



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 015 014 A1 2007.10.31**

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 015 014.7**

(22) Anmeldetag: **31.03.2006**

(43) Offenlegungstag: **31.10.2007**

(51) Int Cl.⁸: **C04B 35/622 (2006.01)**

B05D 1/02 (2006.01)

B05D 1/26 (2006.01)

B05D 1/36 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Uibel, Krishna, Dipl.-Ing., 87435 Kempten, DE;
Telle, Rainer, Prof. Dr.rer.nat., 52066 Aachen, DE;
Fischer, Horst, Dr.-Ing., 52074 Aachen, DE**

(74) Vertreter:

**TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR
Patentanwälte, 81679 München**

(72) Erfinder:

gleich Anmelder

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

EP 08 47 314 B1

WO 03/0 57 490 A1

**X. Zhao et al.: Direct Ink-Jet Printing of
Vertical Walls, In: J. Am. Ceram. Soc., 85 (2002),
2113-2115;**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung dreidimensionaler keramischer Formkörper**

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler keramischer Formkörper durch lagenweises Aufdrucken einer Suspension, welche die für die Bildung der keramischen Formkörper erforderlichen Bestandteile enthält, mit Hilfe eines Tintenstrahldruckers in der gewünschten zweidimensionalen Gestalt auf ein Trägermaterial, Trocknen und Aushärten des gebildeten Lagenverbunds, welches dadurch gekennzeichnet ist, daß eine Suspension aufgedruckt wird, die in einem Dispergiermedium, das ein wäßriges Böhmitsol, mindestens einen niedrigmolekularen Alkohol, mindestens einen Trocknungshemmer und mindestens einen organischen Verflüssiger umfaßt, 50 bis 80 Gew.-% Keramikteilchen enthält, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Beschreibung

[0001] Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler keramischer Formkörper durch lagenweises Aufdrucken einer Suspension, welche die für die Bildung der keramischen Formkörper erforderlichen Bestandteile enthält, mit Hilfe eines Tintenstrahldruckers in der gewünschten zweidimensionalen Gestalt auf ein Trägermaterial, Trocknen und Aushärten des gebildeten Lagenverbundes, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

[0002] Die herkömmlichen Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler keramischer Formkörper umfassen im allgemeinen den Einsatz von auf den herzustellenden Formkörper angepaßten Werkzeugen, wie Press- oder Gießformen. Wenngleich sich diese Verfahrensweise für die Herstellung einer großen Vielzahl identischer dreidimensionaler Formkörper eignet, ist das Verfahren nachteilig, wenn nur geringe Stückzahlen von Formkörpern mit jeweils unterschiedlicher dreidimensionaler Gestalt hergestellt werden sollen. Dies macht die Herstellung von Prothesen für den menschlichen Körper auf der Grundlage solcher dreidimensionaler keramischer Formkörper schwierig, weil diese Prothesen individuell angepaßt werden müssen.

[0003] Andererseits sind jedoch Formgebungsverfahren bekannt, die einen direkten Aufbau komplexer Formkörper aus geometrisch kleinen Einheiten durch kontrollierte Materialablagerung umfassen, welche ausgehend von einem dreidimensionalen Computermodell computergesteuert erfolgt. Der wesentliche Vorteil gegenüber den herkömmlichen Formgebungsverfahren liegt in der freien Formgebung, wobei gegebenenfalls auch zusätzliche Stützkonstruktionen angewandt werden können. Computergesteuerte Herstellungsverfahren dieser Art sind auch als Solid Free Form Fabrication oder Rapid Prototyping bekannt. Während letzteres die Mikroextrusion, die Stereolithographie, das Lasergenerieren und dergleichen umfaßt, sind für die Herstellung frei geformter Festkörper (SFF) auch das Tintenstrahldrucken und das selektive Lasersintern bekannt geworden.

[0004] So beschreibt die EP 0 847 314 B1 ein Verfahren zur Herstellung einer gesinterten Struktur auf einem Substrat, bei dem eine mit Teilchen geladene Flüssigkeit mit Hilfe eines Tintenstrahldruckers auf dem Substrat aufgebracht wird, wonach die Flüssigkeit verdampft wird und die zurückbleibenden Teilchen gesintert werden. Bei diesem Verfahren erfolgt der Sintervorgang der Teilchen schichtweise mit Hilfe eines Lasers. Diese Verfahrensweise ist insoweit unbefriedigend, als die Notwendigkeit des schichtweisen Sinterns der Teilchen mit Hilfe eines Lasers die Anwendung aufwendiger Vorrichtungen erforderlich macht.

[0005] X. Zhao et al. beschreiben in J. Am. Ceram. Soc., 85 (2002), 2113-2115 die Herstellung von vertikalen Keramikwänden durch lagenweises Aufdrucken einer Keramikteilchen enthaltenden Druckflüssigkeit mit Hilfe eines Tintenstrahldruckers. Die dabei eingesetzte Druckflüssigkeit umfaßt Zirkondioxid-Teilchen, ein Dispergiermittel, Isopropylalkohol, Octan und Wachs. Nach dem Aufdrucken dieser Druckflüssigkeit mit Hilfe des Tintenstrahldruckers in Form von einzelnen Lagen, wobei jeweils der Drucktisch in der z-Richtung abgesenkt wird, werden die bedruckten dreidimensionalen Proben getrocknet und dann zur Entfernung der organischen Anteile bei hoher Temperatur pyrolysiert. Anschließend werden die Zr₂-Keramikteilchen gesintert.

