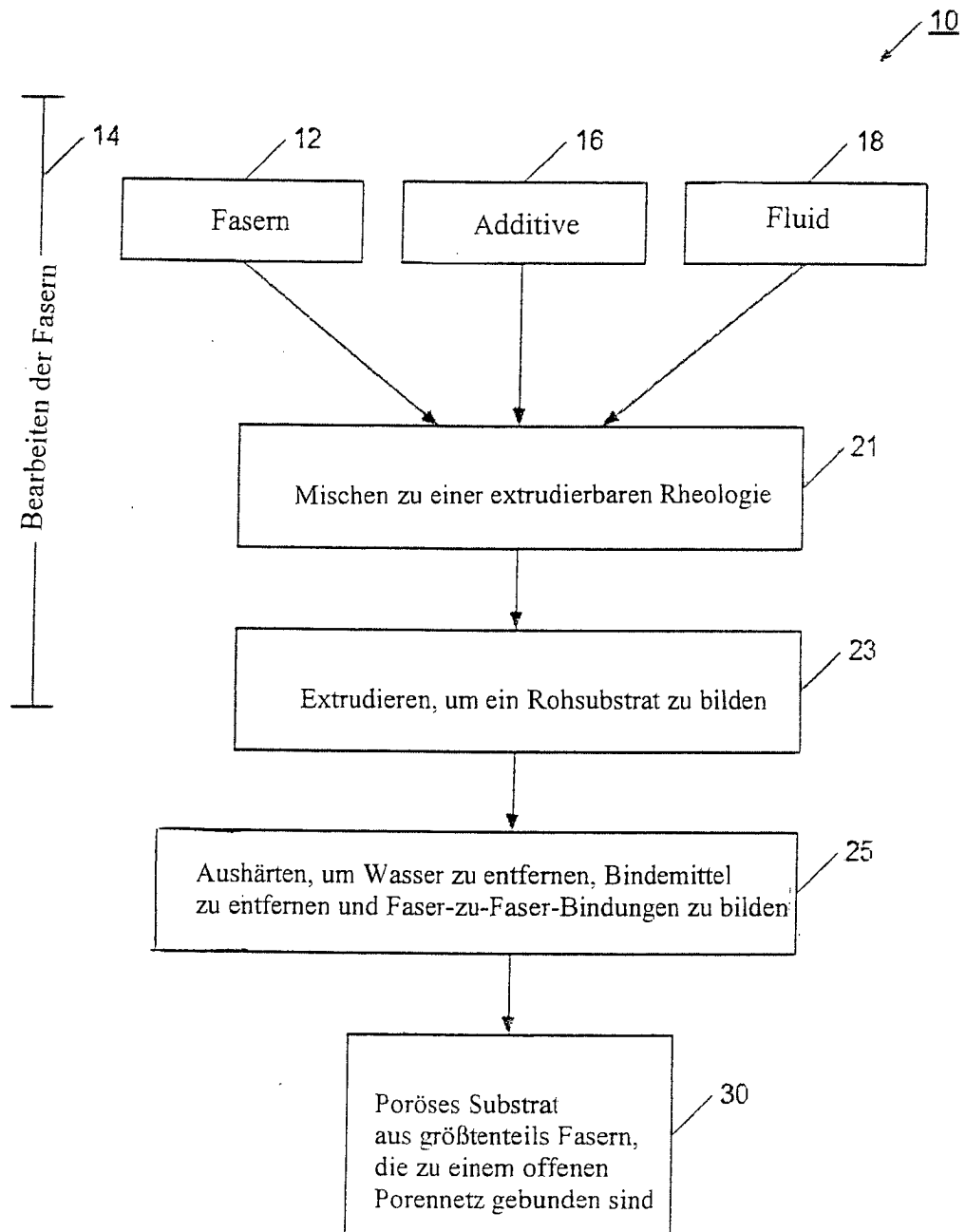


FIG. 1

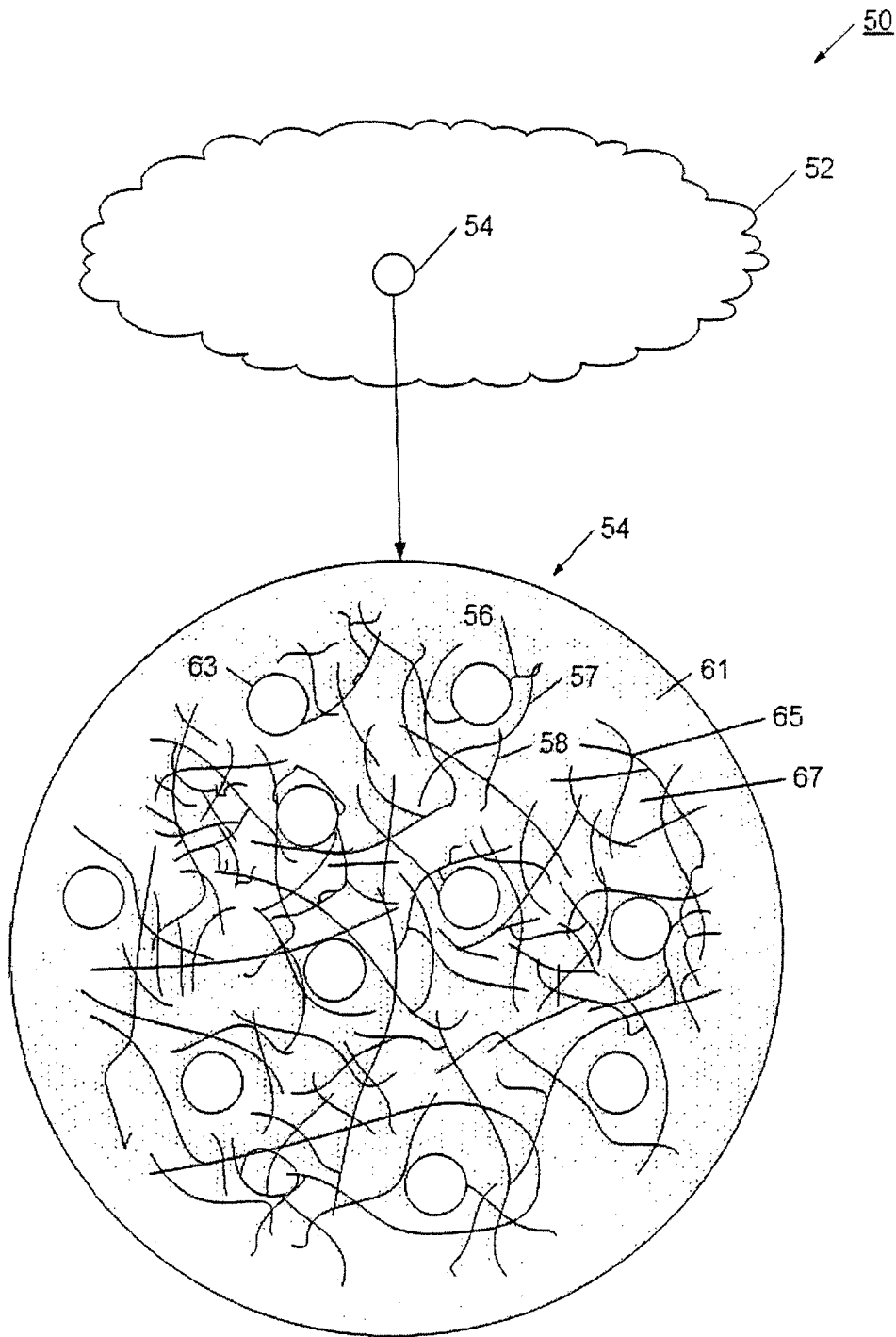


FIG. 2

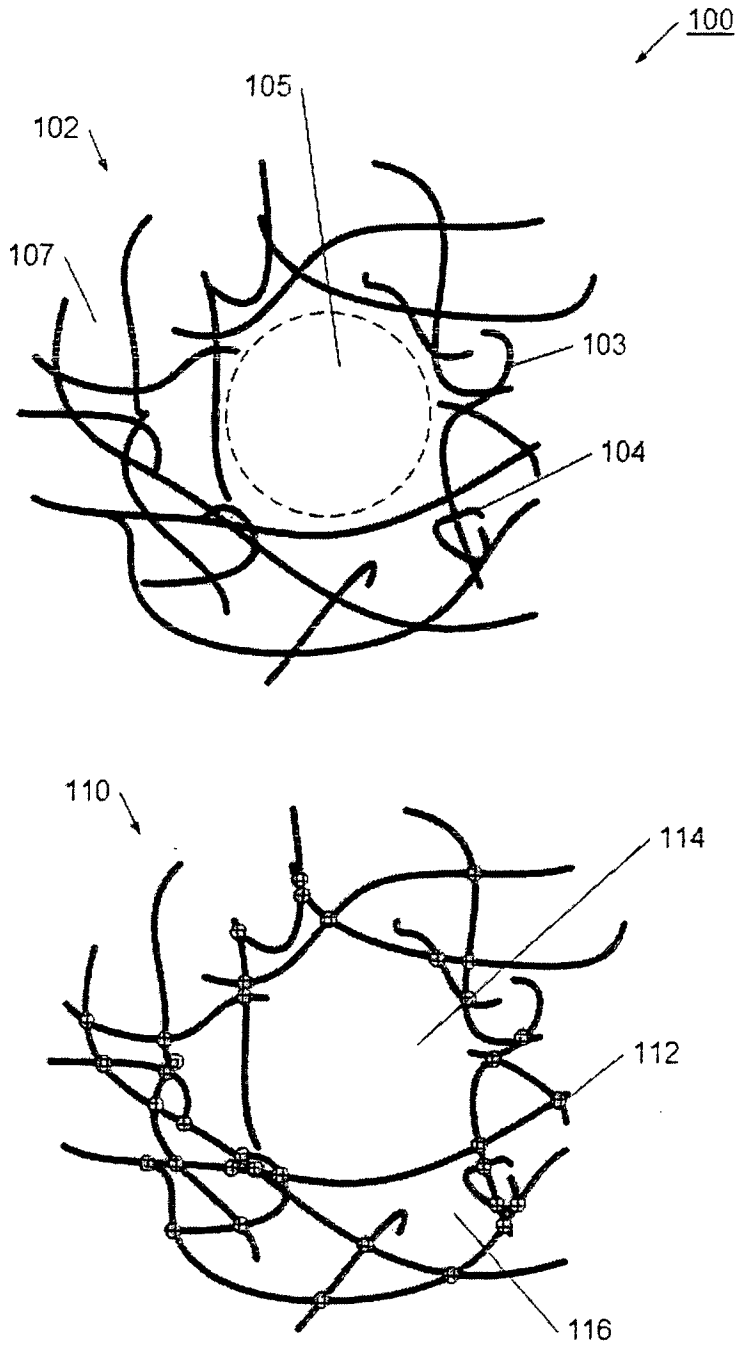


FIG. 3A

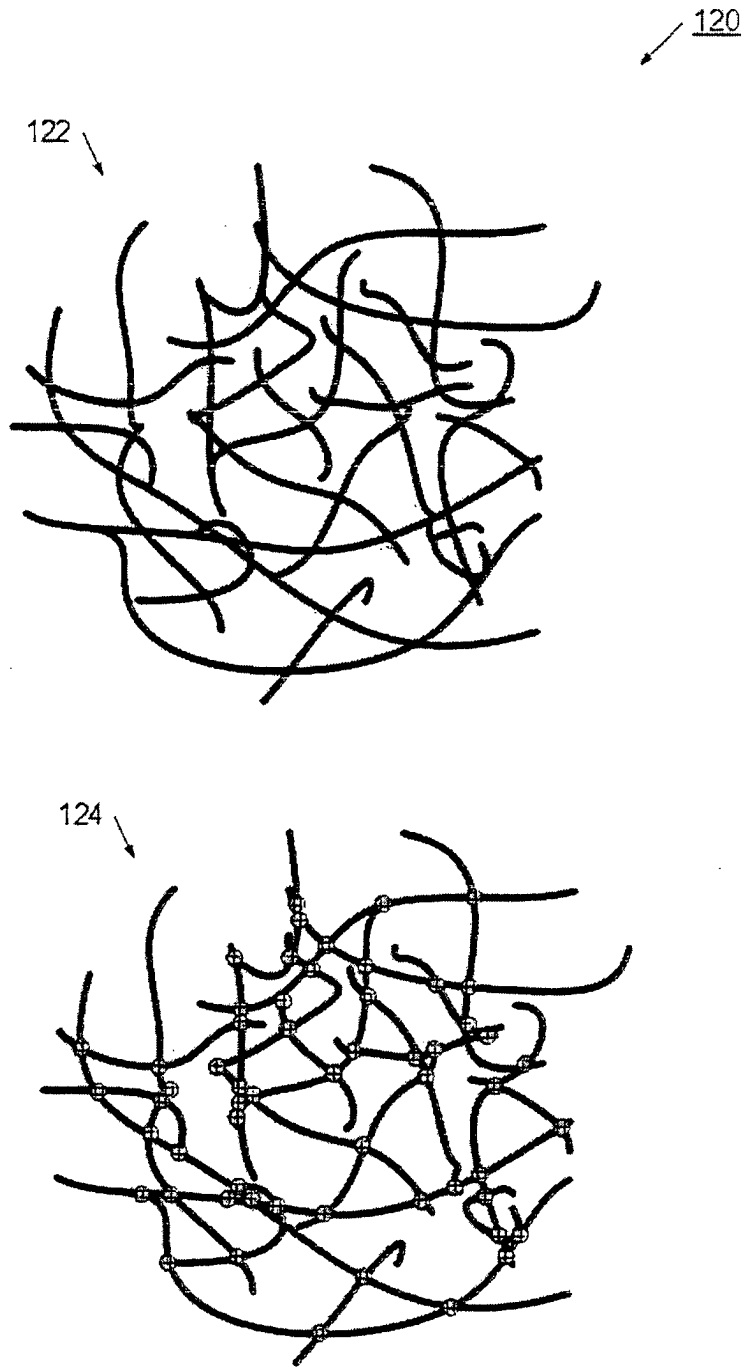


FIG. 3B

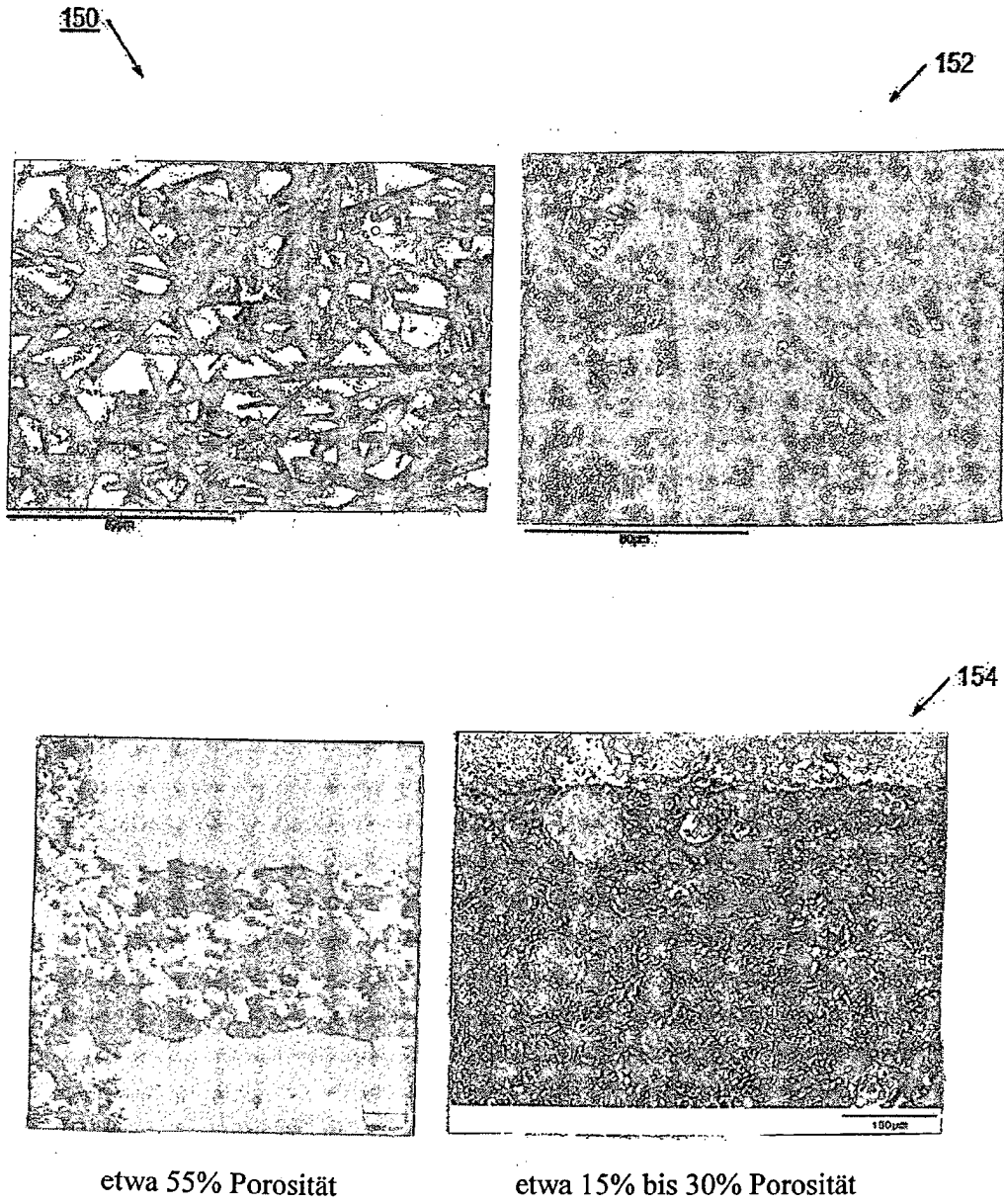


FIG. 4

175 ↘

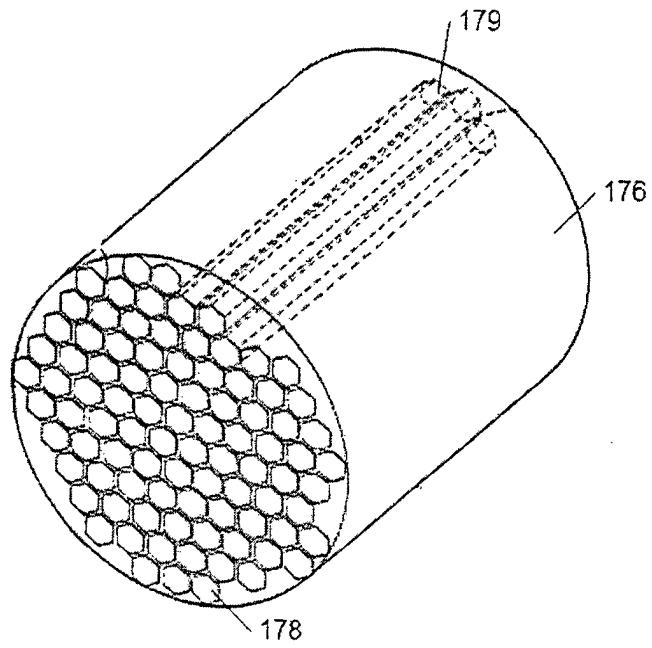


FIG. 5

FASERZUSAMMENSETZUNGEN	FASERZUSAMMENSETZUNGEN (FORTSETZUNG)
Mullit	Phenolfasern
Aluminiumoxid	Polymerfasern
Siliziumdioxid	Zellulose
Gemische von Aluminiumoxid und Siliziumdioxid	Keratin
Gemische von Aluminiumoxid	Kevlar
Siliziumdioxid und Aluminiumsilikat	Nylon
Aluminiumborsilikat	PTFE
Siliziumkarbid	Teflon
Siliziumnitrid	Kynol
Cordierit	Mylar
Nextel 312, 440, 550, 610 650, 720	Zirkonfasern
YAG (Yttrium-Aluminium-Granat) Fasern und die	Nickel
AETB-Zusammensetzungen	Kupfer
Aluminiumoxid-Mullit	Messing
Aluminiumoxid-Siliziumdioxid-Zirkoniumdioxid	Edelstahl
Aluminiumoxid-Siliziumdioxid-Chromoxid	Chromnickel
Magnesiumsilikat	Ni ₃ Al
Magnesiumstrontiumsilikat	
Magnesiumkalziumstrontiumsilikat	
Glasfaser	
E-Glas	WHISKER
Cordieritfaser	
Aluminiumtitandioxidfaser	Al ₂ O ₃
Strontiumtitanoxid	MgO
Titandioxidfaser	MgO-Al ₂ O ₃
Titankarbidfaser	Fe ₂ O ₃
Kalziumaluminiumsilikat	BeO
Nextel-Fasern	MoO
Almax-Fasern	NiO
Fibrox-Fasern	Cr ₂ O ₃
Polyesterfasern	ZnO
Aramidfasern	Si ₃ N ₄
Kohlefasern	AlN
Hoskins	ZnS
Inconel	CdS
Hastelloy	Wolframoxid
Yttrium-Nickel-Granat	LaB ₆
FeCrAl-Legierungen	CrB
	SiC
	B ₄ C

FIG. 6

TABELLE 1 – FASERAUSWAHL (FORTSETZUNG)		
FASERZUSTÄNDE		
Amorph		
Glas		
Glaskeramisch		
Polykristallin		
Monokristallin (Whisker)		
Whiskerartig		
SPEZIFISCHE DATEN BEI AUSGEWÄHLTEN FASERN		
<u>Markenname</u>	<u>Hersteller</u>	<u>Zusammensetzung (Gew.%)</u>
Faser FP ^a	DuPont	>99% a-Al ₂ O ₃
PRD-166 ^a	DuPont	~80% a-Al ₂ O ₃ ~20% ZrO ₂
Nextel 312	3M	62% Al ₂ O ₃ 24% SiO ₂ 14% B ₂ O ₃
Nextel 720	3M	85% Al ₂ O ₃ 15% SiO ₂
Nextel 550	3M	73% Al ₂ O ₃ 27% SiO ₂
Nextel 610	3M	0,2-0,3% SiO ₂ 0,4-0,7% Fe ₂ O ₃ > 99% a-Al ₂ O ₃
Almax	Mitsui Mining	>99% a-Al ₂ O ₃
Altex	Sumitomo	85% ?-Al ₂ O ₃ 15% SiO ₂
Saphikon	Saphikon	100% Al ₂ O ₃
Nicalon NL200		Si-C-O
Hi-Nicalon		Si-C
Tyranno Lox M		Si-C-O-Ti
Sylramic		SiC, TiB ₂
Tonen		Si-N-C
SCS-6		SiC
Nextel 610		Al ₂ O ₃
Nextel 720		Al ₂ O ₃ -SiO ₂
Almax		Al ₂ O ₃
Saphikon		Al ₂ O ₃ (Einkristall)