[0006] Es hat sich jedoch gezeigt, daß dieses Verfahren für eine Serienfertigung dreidimensionaler keramischer Formkörper nicht geeignet erscheint, weil die eingesetzte Druckflüssigkeit nicht die erforderliche Stabilität aufweist, so daß sich die suspendierten Keramikteilchen absetzen, die Düsen des Druckkopfes des Tintenstrahldruckers verstopfen, was letztlich keine gleichmäßige Abscheidung des Keramikmaterials in Form der gewünschten Lagen und damit des dreidimensionalen Formkörpers ermöglicht. Dies hat zur Folge, daß die Formkörper nach dem Pyrolysieren und dem Sintern nicht die gewünschte Dimensionsgenauigkeit und gleichmäßige Dichte und damit Festigkeit aufweisen.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht nun darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit denen diese Nachteile überwunden werden können und mit dem es in einfacher Weise gelingt, dreidimensionale keramische Formkörper unterschiedlichster Form mit hoher Dimensionsgenauigkeit und gleichbleibenden mechanischen Eigenschaften herzustellen und dabei das Problem der Stabilität und des Dispergierzustandes und der Eignung der die suspendierten Keramikteilchen enthaltenden Druckflüssigkeit für die Verwendung in einem Tintenstrahldrucker zu lösen.

[0008] Es hat sich nunmehr überraschenderweise gezeigt, daß diese Aufgabe dadurch gelöst werden kann, daß die für das Aufdrucken mit Hilfe eines Tintenstrahldruckers verwendete Suspension ein Dispergiermedium und darin suspendierte Keramikteilchen enthält, wobei das Dispergiermedium als wesentlichen Bestandteil ein wässriges Böhmitisol enthält.

[0009] Gegenstand der Erfindung ist daher das Verfahren gemäß Anspruch 1 und die Vorrichtung gemäß Anspruch 39.

[0010] Die Unteransprüche betreffen bevorzugte Ausführungsformen dieser Erfindungsgegenstände.

[0011] Die Erfindung betrifft somit insbesondere ein Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler keramischer Formkörper durch lagenweises Aufdrucken einer Suspension, welche die für die Bildung der keramischen Formkörper erforderlichen Bestandteile enthält, mit Hilfe eines Tintenstrahldruckers in der gewünschten zweidimensionalen Gestalt auf ein Trägermaterial, Trocknen und Aushärten des gebildeten Lagenverbunds das dadurch gekennzeichnet ist, daß eine Suspension aufgedruckt wird, die in einem Dispergiermedium, das ein wäßriges Böhmitisol, mindestens einen niedrigmolekularen Alkohol, mindestens einen Trocknungshemmer und mindestens einen organischen Verflüssiger umfaßt, 50 bis 80 Gew.-% Keramikteilchen enthält.

[0012] Es hat sich überraschenderweise gezeigt, daß die bei dem erfindungsgemäßen Verfahren als Druckflüssigkeit eingesetzte Suspension eine sehr gute Stabilität aufweist und auch bei hohen Feststoffgehalten kaum zu einem Absetzen der Keramikteilchen neigt, welche gegebenenfalls durch einfaches Schütteln wieder dispergiert werden können. Weiterhin besitzt die erfindungsgemäß eingesetzte Suspension eine für den Druckvorgang geeignete Viskosität und ein gutes Benetzungs- und Trocknungsverhalten auch bei hohen Feststoffgehalten, namentlich bei einem Gehalt an den Keramikteilchen von 50 bis 80 Gew.-%. Im Gegensatz zu der Lehre des genannten Standes der Technik wird es mit Hilfe dieser Suspension und des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich, beliebige dreidimensionale keramische Formkörper hoher Maßgenauigkeit mit gleichmäßigen mechanischen Eigenschaften und ohne Lunkerbildung in den gesinterten Keramikformkörpern herzustellen.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform beträgt der Feststoffgehalt des in dem Dispergiermedium der erfindungsgemäßen Drucksuspension enthaltenen Böhmitisols einen Feststoffgehalt von 0,001 bis 2 Gew.-%, bevorzugter 0,001 bis 1 Gew.-% und noch bevorzugter von 0,01 bis 0,5 Gew.-%. Dabei enthält das Böhmitisol nanokristalline Böhmitpartikel und gelöstes Aluminiumhydrat.

[0014] Die nanokristallinen Böhmitpartikel ($\text{Al}(\text{OH})_3$) besitzen vorzugsweise eine Teilchengröße von 3 bis 20 nm, bevorzugter von 4 bis 5 nm, und besitzen in besonders vorteilhafter Weise ein Verhältnis von Länge zu Breite (aspect ratio) von 1,4:1 bis 2,2:1, wodurch die Keramikteilchen in besonders stabiler Weise in der Suspension gehalten werden können.

[0015] Als gelöstes Aluminiumhydrat enthält das erfindungsgemäß in dem Dispergiermedium enthaltene Böhmitisol die neutralen oder ionischen Verbindungen der folgenden Formeln $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$, $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{aq})$, $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$.

[0016] Erfindungsgemäß ist es besonders vorteilhaft, wenn das Böhmitisol einen pH-Wert von 1, 7 bis 11, vorzugsweise 4 bis 10, und noch bevorzugter 5 bis 8, aufweist. Bei einem pH-Wert des Böhmitisols innerhalb dieses Bereiches läßt sich eine sehr gute kolloidale Suspension der Keramikteilchen in stabiler Weise aufrechterhalten bei gleichzeitiger guter Pumpfähigkeit und Druckbarkeit der Suspension.

[0017] Gemäß einer weiter bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt das Dispergiermedium 48 bis 88 Gew.-% Böhmitisol, 50 bis 20 Gew.-% niedrigmolekularen Alkohol, 5 bis 20 Gew.-% Trocknungshemmer und 2 bis 12 Gew.-% organischen Verflüssiger beziehungsweise ein organisches Dispergiermittel.