Anmerkung: Nextel 312 hat eine Zusammensetzung (pro Gewicht) von 62% Aluminiumoxid, 24% Siliziumdioxid und 14% Boroxid; Nextel 440 hat eine Zusammensetzung von 70% Aluminiumoxid, 28% Siliziumdioxid und 2% Boroxid; Nextel 550 ist 73% Aluminiumoxid und 27% Siliziumdioxid; Nextel 610 ist >99% Aluminiumoxid; und Nextel 720 ist 85% Aluminiumoxid und 15% Siliziumdioxid. AETB ist eine Abkürzung für aluminiumoxidverstärkte Wärmesperre, und AETB-Materialien enthalten Aluminiumoxid-Siliziumdioxid-Boroxid-Zusammensetzungen und Verbindungen von Aluminiumoxid, Siliziumdioxid, Boroxid und/oder Aluminiumborsilikaten.		

FIG. 6
(FORTGESETZT)

TABELLE 2 – BINDEMITTELAUSWAHL

ORGANISCHE BINDEMITTEL		WEICHMACHER
<u>Thermoplastische Kunststoffe</u>	ANORGANISCHE BINDEMITTEL	Stearinsäure
Polyethylen	Lösliche Silikate	Polyethylenglykol
Polypropylen	Lösliche Aluminate	Polypropylenglykol
Polybuten	Lösliche Phosphate	Propylenglykol
Polystyrol	Töpferton	Ethylenglykol
Polyvinylacetat	Kaolin	Diethylenglykol
Polyester	Bentonit	Triethylenglykol
Isotaktisches Polypropylen	Kolloides Siliziumdioxid	Tetraethylenglykol
Ataktisches Polypropylen	Kolloides Aluminiumoxid	Dimethylphthalat
Polysulfon	Borphosphate	Dibutylphthalat
Polyacetalpolymere		Diethylphthalat
Polymethylmethacrylat	WASSERLÖSLICHE BINDEMITTEL	Dioctylphthalat
Fumaron-Indan-Copolymer	Hydroxypropylmethylzellulose	Diallylphthalat
Ethylenvinylacetat-Copolymer	Hydroxyethylzellulose	Glyzerin
Styrenbutadien-Copolymer	Methylzellulose	Ölsäure
Acrylgummi	Natriumcarboxymethylzellulose	Butylstearat
Polyvinylbutyral	Polyvinylalkohol	Mikrokristallines Wachs
Ionomerharz	Polyvinylpyrrolidon	Paraffinwachs
<u>Duroplastische Bindemittel</u>	Polyethylenoxid	Japanwachs
Epoxidharz	Polyacrylamide	Karnaubawachs
Nylon	Polyethylenimin	Bienenwachs
Phenolformaldehyd	Agar	Esterwachs
Phenolfurfural	Agarose	Pflanzenöl
<u>Wachse</u>	Melassen	Tran
Paraffinwachs	Dextrine	Silikonöl
Wachsemulsion	Stärke	Hydriertes Erdnussöl
Mikrokristalline Wachse	Lignosulfonate	Tritolylphosphat
<u>Andere</u>	Ligninalkohol	Glyzerinmonostearat
Zellulose	Natriumalginat	Organosilan
Dextrine	Gummiarabikum	Wasser
Chlorkohlenwasserstoff	Xanthangummi	
Raffinierte Alginate	Tragantgummi	
Stärken	Karayagummi	
Gelatinen	Johannisbrotkernmehl	
Lignine	Irisches Moos	
Gummis	Scleroglucan	
Acryle	Acryle	
Bitumen	Kationisches Galaktomannan	
Kasein		
Kautschuk		
Albumine		
Proteine		
Glykole		