[0018] Als niedrigmolekularen Alkohol kann das Dispergiermedium vorzugsweise Methanol, Ethanol, Propanol, Isopropanol oder Mischungen davon, als Trocknungshemmer einen mehrwertigen Alkohol, einen langkettigen Kohlenwasserstoff oder Mischungen davon, wie beispielsweise Glycerin und/oder Ethylenglykol, enthalten. Vorzugsweise enthält das Dispergiermedium als organischen Verflüssiger beziehungsweise organisches Dispergiermittel einen synthetischen organischen Polyelektrolyt und/oder eine Carbonsäurezubereitung. Als synthetischen organischen Polyelektrolyt sind Polyacrylsäure und/oder Polymethacrylsäure mit einem gewichtsmittleren Molekulargewicht von 4.000 bis 6.000 bevorzugt, wobei diese Säuren vorzugsweise in Form eines Alkalimetall- oder Ammoniumsalzes vorliegen. Diese bevorzugten synthetischen organischen Polyelektrolyte ergeben eine Suspension, welche nicht schäumt und aufgrund der Anwesenheit dieser organischen Verflüssiger sich hervorragend mit Hilfe eines herkömmlichen Tintenstrahldruckers auf ein Substratmaterial lagenweise aufdrucken läßt. Besonders bevorzugt sind die in Form der Ammoniumsalze vorliegenden Polyacrylsäuren, die von der Firma Zschimmer & Schwarz unter den Bezeichnungen Dolapix CE64, Dolapix PC75 und Dolapix ET85 erhältlich sind.

[0019] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform enthält das Dispergiermedium 62 bis 91 Gew.-% Böhmitisol, 5 bis 15 Gew.-% Ethanol, 2 bis 15 Gew.-% Glycerin und/oder Ethylenglykol und 2 bis 8 Gew.-% Polyacrylsäure und/oder Polymethacrylsäure in Form des Ammoniumsalzes.

[0020] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung umfaßt die als Druckflüssigkeit verwendete Suspension Keramikteilchen, die aus reinem Al_2O_3 , reinem ZrO_2 , reinem $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$, reinem Si_3N_4 , mit Böhmit stabilisiertem Al_2O_3 , mit Y_2O_3 , HfO_2 , CeO_2 , MgO und/oder CaO stabilisiertem ZrO_2 , mit Y_2O_3 , HfO_2 , CeO_2 , MgO und/oder CaO stabilisiertem $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ mit Al_2O_3 , Y_2O_3 , Fe_2O_3 und/oder weiteren

Seltenen Erdoxiden stabilisiertem Si_3N_4 oder Mischungen davon bestehen.

[0021] Die gegebenenfalls mit Y_2O_3 , HfO_2 , CeO_2 , MgO und/oder CaO stabilisierte Al_2O_3 - ZrO_2 -Mischkeramik enthält vorzugsweise 30 bis 70 Gew.-% Al_2O_3 und entsprechend 70 bis 30 Gew.-% ZrO_2 . Besonders bevorzugt ist ein mit Y_2O_3 stabilisiertes ZrO_2 , welches von der Firma Tosoh, Tokyo, unter der Bezeichnung TZ-3YS-E erhältlich ist.

[0022] Erfindungsgemäß ist es besonders bevorzugt, wenn die Suspension die Keramikteilchen in einer Menge von 60 bis 70 Gew.-% enthält. Dabei muß die Teilchengröße der Keramikteilchen geringer sein als die Öffnung der Düsen des Druckkopfs des verwendeten Tintenstrahldruckers und der Zuführungsleitungen und liegt vorzugsweise im Bereich eines d_{90} -Werts von 0,01 bis 3 μm , bevorzugter 0,5 bis 1,5 μm .

[0023] Vorteilhaft ist es, wenn die Suspension der Keramikteilchen in dem erfindungsgemäßen Dispergiermedium einen pH-Wert von 4 bis 11, vorzugsweise von 7 bis 9, und eine bei 25°C und bei Scherraten von $\gamma > 400$ gemessene Viskosität von 5 bis 25 mPas und bei niedrigen Scherraten von $\gamma < 50$ gemessene Viskosität von 100 bis 500 mPas aufweist, da die Suspension bei dieser Viskosität sich ohne weiteres mit den Pumpen herkömmlicher Tintenstrahldrucker durch die Druckköpfe und Druckdüsen dieser herkömmlichen Tintenstrahldrucker fördern und ausdrücken läßt.

[0024] Bei der erfindungsgemäßen Verfahrensweise werden die gewünschten dreidimensionalen keramischen Formkörper bildenden Lagen auf ein planares Trägermaterial aufgedruckt, beispielsweise ein Graphitplättchen, ein Platinblech, eine Keramik oder eine Glaskeramik mit einer offenen Porosität von 0 bis 10%.

[0025] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist es möglich, die den dreidimensionalen keramischen Formkörper bildenden Lagen auf ein Trägermaterial aufzudrucken, auf welches zuvor eine oder mehrere beim Aushärten des Lagenverbundes entfernbare Lagen definierter Dimension unter Verwendung einer Suspension aufgedruckt worden sind, die in dem angegebenen Dispergiermedium ein sich beim Aushärten des Lagenverbundes verflüchtigendes Material enthält. In dieser Weise wird es möglich, einen dreidimensionalen keramischen Formkörper auszubilden, der gezielt Ausnehmungen, Öffnungen und dergleichen aufweist, mit dem er passgenau mit einem entsprechenden Gegenstück verbunden werden kann, beispielsweise dem Metallteil oder auch einem Keramikteil eines Zahnimplantats, bei dem der erfindungsgemäß hergestellte dreidimensionale Formkörper als Zahnkrone dient.

[0026] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden neben oder zwischen den mit dem ersten Druckkopf aufgedruckten Lagen eine oder mehrere beim Aushärten des Lagenverbundes entfernbare Lagen definierter Dimension mit Hilfe eines zweiten Druckkopfs und unter Verwendung einer Suspension aufgedruckt, die in dem angegebenen Dispergiermedium ein sich beim Aushärten des Lagenverbundes verflüchtigendes Material enthält. In dieser Weise wird es möglich, im Verlaufe eines einzigen Druckvorganges einen dreidimensionalen keramischen Formkörper herzustellen, der an den gewünschten Stellen Ausnehmungen, Hinterschneidungen etc. aufweist, welche an das damit zu verbindende Gegenstück formschlüssig angepaßt sind.

[0027] Als verflüchtigendes Material bei dieser Ausführungsform der Erfindung wird vorzugsweise ein Material verwendet, das bei einer Temperatur von mehr als 200°C verdampft oder bei einer Temperatur von mehr als 400°C in Gegenwart von Sauerstoff pyrolysiert.