FIG. 6
(FORTGESETZT)

215

TABELLE 3 – PORENBILDNERAUSWAHL

Ruß	
Aktivkohle	
Fadengraphit	
Synthetischer Graphit	
Holzmehl	
Modifizierte Stärke	
Stärke	
Zellulose	
Kokosschalenmehl	
Spelzen	
Latexkugeln	
Vogelfutter	
Sägemehl	
<u>Pyrolysierbare Polymere</u>	<u>Pyrolysierbare Polymere (Fortsetzung)</u>
Poly (alkylmethacrylat)	Methacrylat-Copolymere
Polymethylmethacrylat	Polyisobutylene
Polyethylmethacrylat	Polytrimethylenkarbonat
Poly-n-butylmethacrylat	Polyethylenoxalat
Polyether	Poly-beta-propiolakton
Polytetrahydrofuran	Poly-delta-valerolakton
Poly (1,3-dioxolan)	Polyethylenkarbonat
Poly (alkylenoxide)	Polypropylenkarbonat
Polyethylenoxid	Vinylnol/alpha-methylstyrol-Copolymer
Polypropylenoxid	Styrol/alpha-methylstyrol-Copolymere
	Olefin-Schwefeldioxid-Copolymere

225

TABELLE 4 – FLUIDAUSWAHL

Wasser
 Schmelzbindemittel
 Organische Lösungsmittel

FIG. 6
(FORTGESETZT)

Tabelle 5 – Rheologiediagramm

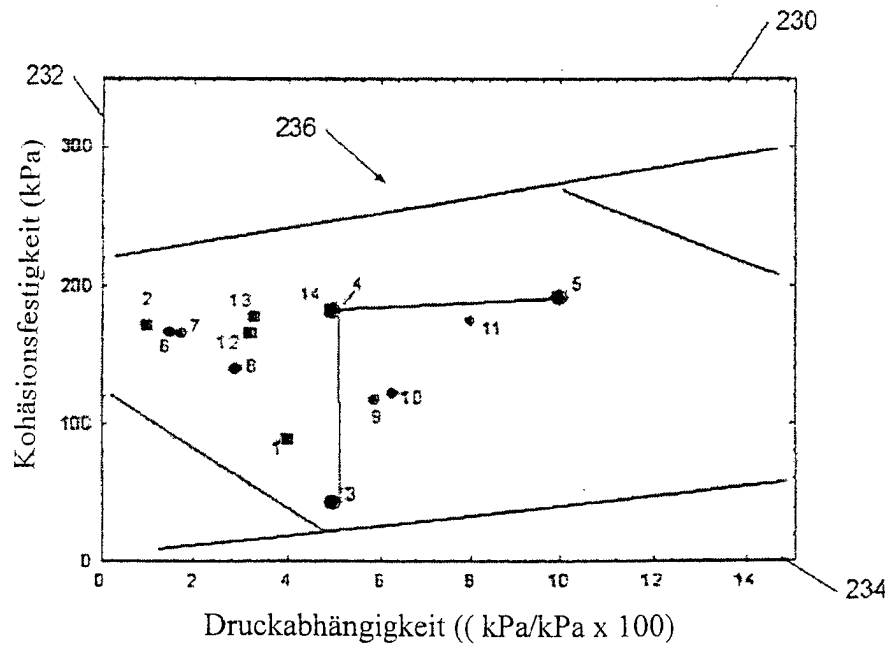


FIG. 6
(FORTGESETZT)

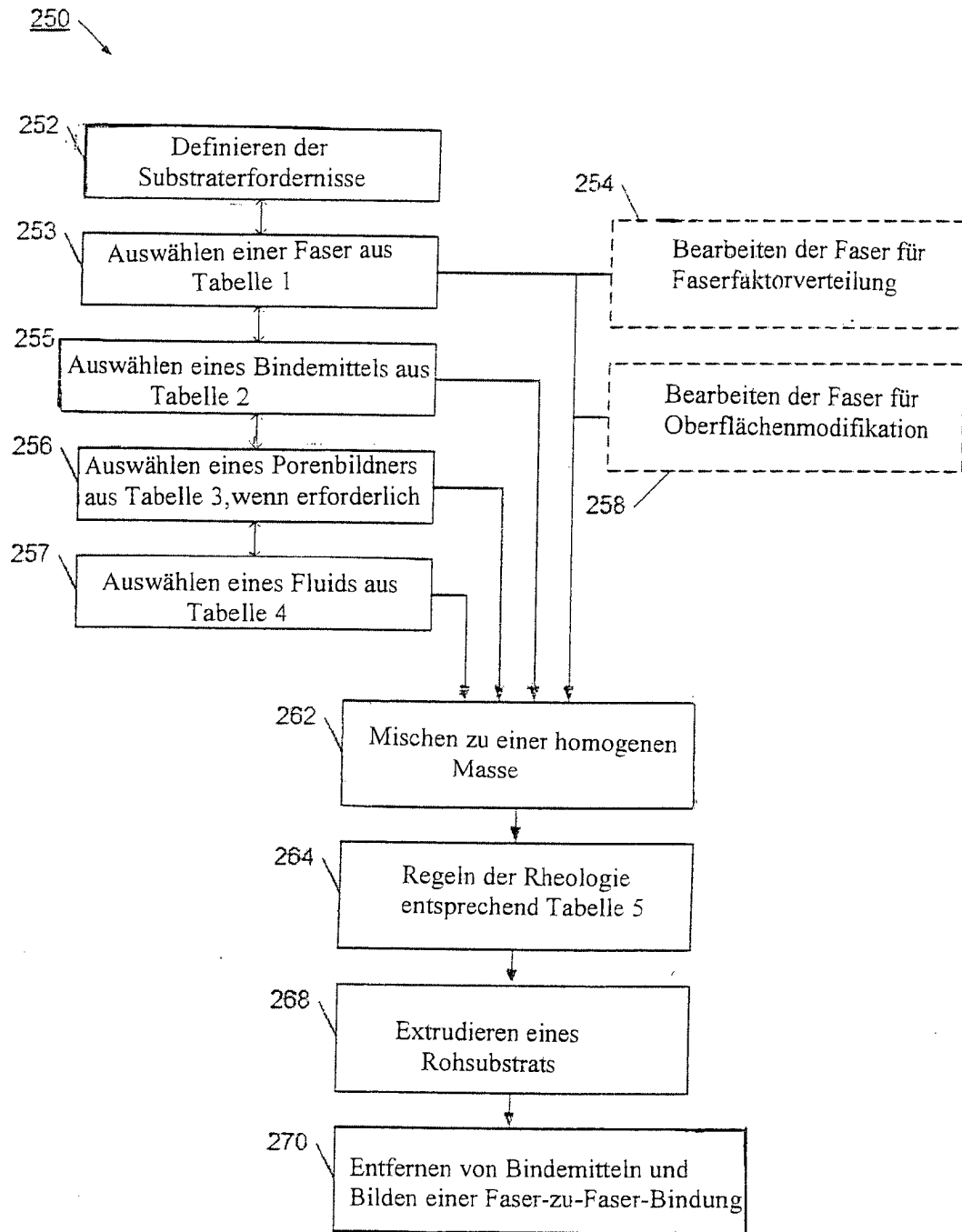


FIG. 7

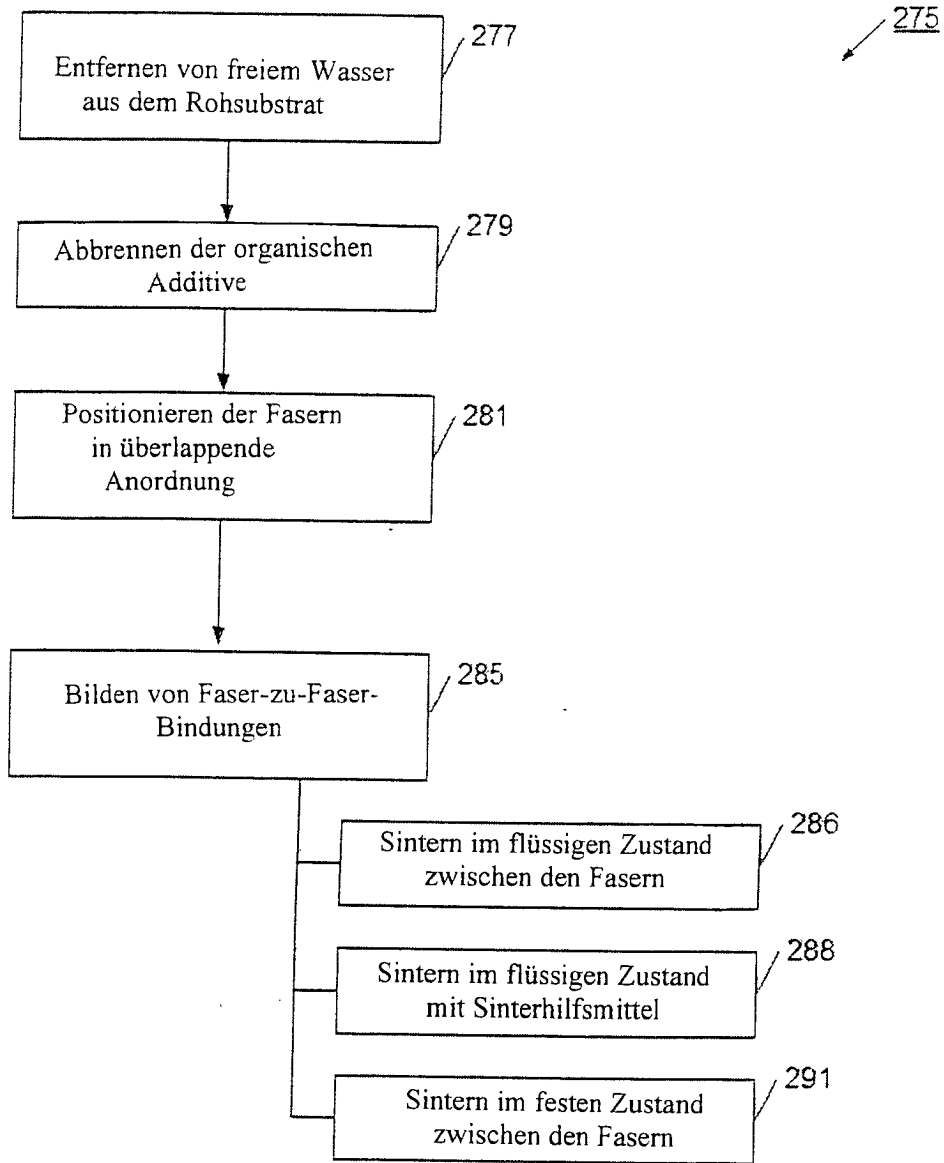


FIG. 8