[0028] Wenngleich die bei dem erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzte Suspension beziehungsweise Druckflüssigkeit eine sehr geringe Neigung zum Absetzen der Keramikteilchen oder zum Anhaften an den Düsen des Druckkopfes des Tintenstrahldruckers aufweist, werden die Düsen des Druckkopfes gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung nach dem Aufdruck einer oder mehrerer Lagen mit einer Reinigungsflüssigkeit gereinigt, die Wasser, einen niedrigmolekularen Alkohol und einen mehrwertigen Alkohol enthält. Vorzugsweise umfaßt die Reinigungsflüssigkeit ein Gemisch aus Wasser, Ethanol und mindestens einem mehrwertigen Alkohol in einem Gewichtsverhältnis von Wasser:Ethanol:mehrwertigem Alkohol von 6 bis 10:1 bis 4:1 bis 3, vorzugsweise von 8:1:1.

[0029] Mit Vorteil erfolgt die Reinigung der Düsen des Druckkopfes in der Weise, daß die Reinigungsflüssigkeit in die Düsen und die Düsenvorkammern eindringt. Dieses Eindringen der Reinigungsflüssigkeit in die Düsen und die Düsenvorkammern kann unter Einwirkung von erhöhtem Außendruck oder von Unterdruck in der die Suspension enthaltenden Druckpatrone erfolgen. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, daß der Innendruck der Gasphase der Druckpatrone auf einen Wert eingestellt wird, der 2 bis 100 mbar (entsprechend 200 bis 10.000 Pa), vorzugsweise 2 bis 25 mbar (entsprechend 200 bis 2.500 Pa), unterhalb des Atmosphärendrucks liegt, und der gemäß einer besonders bevorzugten Variante abhängig vom Füllstand der Suspension in der Druckpatrone derart gesteuert wird, daß die Druckdifferenz im Inneren der Druckpatrone in Abhängigkeit vom dem Füllstand der Suspension in der Druckpatrone gleich bleibt.

[0030] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Reinigung der Düsen des Druckkopfes unter Einwirkung eines mit der Reinigungsflüssigkeit getränkten Körpers, der periodisch mit einem Andruck von 0,01 bis 1 N/mm², vorzugsweise von 0,02 bis 0,05 N/mm² im Bereich der Düsen über den Druckkopf geführt wird. Bei diesem Körper handelt es sich vorzugsweise um einen offenporigen Schaumstoff oder ein Mikrofasertuch oder auch eine Kombination daraus, das heißt beispielsweise einen offenporigen Schaumstoff, der mit einem Mikrofasertuch bespannt ist. Dieser Körper besitzt beispielsweise die Form eines Zylinders und wird unter Drehung um seine Längsachse mit dem angegebenen Andruck gegen die Düsen des Druckkopfes gedrückt und daran vorbeigeführt wird. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird dabei der Druckkopf bei Erreichen seiner Endstellung oder einer beliebigen Position an dieser Reinigungsvorrichtung vorbeigeführt.

[0031] Weiterhin ist es möglich, die Reinigung der Düsen des Druckkopfes unter Einwirkung von Ultraschall durchzuführen, wobei diese Maßnahme auch mit der mechanischen Reinigung unter Einwirkung des mit der Reinigungsflüssigkeit getränkten Körpers kombiniert werden kann. Vorzugsweise erfolgt die Reinigung der Düsen des Druckkopfes unter Einwirkung von Ultraschall periodisch zwischen den Druckzyklen in der Druckpatrone oder am Druckkopf.

[0032] Nach dem Aufdrucken werden die aufgedruckten Lagen bei einer Temperatur von 65°C bis 105°C getrocknet, wobei es bevorzugt ist, jede einzelne Lage nach dem Aufbringen zu trocknen. Vorzugsweise erfolgt dies dadurch, daß jede einzelne aufgedruckte Lage im Druckbereich des Tintenstrahldruckers durch Erhitzen auf eine Temperatur im Bereich von 65°C bis 105°C, vorzugsweise 68°C bis 85°C, gegebenenfalls unter Anwendung eines Lüfters, Anlegen eines Vakuums oder einer Konvektionsströmung zur Abführung des Flüssigkeitsdampfes getrocknet wird. Das Trocknen dieser Lagen kann auch durch Bestrahlen mit einer Halogenlampe, einer Infrarotlampe, durch Ionenstrahlung, Laserstrahlung oder unter Anwendung von im Druckbereich angeordneten Heizelementen erfolgen.

[0033] Das Aufdrucken der Suspensionen erfolgt in der Weise, daß die einzelnen Lagen aus dem Keramikmaterial nach dem Trocknen eine Dicke von 1 µm bis 30 µm, vorzugsweise von 0,05 µm bis 10 µm aufweisen und die gegebenenfalls aufgedruckten einzelnen Lagen aus dem sich beim Aushärten des Lagenverbundes verflüchtenden Material eine Dicke von 0,05 µm bis 5 µm besitzen.

[0034] Nach dem Trocknen der letzten Lage wird der hierbei erhaltene getrocknete Lagenverbund durch Sintern des Keramikmaterials ausgehärtet, wo-

bei es bevorzugt ist, den nach dem Druckvorgang erhaltenen Lagenverbund gegebenenfalls bei erhöhter Temperatur im Trockenschrank zu lagern, beispielsweise bei einer Temperatur von etwa 80°C. Das Aushärten des gebildeten Lagenverbunds aus dem Keramikmaterial zu dem dreidimensionalen keramischen Formkörper erfolgt vorzugsweise durch Sintern bei einer Temperatur von 800° bis 1500°C. Hierbei ist es bevorzugt, das Sintern bis zu einer Sinterdichte von 100% der theoretischen Dichte, vorzugsweise bis zu 98% dieser Dichte, durchzuführen.

[0035] Es hat sich gezeigt, daß es mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich wird, dreidimensionale keramische Formkörper mit hoher Genauigkeit der Abmessungen herzustellen, die keine Trocknungsrisse aufweisen, kein Abplatzen der einzelnen Lagen zeigen und in hervorragendem Maße zur Herstellung von medizinischen keramischen Prothesen geeignet sind.

[0036] Das erfindungsgemäße Verfahren ist daher insbesondere gerichtet auf die Herstellung von medizinischen keramischen Prothesen, insbesondere Prothesen im Bereich des Körpers, der Gliedmaßen und des Kopfes, des Gesichts, der Mundhöhle, von Zahnimplantaten, Zahninlays, Zahnkronen und Zahnbrücken.

[0037] Der Gegenstand der Erfindung ist weiterhin eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, welche gekennzeichnet ist durch einen herkömmlichen, computergesteuerten Tintenstrahldrucker mit einem in der z-Richtung vertikal beweglichen, computergesteuert um jeweils eine Lagenhöhe absenk- baren, in der y-Richtung und gegebenenfalls in der x-Richtung (der Bewegungsrichtung des Druckkopfes) bewegbaren Support für das Trägermaterial, einer Trocknungseinrichtung im Druckbereich und einem Reinigungssystem für die Düsen des Druckkopfes.

[0038] Der Tintenstrahldrucker ist vorzugsweise ein handelsüblicher Drop-on-Demand-Drucker, wie er beispielsweise von der Firma Hewlett Packard Company erhältlich ist und der durch Anbringen einer Trocknungseinrichtung im Druckbereich und eines Reinigungssystems für die Düsen des Druckkopfes modifiziert worden ist. Das Reinigungssystem dieser Vorrichtung umfaßt vorzugsweise einen mit der Reinigungsflüssigkeit tränkbaren Körper, der bei dem Reinigungsschritt unter Druck mit den Düsen des Druckkopfes in Kontakt gebracht werden kann. Vorzugsweise besitzt der mit der Reinigungsflüssigkeit tränkbare Körper die Form eines Zylinders aus einem offenporigen Schaumstoff, über welchen der Druckkopf bei dem Reinigungsschritt mit den Druckdüsen in reinigendem Kontakt unter Andruck vorbeigeführt wird. Vorzugsweise ist der Schaumstoff-Zylinder um seine Längsachse drehbar und taucht mit seiner von dem Druckkopf abgewandten Seite in die Reini-

gungsflüssigkeit ein. Dabei ist es von Vorteil, wenn die Achse des Schaumstoff-Zylinders parallel zur Druckrichtung des Tintenstrahldruckers, das heißt der Bewegungsrichtung des Druckkopfes (x-Richtung) oder senkrecht dazu (y-Richtung) verläuft.

[0039] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist zwischen der Austrittsstelle des Schaumstoff-Zylinders aus der Reinigungsflüssigkeit und seiner Kontaktstelle mit dem Druckkopf des Tintenstrahldruckers eine Abstreifrolle zur Entfernung überschüssiger Reinigungsflüssigkeit vorgesehen.

[0040] Weiterhin kann das Reinigungssystem der erfindungsgemäßen Vorrichtung ein mit der Reinigungsflüssigkeit beschicktes Ultraschallbad umfassen, in welches der Druckkopf mit den Druckdüsen abgesenkt werden kann. Vorzugsweise ist das Ultraschallbad dieser Ausführungsform im Bereich der Parkposition des Druckkopfes angeordnet.

[0041] Bei der praktischen Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zunächst die genaue Form des herzustellenden dreidimensionalen keramischen Formkörpers am Computer generiert, was beispielsweise durch Abtasten eines Modells erfolgen kann. Beispielsweise können die für den zu bildenden Formkörper erforderlichen Daten auf einem handelsüblichen Computer mit Hilfe eines Softwareprogramms, wie Microsoft WORD, erstellt werden. Die x- und y-Dimension des späteren dreidimensionalen Formkörpers ergibt sich aus der zweidimensionalen Darstellung des in diesem WORD-Dokument erstellten Objekts in Form der einzelnen aufzudruckenden Lagen. Die Dreidimensionalität des Formkörpers wird durch das wiederholte Aufdrucken der entsprechend in ihren Abmessungen gestalteten einzelnen Lagen bewirkt.

[0042] Anschließend werden die Druckpatronen mit der aufzudruckenden Suspension befüllt, wonach der Druckkopf entsprechend dem Steuerprogramm über das Trägermaterial geführt wird und die Suspension in der gewünschten Gestalt in Form einer Lage aufgedruckt wird. Diese Lage wird anschließend zwischen dem Aufbringen der nächsten Lage getrocknet. Diese Maßnahmen werden solange unter gleichzeitiger Absenkung des Supports des Trägermaterials um eine jeweilige Lagenhöhe fortgesetzt bis der grüne dreidimensionale keramische Formkörper fertiggestellt ist. Dieser Formkörper wird anschließend, gegebenenfalls nach dem Lagern bei 80°C im Trockenschrank bei der für das Aussintern des Keramikmaterials erforderlichen Temperatur gesintert und liefert den gewünschten dreidimensionalen keramischen Formkörper mit hoher Oberflächengenauigkeit und Oberflächengüte.

[0043] Bei dieser erfindungsgemäßen Verfahrens-

weise ist es ohne weiteres möglich, mehr als 10.000 Druckcyclen, das heißt mehr als 10.000 Lagen mit der gewünschten zweidimensionalen Form aufzudrucken, ohne daß die Düsen des Druckers verstopfen.

[0044] Das folgende Beispiel dient der weiteren Erläuterung der Erfindung.

BEISPIEL

[0045] Für die Herstellung des in dem erfindungsgemäßen Dispergiermedium verwendeten Böhmitsols bringt man 700 ml Wasser durch Zugabe von 65%-iger Salpetersäure auf einen pH-Wert von 2. Man erhitzt auf 80°C und gibt 2,1 g Böhmit (Dispersal P2, von der Firma Sasol, Hamburg) zu und rührt während 10 Minuten. Man läßt auf Raumtemperatur abkühlen, gibt 25%-igen Ammoniak bis zu einem pH-Wert von 8,5 zu und bewahrt das erhaltene wässrige Böhmitsol in einer Polyethylenflasche auf.