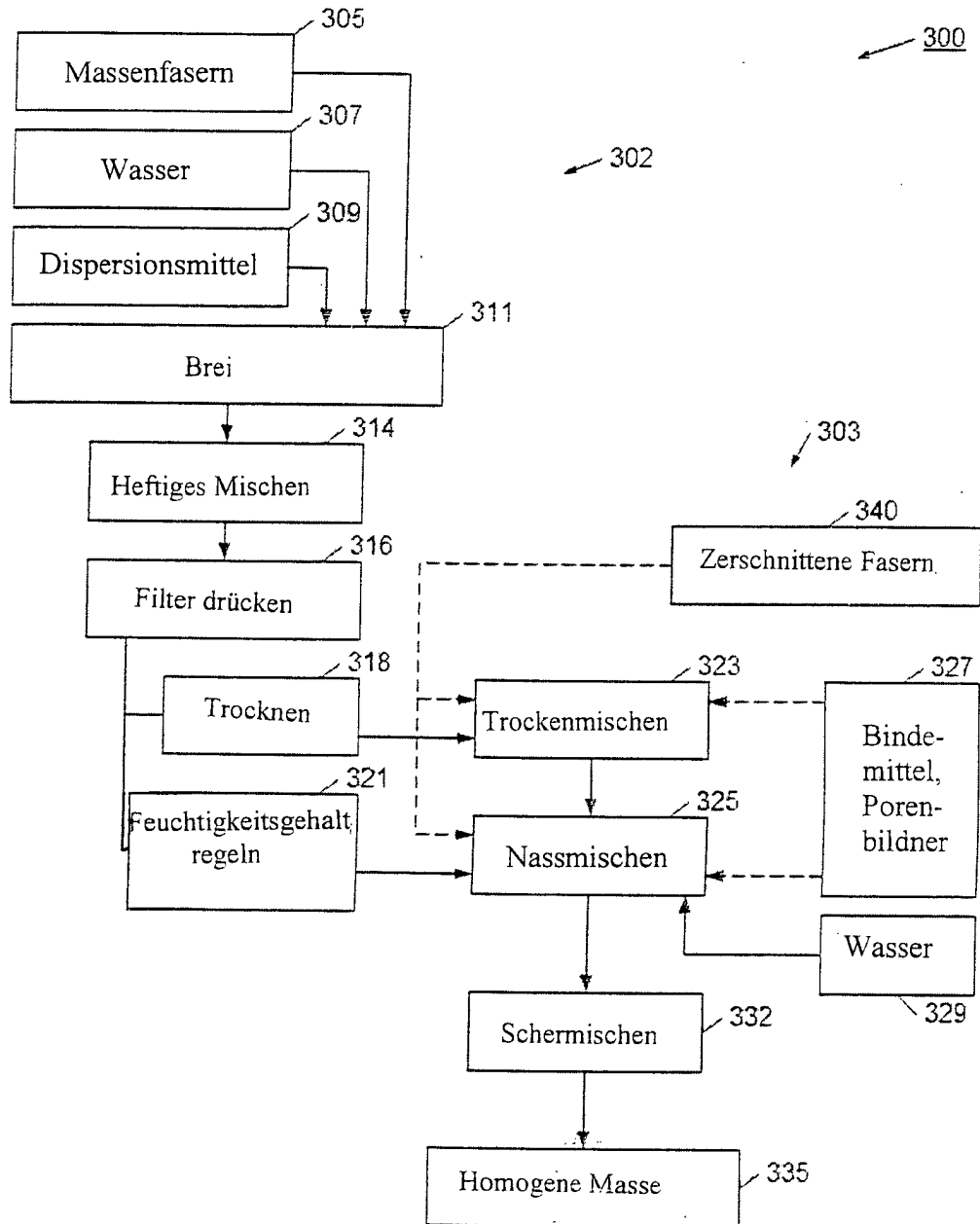


FIG. 9

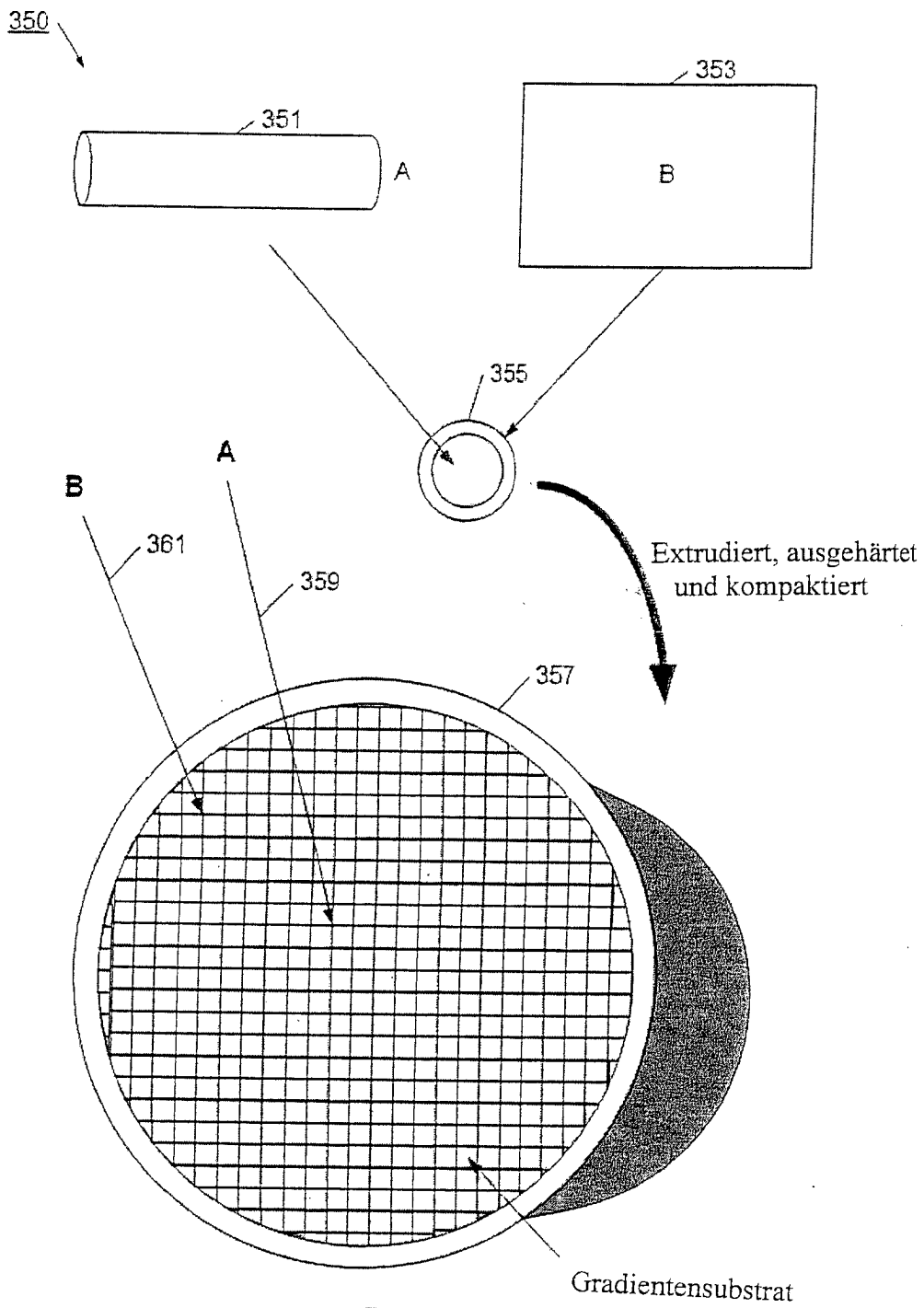


FIG. 10

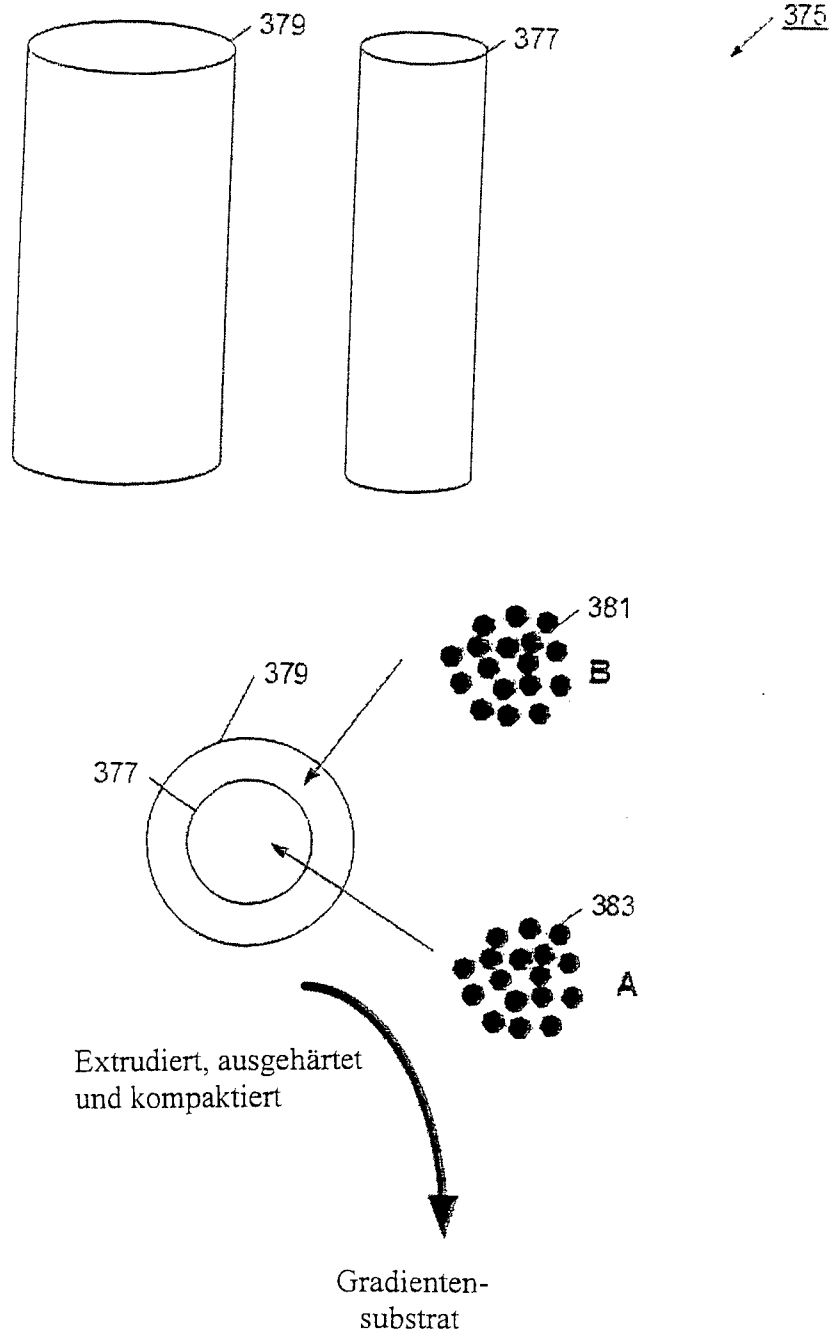


FIG. 11

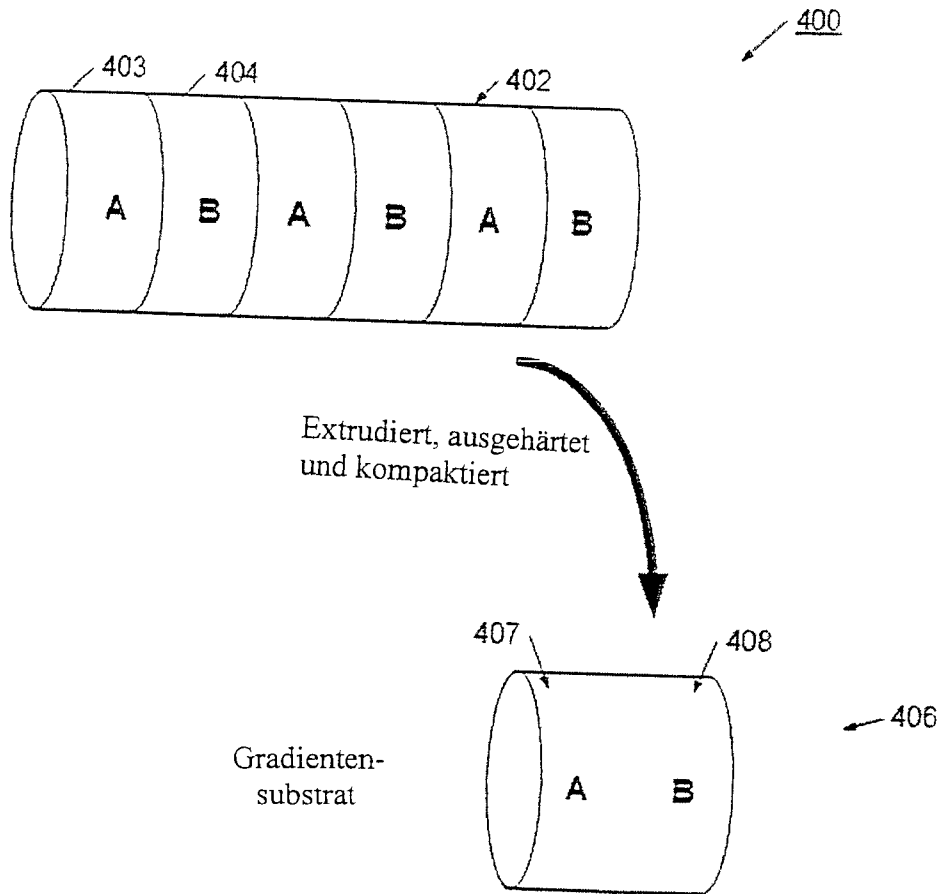


FIG. 12