[0046] Für die Herstellung der eigentlichen Druckdispersion mischt man 150 g des in der obigen Weise hergestellten Böhmitsols mit 30 g 85%-igem Glycerin, gibt 4,5 g eines Ammoniumpolyacrylats (Dolapix CE64, der Firma Zschimmer & Schwarz, Lahnstein) und 11 g eines Ammoniumpolyacrylats (Dolapix PC75, der Firma Zschimmer & Schwarz, Lahnstein) zu und rührt während 30 Sekunden. Anschließend gibt man 450 g mit Yttriumoxid stabilisiertes Zirkondioxid (TZ-3YS-E der Firma Tosoh, Tokyo) zu und vermischt in einer Dispergiervorrichtung (Ultra-Turrax T25 Basic, IKA-Werke, Staufen) mit dem entsprechenden Dispergierkopf (S25N-10G, IKA-Werke, Staufen) bei 6500 bis 13.500 min⁻¹ während einer Minute durch, wobei man während des Vermischens 25 g Ethanol zusetzt. Anschließend dispergiert man während weiterer 2 Minuten bei 24.000 min⁻¹ und füllt die erhaltene Suspension in eine leere Druckerpatrone ein.

[0047] Für die Herstellung einer Suspension, die zum Aufdrucken von Lagen dient, welche beim Aushärten des Lagenverbundes entfernt werden, beschickt man eine 250 ml Polyethylen-Flasche mit 85 g destilliertem Wasser, gibt 8,5 g Glycerin und 2,5 g Ammoniumpolyacrylat (Dolapix ET85, Zschimmer & Schwarz, Lahnstein) zu. Dann versetzt man mit 1,5 g Polyethylenglykol 400, 34 g Ethanol und 38,5 g Ruß (Arosperse 15, Degussa, Frankfurt). Man gibt 200 bis 250 g Al₂O₃-Mahlkugeln mit einem Durchmesser von 5 mm zu und homogenisiert das Material während 40 bis 45 Stunden auf der Rollenbank. Dann entfernt man die Mahlkugeln und füllt die erhaltene Suspension in eine leere Druckerpatrone ein.

[0048] Unter Verwendung der oben genannten zweiten Suspension druckt man zunächst auf einem Trägermaterial aus einer Graphitplatte einen dreidimensionalen Formkörper auf, welcher die maßge-

naue Ausnehmung in dem letztlich herzustellenden dreidimensionalen keramischen Formkörper bildet. Hierzu wird ein Tintenstrahldrucker nach der Drop-on-Demand-Technologie verwendet, der in der Weise modifiziert wurde, daß er eine computergesteuerte Absenkung des Drucktisches in der z-Richtung ermöglicht, um in dieser Weise den lagenweisen Aufbau des dreidimensionalen Formkörpers zu ermöglichen. Wie die angegebenen Drucksuspensionen werden die Druckerpatronen eingebracht und der Tintenstrahldrucker wird in üblicher Weise in Betrieb gesetzt, wobei der Druckkopf in üblicher Weise computergesteuert in der x-Richtung über das Trägermaterial geführt wird, welches durch die Druckersteuerung in der y-Richtung bewegt wird. Die Positioniergenauigkeit liegt bei dieser Verfahrensweise bei 20 µm.

[0049] Jede aufgebrachte Lage wird anschließend mit Hilfe einer Halogenlampe, deren Licht über optische konvexe Linsen im Druckbereich gebündelt wird, getrocknet. Gleichzeitig sorgt ein Ventilator über dem Substrat für Konvektion und damit eine beschleunigte Trocknung. Dabei wird die Temperatur des Trägermaterials und der aufgebrachten Lagen unterhalb 130°C, vorzugsweise bei etwa 80°C, gehalten. Nach dem Aufbau des dreidimensionalen Körpers aus dem sich beim Aushärten des Lageverbundes verflüchtenden Material ersetzt man die Druckerpatrone durch eine Druckerpatrone, die mit der erstgenannten Suspension, welche die Keramiktteilchen aus mit Yttriumoxid stabilisiertem Zirkondioxid enthält, ersetzt und es wird auf den ersten dreidimensionalen Formkörper ein zweiter dreidimensionaler Formkörper auf der Grundlage von Keramiktteilchen in der gewünschten Form in gleicher Weise lagenweise aufgedruckt, wobei die Lagen jeweils in der angegebenen Weise getrocknet werden.

[0050] Nach der Fertigungstellung des dreidimensionalen Formkörpers wird dieser kurz bei einer Temperatur von etwa 80°C im Trockenschrank getrocknet und dann auf eine Temperatur von etwa 400°C in Gegenwart von Sauerstoff erhitzt, um die noch vorhandenen organischen Anteile zu verdampfen beziehungsweise zu pyrolysieren. Der in dieser Weise erhaltene dreidimensionale Formkörper mit der dem ersten dreidimensionalen Formkörper auf der Grundlage des sich beim Aushärten des Lageverbundes verflüchtenden Material entsprechenden Ausnehmung wird dann bei einer Temperatur von 1400°C unter Bildung des gewünschten dreidimensionalen keramischen Formkörpers hoher Formgenauigkeit und Oberflächengüte gesintert.

[0051] Dieser keramische Formkörper besitzt eine Dichte von etwa 98% der theoretischen Sinterdichte, zeigt keine Risse, eine hohe Biegebruchfestigkeit und ist damit in hervorragendem Maße als medizinische keramische Prothese, beispielsweise als Krone

eines Zahn-Implantats geeignet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler keramischer Formkörper durch lagenweises Aufdrucken einer Suspension, welche die für die Bildung der keramischen Formkörper erforderlichen Bestandteile enthält, mit Hilfe eines Tintenstrahldruckers in der gewünschten zweidimensionalen Gestalt auf ein Trägermaterial, Trocknen und Aushärten des gebildeten Lagenverbunds **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Suspension aufgedruckt wird, die in einem Dispergiermedium, das ein wäßriges Böhmitsol, mindestens einen niedrigmolekularen Alkohol, mindestens einen Trocknungshemmer und mindestens einen organischen Verflüssiger umfaßt, 50 bis 80 Gew.-% Keramiktteilchen enthält.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Böhmitsol einen Feststoffgehalt von 0,0001 bis 2 Gew.-%, vorzugsweise von 0,001 bis 1 Gew.-%, noch bevorzugter 0,01 bis 0,5 Gew.-% aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Böhmitsol nanokristalline Böhmitpartikel und gelöstes Aluminiumhydrat enthält.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die nanokristallinen Böhmitpartikel eine Teilchengröße von 3 bis 20 nm, vorzugsweise von 4 bis 5 nm aufweisen.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die nanokristallinen Böhmitpartikel ein Verhältnis von Länge zu Breite von 1,4:1 bis 2,2:1 aufweisen.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Böhmitsol als gelöstes Aluminiumhydrat $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$, $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{aq})$, $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ und/oder Al_{13} -Ionen enthält.

7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Böhmitsol einen pH-Wert von 1, 7 bis 11 aufweist.

8. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Dispergiermedium 48 bis 88 Gew.-% Böhmitsol, 5 bis 20 Gew.-% niedrigmolekularen Alkohol, 5 bis 20 Gew.-% Trocknungshemmer und 2 bis 12 Gew.-% organischen Verflüssiger enthält.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Dispergiermedium als niedrigmolekularen Alkohol Methanol, Ethanol, Propanol, Isop-

ropanol oder Mischungen davon, als Trocknungshemmer einen mehrwertigen Alkohol, einen langkettigen Kohlenwasserstoff oder Mischungen davon und als organischen Verflüssiger einen synthetischen organischen Polyelektrolyt und/oder eine Carbonsäurezubereitung enthält.

10. Verfahren nach den Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Dispergiermedium als mehrwertigen Alkohol Glycerin und/oder Ethylenglykol enthält.

11. Verfahren nach den Anspruch 9 dadurch gekennzeichnet, daß das Dispergiermedium als synthetischen organischen Polyelektrolyt Polyacrylsäure und/oder Polymethacrylsäure mit einem gewichtsmittleren Molekulargewicht von 4000 bis 6000, vorzugsweise in Form eines Alkalimetall- oder Ammoniumsalzes enthält.

12. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Dispergiermedium 62 bis 91 Gew.-% Böhmitisol, 5 bis 15 Gew.-% Ethanol, 2 bis 15 Gew.-% Glycerin und/oder Ethylenglykol, und 2 bis 8 Gew.-% organischen Verflüssiger enthält.

13. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Keramikteilchen aus reinem Al_2O_3 , reinem ZrO_2 , reinem Al_2O_3 - ZrO_2 , reinem Si_3N_4 , mit Böhmit stabilisiertem Al_2O_3 , mit Y_2O_3 , HfO_2 , CeO_2 , MgO und/oder CaO stabilisiertem ZrO_2 , mit Y_2O_3 , HfO_2 , CeO_2 , MgO und/oder CaO stabilisiertem Al_2O_3 - ZrO_2 mit Al_2O_3 , Y_2O_3 , Fe_2O_3 und/oder weiteren Seltenen Erdoxiden stabilisiertem Si_3N_4 oder Mischungen davon bestehen.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die gegebenenfalls mit Y_2O_3 , HfO_2 , CeO_2 , MgO und/oder CaO stabilisierte Al_2O_3 - ZrO_2 -Mischkeramik 30 bis 70 Gew.-% Al_2O_3 und entsprechend 70 bis 30 Gew.-% ZrO_2 enthält.

15. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Keramikteilchen in einer Menge von 60 bis 70 Gew.-% in der Suspension vorliegen.

16. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilchengröße der Keramikteilchen geringer ist als die Öffnung der Düsen des Druckkopfs und der Zuführungsleitungen und im Bereich eines d_{90} -Werts von 0,01 bis 3 μm liegt.

17. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Suspension einen pH-Wert von 4 bis 11, vorzugsweise von 7 bis 9, und eine Viskosität bei 25°C

von 5 bis 25 mPas bei Scherraten von $\gamma > 400$ und von 100 bis 500 mPas bei niedrigen Scherraten von $\gamma < 50$ aufweist.

18. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagen auf ein planares Trägermaterial aufgedruckt werden.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagen auf ein Graphitplättchen, ein Platinblech, eine Keramik oder eine Glaskeramik mit einer offenen Porosität von 0 bis 10% als Trägermaterial aufgedruckt werden.

20. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagen auf ein Trägermaterial aufgedruckt werden, auf welches zuvor eine oder mehrere beim Aushärten des Lagenverbunds entfernbare Lagen definierter Dimension unter Verwendung einer Suspension, die in dem angegebenen Dispergiermedium ein sich beim Aushärten des Lagenverbunds verflüchtigendes Material enthält, aufgedruckt worden sind.

21. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mit einem zweiten Druckkopf zwischen oder neben den mit dem ersten Druckkopf aufgedruckten Lagen eine oder mehrere beim Aushärten des Lagenverbunds entfernbare Lagen definierter Dimension unter Verwendung einer Suspension aufgedruckt werden, die in dem angegebenen Dispergiermedium ein sich beim Aushärten des Lagenverbunds verflüchtigendes Material enthält.

22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß als beim Aushärten des Lagenverbunds sich verflüchtigendes Material ein Material verwendet wird, das bei einer Temperatur von mehr als 200°C verdampft oder bei einer Temperatur von mehr als 400°C in Gegenwart von Sauerstoff pyrolysiert.

23. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Düsen des Druckkopfs nach dem Aufdruck einer oder mehrerer Lagen mit einer Reinigungsflüssigkeit gereinigt werden, die Wasser, einen niedermolekularen Alkohol und einen mehrwertigen Alkohol enthält.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß als Reinigungsflüssigkeit ein Gemisch aus Wasser, Ethanol und mindestens einem mehrwertigen Alkohol in einem Gewichtsverhältnis Wasser:Ethanol:mehrwertigem Alkohol von (6 bis 10):(1 bis 4):(1 bis 3), vorzugsweise 8:1:1 verwendet wird.

25. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Reinigung der Düsen des Druckkopfs in der Weise erfolgt, daß die Reinigungsflüssigkeit in die Düsen und die Düsenvorkammern eindringt.

26. Verfahren nach den Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß das Eindringen der Reinigungsflüssigkeit in die Düsen und die Düsenvorkammern unter Einwirkung von erhöhtem Außendruck oder Unterdruck in der die Suspension enthaltenden Druckpatrone erfolgt.

27. Verfahren nach den Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß Reinigung der Düsen des Druckkopfs unter Einwirkung eines mit der Reinigungsflüssigkeit getränkten Körpers erfolgt, der periodisch mit einem Andruck von 0,01 bis 1 N/mm², vorzugsweise von 0,02 bis 0,05 N/mm² im Bereich der Düsen über den Druckkopf geführt wird.

28. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Reinigung der Düsen des Druckkopfs unter Einwirkung von Ultraschall durchgeführt wird.

29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Reinigung der Düsen des Druckkopfs unter Einwirkung von Ultraschall periodisch zwischen den Druckzyklen in der Druckpatrone oder am Druckkopf durchgeführt wird.

30. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die aufgedruckten Lagen bei einer Temperatur von 65 bis 105°C getrocknet werden.

31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß jede einzelne Lage nach dem Aufdrucken getrocknet wird.

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß jede einzelne aufgedruckte Lage im Druckbereich des Tintenstrahldruckers durch Erhitzen auf eine Temperatur im Bereich von 65 bis 105°C, vorzugsweise 68°C bis 85°C, gegebenenfalls unter Anwendung eines Lüfters, Anlegen eines Vakuums oder einer Konvektionsströmung zur Abführung des Flüssigkeitsdampfes getrocknet wird.

33. Verfahren nach den Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß das Erhitzen durch Bestrahlen mit einer Halogenlampe, einer Infrarotlampe, Ionenstrahlung, Laserstrahlung oder unter Anwendung von im Druckbereich angeordneten Heizelementen erfolgt.

34. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweils aufgedruckten einzelnen Lagen aus

dem Keramikmaterial nach dem Trocknen eine Dicke von 1 µm bis 30 µm, vorzugsweise von 0,05 µm bis 10 µm, und die aufgedruckten einzelnen Lagen aus dem sich beim Aushärten des Lagenverbunds verflüchtigen Material eine Dicke von 0,05 µm bis 5 µm aufweisen.

35. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Aushärten des getrockneten Lagenverbunds, gegebenenfalls nach dem Lagern im Trockenschrank bei etwa 80°C, durch Sintern des Keramikmaterials erfolgt.

36. Verfahren nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß das Sintern bei einer Temperatur von 800°C bis 1500°C erfolgt.

37. Verfahren nach Anspruch 35 oder 36, dadurch gekennzeichnet, daß Sintern bis zu einer Sinterdichte von 100% der theoretischen Dichte, vorzugsweise bis zu 98% dieser Dichte erfolgt.

38. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als dreidimensionale keramische Formkörper medizinische keramische Prothesen, insbesondere Prothesen im Bereich des Körpers, der Gliedmaßen und des Kopfes, des Kopfes, des Gesichts, der Mundhöhle, Zahn-Implantate, Zahn-Inlays, Zahn-Kronen und Zahn-Brücken hergestellt werden.

39. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß dem vorhergehenden Anspruch, gekennzeichnet durch einen herkömmlichen, computergesteuerten Tintenstrahldrucker mit einem in der z-Richtung vertikal beweglichen, computergesteuert um jeweils eine Lagenhöhe absenkbar, in der y-Richtung und gegebenenfalls in der x-Richtung (der Bewegungsrichtung des Druckkopfs) bewegbaren Support für das Trägermaterial, einer Trocknungseinrichtung im Druckbereich und einem Reinigungssystem für die Düsen des Druckkopfs.

40. Vorrichtung nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß der Tintenstrahldrucker ein Drop-on-Demand-Drucker ist.

41. Vorrichtung nach Anspruch 39 oder 40, dadurch gekennzeichnet, daß das Reinigungssystem einen mit der Reinigungsflüssigkeit tränkbaren Körper umfaßt, der bei dem Reinigungsschritt mit den Düsen des Druckkopfs in Kontakt gebracht werden kann.

42. Vorrichtung nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß der mit der Reinigungsflüssigkeit tränkbare Körper die Form eines Zylinders aus einem offenporigen Schaumstoff besitzt, über welchen der Druckkopf bei dem Reinigungsschritt in reinigendem

Kontakt verfahren wird.

43. Vorrichtung nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, daß der Schaumstoff-Zylinder um seine Längsachse drehbar ist und mit seiner von dem Druckkopf abgewandten Seite in die Reinigungsflüssigkeit eintaucht.

44. Vorrichtung nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, daß die Achse des Schaumstoff-Zylinders parallel zur Druckrichtung (x-Richtung) oder senkrecht dazu (y-Richtung) verläuft.

45. Vorrichtung nach Anspruch 43 oder 44, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Austrittsstelle des Schaumstoff-Zylinders aus der Reinigungsflüssigkeit und seiner Kontaktstelle mit dem Druckkopf eine Abstreifrolle zur Entfernung überschüssiger Reinigungsflüssigkeit vorgesehen ist.

46. Vorrichtung nach den Ansprüchen 39 bis 45, dadurch gekennzeichnet, daß das Reinigungssystem ein mit der Reinigungsflüssigkeit beschicktes Ultraschallbad umfaßt in welches der Druckkopf abgesenkt werden kann.

47. Vorrichtung nach den Ansprüchen 46, dadurch gekennzeichnet, daß das Ultraschallbad im Bereich der Parkposition des Druckkopfs angeordnet ist.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen