



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 242 172 A1

4(51) A 61 K 6/06

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WPA 61 K / 282 402 2

(22) 04.11.85

(44) 21.01.87

(71) Friedrich-Schiller-Universität Jena, 6900 Jena, August-Bebel-Straße 4, DD

(72) Knak, Günter, Prof. Dr.; Abert, Christine, Dr.; Vogel, Werner, Prof. Dr.; Höland, Wolfram, Dr. rer. nat.; Carl, Gunter, Dr.; Hopp, Michael; Große, Steffen; Jacobi, Ralf; Vogel, Frank, DD

(54) Anwendung einer Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für stomatologische Zwecke

(57) Die Erfindung betrifft die Anwendung einer Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für stomatologische Zwecke. Das Ziel der Erfindung ist es, eine Glaskeramik für den Einsatz in der Stomatologie für Zahnrestorationen zu entwickeln, wobei die Aufgabe darin besteht, daß die Glaskeramikprodukte dem natürlichen Zahnschmelz in ihren Eigenschaften weitestgehend angepaßt sind, Kombinationen mit anderen Materialien ermöglichen und gleichzeitig maschinell bearbeitbar sind. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Glimmer-Cordierit-Glaskeramik der Zusammensetzung in Ma.-% 43–50 SiO₂; 26–30 Al₂O₃; 11–15 MgO; 7–10,5 Na₂O/K₂O; 3,3–4,8 F⁻; 0,01–0,6 Cl⁻; 0,1–3 CaO und 0,1–5 P₂O₅ gelöst, wobei das Gefüge der Glaskeramik aus großen gebogenen und kleinen ebenen Fluorophlogopitkristallen und/oder Cordieritkristallen besteht. Die Anwendung der Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für Inlays, Kronen, Aufbauten und Brücken ist vorzugsweise für das Seitenzahngebiet möglich.

Erfindungsanspruch:

1. Anwendung einer Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für stomatologische Zwecke, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Glimmer-Cordierit-Glaskeramik die Zusammensetzung in Ma.-%

SiO ₂	= 43–50
Al ₂ O ₃	= 26–30
MgO	= 11–15
Na ₂ O/K ₂ O	= 7–10,5
F ⁻	= 3,3–4,8
Cl ⁻	= 0,01–0,6
CaO	= 0,1–3
P ₂ O ₅	= 0,1–5

besitzt und diese Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für Inlays, Kronen, Aufbauten und Brücken vorzugsweise für das Seitenzahngebiet angewendet wird, die äußere Form je nach anatomischer Besonderheit individuell aus der reinen Glimmer-Cordierit-Glaskeramik gestaltet wird oder die Glimmer-Cordierit-Glaskeramik auf einen hochfesten Grundkörper, z. B. Al₂O₃-Sinterkeramik oder Metalle, aufgebracht wird, z. B. durch „Angießen“, wodurch der Grundkörper vollständig oder teilweise umhüllt wird.

2. Anwendung einer Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für stomatologische Zwecke nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Dentalprodukte, wie z. B. die Inlays, Kronen und Brücken, die aus Glimmer-Cordierit-Glaskeramik bestehen Zusatzkomponenten, wie z. B. BaO, SrO und PbO bis 8 Ma.-% und/oder Farbkomponenten, wie z. B. NiO, Co₂O₃, MnO₂, FeO, Fe₂O₃, TiO₂ bis 4 Ma.-% enthalten können.
3. Anwendung einer Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für stomatologische Zwecke nach Punkt 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Dentalprodukte, wie z. B. Inlays, Kronen und Brücken, die aus der reinen Glimmer-Cordierit-Glaskeramik bestehen einen einstellbaren linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $80\text{--}120 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$, eine Biegebruchfestigkeit von mehr als 80 MPa, eine Druckfestigkeit bis 450 N/mm², eine einstellbare Härte von 300–800 HV_{0,07}, eine sehr gute chemische Beständigkeit, z. B. eine hohe hydrolytische Beständigkeit der Klasse 1 oder 2 aufweisen, die eine Rauhtiefe von 0,15 µm und die Röntgenopazität aufweisen und die gleichzeitig maschinell bearbeitbar sind, wobei diese Parameter auf die Eigenschaften des natürlichen Zahnschmelzes gezielt eingestellt wurden und bei Verbundwerkstoffen aus Glimmer-Cordierit-Glaskeramik und hochfesten Grundkörpern, wie z. B. Metallen oder Sinterkorund zusätzlich neben diesen erfindungsgemäßen Eigenschaften die Bruchfestigkeit auf 200–400 MPa gesteigert wird.
4. Anwendung einer Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für stomatologische Zwecke nach Punkt 1–3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Glaskeramik mit herkömmlichen Befestigungszementen oder nach Silanisierung mit Kompositwerkstoffen mit der Zahnhartsubstanz verbunden werden kann.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Anwendung einer Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für stomatologische Zwecke kann beispielsweise für Zahnrestorationen, wie z. B. Inlays, Kronen, Zahnaufbauten und Brücken erfolgen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Als Werkstoffe werden in der Stomatologie für Inlays, Kronen, Zahnaufbauten und Brücken vorzugsweise Edelmetalle und deren Legierungen, Sinterkeramiken und organische Polymere verwendet. Diese Werkstoffe besitzen jedoch erhebliche Mängel. Edelmetalle besitzen einen hohen Preis, weisen ein hohes thermisches Leitvermögen auf und besitzen eine ästhetisch nicht immer zufriedenstellende Farbe.

Die Sinterkeramiken sind mit konventionellen Hartmetallwerkzeugen nicht bearbeitbar und besitzen durch den auftretenden Schrumpfungsvorgang Nachteile in der Verarbeitung. Die organischen Polymere besitzen vor allem eine ungenügende mechanische Festigkeit.

Auch die in der US-PS 4.431.420 und der EP 0.022.655 beschriebene Glaskeramik besitzt hinsichtlich der Anwendung in der Stomatologie wesentliche Nachteile. Da diese Glaskeramik als Hauptkristallphase Tetrakisäureglimmer enthält, besteht der Hauptmangel dieser Werkstoffe darin, daß die Eigenschaften der Glaskeramik nicht optimal denen des Zahnschmelzes angepaßt sind. Das betrifft z. B. den linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der (nach „The Intern. J. of Periodontics and Restorat. Dent. 2 [84] 36“) $72 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$ beträgt und damit beträchtlich unter dem Wert des Zahnschmelzes von $114 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$ liegt. Solche beträchtlichen Unterschiede sind bereits bei geringsten Temperaturunterschieden Ursachen für unkontrollierte Spannungen zwischen Zahn und Glaskeramik, die zum Bruch des Materials und Randspaltbildung führen können. Weiterhin ist die Biegefestigkeit der Glaskeramiken mit 50–55 MPa für eine breite umfangreiche Anwendung in der Stomatologie, besonders für dünnwandige Formkörper nicht ausreichend. Ein weiterer Nachteil der Tetrakisäureglimmerglaskeramik ist, daß offensichtlich aufgrund der Ausdehnungsproblematik, keine Verbundwerkstoffe mit hochfesten Grundkörpern, wie z. B. Korund und Metalle, hergestellt werden können.

Von fluorophlogopithaltigen Glaskeramiken, wie sie z. B. in der DD-PS 113.885 und DD-PS 0.153.108 beschrieben werden, ist bekannt, daß sie sehr gute Bearbeitungseigenschaften aufweisen und solche Parameter besitzen, daß sie z. B. Anwendung im Geräte- und Maschinenbau finden. Ein Einsatz dieser Werkstoffe für stomatologische Zwecke würde jedoch aufgrund nicht optimal an den Zahnschmelz angepaßter Eigenschaften beträchtliche Nachteile mit sich bringen.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, die vorgenannten Nachteile dadurch zu überwinden, daß eine völlig neue Lösung für die Anwendung von Biomaterialien in der Stomatologie gefunden wird, die weit über den Stand der Technik in der Dentalmedizin hinausgeht.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin

- die bisher vorhandenen Ausdehnungsunterschiede zwischen Zahn und künstlichem Dentalmaterial auf ein Minimum zu bringen
- die zu geringe Härte und Festigkeit bisher benutzter Dentalmaterialien zu überwinden
- einen Werkstoff einzusetzen, der eine ästhetisch bessere bzw. angepaßte Farbwirkung besitzt
- die bisher eingesetzten sehr teuren Edelmetalle bzw. Legierungen durch Einsatz eines neuen Werkstoffes auf heimischer Rohstoffbasis zu ersetzen
- die in der Glastechnik üblichen, einfachen Ur- und Umformungstechniken zu einem ökonomisch vorteilhaften Herstellungsprozeß anzuwenden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine Glimmer-Cordierit-Glaskeramik angewendet wird, die die Zusammensetzung in Ma.-%

SiO ₂	43–50
Al ₂ O ₃	26–30
MgO	11–15
Na ₂ O/K ₂ O	7–10,5
F ⁻	3,3–4,8
Cl ⁻	0,01–0,6
CaO	0,1–3
P ₂ O ₅	0,1–5

besitzt und Zusatzkomponenten, wie z. B.: BaO, SrO und PbO bis 8 Ma.-% bzw. Farbkomponenten, wie z. B.: NiO, Cr₂O₃, MnO₂, FeO, Fe₂O₃, TiO₂ bis 4 Ma.-% gemäß der Erfindung „Glimmer-Cordierit-Glaskeramik“, enthalten kann und diese Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für Inlays, Kronen, Aufbauten und Brücken vorzugsweise für das Seitenzahngebiet angewendet wird, die äußere Form je nach anatomischer Besonderheit individuell aus der reinen Glimmer-Cordierit-Glaskeramik gestaltet wird oder die Glimmer-Cordierit-Glaskeramik auf einen hochfesten Grundkörper, z. B. Al₂O₃-Sinterkeramik oder Metalle, aufgebracht wird, z. B. durch „Angießen“, wodurch der Grundkörper vollständig oder teilweise umhüllt wird.

Erfindungsgemäß können Glimmer-Cordierit-Glaskeramiken vorzugsweise für Inlays, Kronen, Aufbauten und Brücken in beliebiger Form angewendet werden. Zur Aufrechterhaltung der optimalen mechanischen Parameter ist bei diesen Anwendungen jedoch eine Mindestwandstärke von 0,5 mm vorteilhaft.

Im Hinblick auf die Erzeugung spezieller Eigenschaften, wie z. B. hohe Festigkeit, einstellbaren Ausdehnungskoeffizienten, biologische Verträglichkeit u. a. wurde neben der Erzielung der ausgezeichneten Bearbeitungseigenschaften überraschend gefunden, daß Glimmer-Cordierit-Glaskeramiken für stomatologische Zwecke angewendet werden können. Dieser überraschende nützliche Effekt beruht darauf, daß in Glimmer-Cordierit-Glaskeramiken bessere mechanische, thermische und Verarbeitungseigenschaften bzw. in ihrer Gesamtheit neue physikalische Eigenschaften und chemische Eigenschaften erzeugt wurden als in bekannten Biomaterialien oder bekannten glimmerhaltigen Glaskeramiken.

Zunächst sind gute chemische Eigenschaften, z. B. hydrolytische Beständigkeit von glimmerhaltigen Glaskeramiken bekannt. Überraschend konnte jedoch für die erfindungsgemäßen Produkte nachgewiesen werden, daß die Glaskeramiken im biologischen Milieu, beispielsweise in der Mundhöhle des Menschen, biokompatibel sind. Die überraschend nachgewiesenen neuen physikalischen Eigenschaften der Glimmer-Cordierit-Glaskeramiken sind zum Beispiel der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient, der bis $120 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ variiert werden kann, die mechanische Festigkeit und Härte, die Abrasion der Materialien und die Verarbeitungseigenschaften des Ausgangsglases für die Herstellung der Glaskeramik bis hin zum Prozeß der Kermisierung und der Kombinationsmöglichkeit mit hochfesten Werkstoffen.

Die Bedeutung dieser Eigenschaften der Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für die erfindungsgemäße Anwendung wird im folgenden an Beispielen dargestellt.

Beispielsweise besitzt der Zahnschmelz (natürlicher Zahn) einen linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $114 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. Die Glimmer-Cordierit-Glaskeramik besteht aus einem bisher nicht bekannten Gefüge, und zwar aus großen gebogenen und kleinen ebenen Fluorophlogopitkristallen und/oder Cordieritkristallen, die sich hochvernetzen. Daher besitzen diese Materialien einen Ausdehnungskoeffizienten, der direkt auf den des Zahnschmelzes eingestellt werden kann und ein Einsatz für Dentalrestaurationen, beispielsweise für Inlays, Kronen, Zahnaufbauten und Brücken erfindungsgemäß möglich ist. Damit ist ein wesentlicher Fortschritt gegenüber dem Stand der Technik erreicht worden, denn unkontrollierte Spannungen, Randspaltbildung zwischen Biomaterial und Zahn können vermieden werden, eine lange Funktionsperiode für Dentalprodukte im Seitenzahngebiet wird erreicht.

Die Variabilität bei der Einstellung des Ausdehnungskoeffizienten ist gleichzeitig eine Voraussetzung für Kombinationen der Glaskeramik mit hochfesten Werkstoffen, wie beispielsweise ein Verbundwerkstoff aus einer Al₂O₃- und Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für einen Zahnaufbau oder Brückenkonstruktion. Von Glimmerglaskeramiken sind sehr gute Festigkeiten und Härteparameter bekannt. Für den Einsatz in der Stomatologie, wie vorzugsweise für Inlays, Kronen, Zahnaufbauten und Brücken, muß eine Vielzahl mechanischer Parameter optimale Werte im Vergleich zum Zahnschmelz einnehmen. So konnte überraschend gefunden werden, daß das Abrasionsverhalten von Glimmer-Cordierit-Glaskeramiken dem natürlichen Zahnschmelz ähnlich ist. Gleichzeitig besitzen die Materialien eine Härte von 300–800 (HV_{0,07}), Biegebruchfestigkeiten von mehr als 80 MPa (unterer Grenzwert), Druckfestigkeiten bis 450 N/mm² und eine Rauhtiefe von 0,15 µm und eine sehr gute chemische Beständigkeit, wie sie z. B. der Hydrolytischen Klasse 1 und 2 nach TGL 14809 bzw. RGW Standard 1569 entspricht und die Materialien sind gleichzeitig ausgezeichnet maschinell bearbeitbar, so daß der Einsatz für die erfindungsgemäßen Glaskeramikdentalprodukte, wie durch die Ausführungsbeispiele dargestellt, möglich wurde. Außerdem wurde, gemessen an der Biegebruchfestigkeit, im

Vergleich zur tetrakisäureglimmerhaltigen Glaskeramik der US-PS 4.431.420 ein wesentlicher Fortschritt erreicht, denn dieses Material brach bei einem unteren Grenzwert von ca. 50 MPa.

Im Vergleich zu Edelmetallen ist der erzielte Fortschritt der erfindungsgemäßen Anwendung der Cordierit-Glimmer-Glaskeramik für stomatologische Zwecke ohnehin offensichtlich. Zunächst wird z. B. durch das zahnähnliche Aussehen der Glaskeramik in bezug auf eine Krone aus Edelmetall bereits ein wesentlich verbesserter kosmetischer Effekt erreicht. Die hauptsächliche Wirkung wird jedoch auf ökonomischem Gebiet durch die wesentlich billigeren Rohstoffe erzielt. Gleichzeitig sind die Haupteigenschaften der Glaskeramik denen des Zahnschmelzes wesentlich ähnlicher als die der Metalle (z. B. Wärmeleitfähigkeit, Ausdehnung, Abrasion, mechanische Eigenschaften). Besonders vorteilhaft ist auch, daß gegenüber bekannten Verfahren zur Herstellung von Sinterkeramiken Inlays, Kronen, Aufbauten, Brücken etc. aus Glimmer-Cordierit-Glaskeramik nach in der Glastechnik bekannten Ur- und Umformungsverfahren wie z. B. Pressen, Schleudern, Gießen hergestellt werden können.

Damit wird es möglich, je nach Anforderung, d. h. je nach anatomischer Besonderheit, gewünschte beliebige Formen von z. B. Inlays und Kronen oder Aufbauten und Brücken herzustellen. Im einzelnen besteht das Herstellungsverfahren darin, daß ein Ausgangsglas in Form von Glasfritte oder Kompaktmaterial bei 1450–1530°C erschmolzen wird und bei einer Temperatur von ca. 1250–1350°C, was einer Viskosität des Glases von 10^1 bis 10^2 Pa · s entspricht, in eine nach der gewünschten Zahnrestauration vorgefertigten und auf eine Temperatur von 500°C bis 1000°C vorgeheizten Muffel, gegossen wird.

Die Muffel besteht aus Einbettmassen, wie sie üblicherweise in zahntechnischen Labors, z. B. für den Modellguß von Prothesen aus Chrom-Cobalt-Molybdän- und Chrom-Nickel-Legierungen sowie Stahl verwendet werden. Der Gußkanal der Muffel sollte nicht länger als 10 mm sein und sein Durchmesser wenigstens 2–3 mm betragen. Zur besseren Entlüftung kann vorzugsweise ein Entlüftungskanal mit angebracht werden, was aber nicht generell erforderlich ist. Beim Gießen wird das vollständige Einbringen des Glases in die vorgefertigte Muffel zur Herstellung des jeweiligen Formkörpers durch ein Schleuderverfahren oder durch Anlegen von Vakuum erzielt. Der Formkörper kann dann in der Muffel auf Raumtemperatur abgekühlt werden oder direkt im Temperaturbereich von 650°C bis 1050°C 0,5 bis 24 h in eine Glaskeramik überführt werden. In beiden Fällen ist eine ein- und mehrstufige thermische Behandlung möglich. Wird die Muffel unmittelbar nach dem Urformungsprozeß auf Raumtemperatur abgekühlt, so ist nach dem Ausbetten eine visuelle Einschätzung des Glaskörpers hinsichtlich eventuell auftretender Fehler im Urformungsprozeß (z. B. Risse, Sprünge, Blasen, nicht ausgeflossene Form) möglich und eine Aussonderung der fehlerhaften Glaskörper gegeben. Weist der Glaskörper keine Fehler auf, wird er mit 10 K/min auf eine Temperatur von 600–1000°C aufgeheizt und damit in die erfindungsgemäßen Glaskeramikdentalprodukte überführt. Diese thermische Behandlung wird im Folgenden als Keramisierungsprozeß bezeichnet. Zur Gewährleistung der Formtreue ist es vorteilhaft, die Glaskörper vor dem Keramisieren wieder einzubetten. Nach dem Keramisierungsprozeß werden die Glaskeramikteile ausgebettet und durch Bearbeiten mit herkömmlichen zahntechnischen Werkzeugen oder auch durch Abstrahlen mit feinkörnigem Sand von anhaftender Einbettmasse befreit. Durch Beschleifen und Polieren erreicht man optimal glatte und glänzende äußere Oberflächen, die eine Rauhtiefe bis zu 0,15 µm haben.

Nach den gleichen Verfahrensschritten, wie sie für die Herstellung von massiven Glimmer-Cordierit-Glaskeramiken für stomatologische Zwecke dargestellt wurden, können Verbundwerkstoffe aus einem hochfesten Grundkörper z. B. Al_2O_3 -Sinterkeramik und der Glimmer-Cordierit-Glaskeramik hergestellt werden, wobei der Grundkörper völlig oder teilweise umhüllt ist. In diesem Fall wird der Grundkörper bereits in das Modell, z. B. aus Wachs, eingebracht. Die entstandenen erfindungsgemäßen Dentalprodukte, z. B. Brücken oder Aufbauten besitzen Festigkeiten von 200–400 MPa.

Ein überraschender Effekt ergab sich dadurch, daß übliche Keramikalfarben und/oder Glasuren auf die erfindungsgemäßen Glaskeramikdentalprodukte aufgebracht werden können. Dadurch wird z. B. eine individuelle Farbgebung möglich.

Eine ähnlich individuelle Farbgebung der Glimmer-Cordierit-Glaskeramiken wurde überraschend dadurch erzielt, daß die Zusatzkomponenten SrO , BaO , PbO bis 8 Ma.-% und die Farbkomponenten FeO , Fe_2O_3 , MnO_2 , NiO , Cr_2O_3 , TiO_2 bis 4 Ma.-% eine Färbung bewirken, aber den Phasenbildungsprozeß, d. h. die Bildung der gebogenen Phlogopite nicht wesentlich beeinflussen.

Ein weiterer Vorteil der Anwendung von Glimmer-Cordierit-Glaskeramiken für stomatologische Zwecke besteht darin, daß aufgrund der ausgezeichneten maschinellen Bearbeitbarkeit die Herstellung durch Fräsen und/oder Bohren und/oder Drehen und/oder Sägen und/oder Schleifen erfolgen kann, ohne daß Diamantwerkzeuge erforderlich sind.

Ausführungsbeispiele

In Tabelle 1 und 2 sind Ausführungsbeispiele für die erfindungsgemäße Anwendung der Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für stomatologische Zwecke hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, des Gefüges und ihrer Eigenschaften sowie Parameter zum Herstellungsverfahren angegeben.

Diese Darstellungen in Tabelle 1 und 2 belegen bereits die vorteilhafte erfindungsgemäße Anwendung der Glimmer-Cordierit-Glaskeramik für stomatologische Zwecke.

Zwei weitere ausgewählte Beispiele und zwar die Anwendung der Glimmer-Cordierit-Glaskeramik als Inlay (1) und als Zahnaufbau (2) stellen den nützlichen Effekt der erfindungsgemäßen Anwendung dar:

(1) Zur Herstellung eines Inlays aus Glimmer-Cordierit-Glaskeramik erfolgt zunächst die Präparation der Zahnkavität. Dabei ist auf Anlage von senkrecht aufeinander stehenden Kavitätenwänden mit schwach gerundeten Kanten zu achten. Dünn auslaufende Präparationen sind zu vermeiden. Eine genügend starke Substanzabtragung, welche Schichtstärken von wenigstens 1,0 mm beim Inlay liefert, ist anzustreben. Die Herstellung des zur Einbettung vorgesehenen Modells, welches die Ausmaße und Form der Kavität wiedergibt, kann nach dem direkten Verfahren z. B. durch Wachsmodellation im Munde, oder nach dem indirekten Verfahren, z. B. über eine Abformung und Spezialstumpferstellung, erfolgen. Nach Fertigstellung des Modells wird ein Gußstift angebracht, der eine Länge von 5 bis 10 mm und einen Durchmesser von 2–3 mm besitzt. Das Einbetten erfolgt unter Verwendung von Einbettmassen, wie sie üblicherweise in zahntechnischen Laboratorien zum Guß von hochschmelzenden Dentallegierungen verwendet werden. Vorteilhaft ist die Anwendung eines Vakuum-Vibrationsgerätes, wie es in den zahntechnischen Laboratorien in der Regel vorhanden ist.

Nach Erhitzen der Einbettmasse wird der Gußstift entfernt und die Muffel langsam auf eine Temperatur von 500–1000°C vorgewärmt. Dabei entweicht der Modellwerkstoff durch den Gußkanal und hinterläßt in der Muffel einen seiner ursprünglichen Form entsprechenden Hohlraum. Das Ausgangsglas wird bei 1450–1530°C erschmolzen und bei einer Temperatur von ca. 1250–1350°C mittels Schleudergußverfahren oder Vakuumdruckguß in die Muffel gegossen, wobei sich der erwähnte Hohlraum

auffüllt. Das Glaskeramikinlay als Ergebnis des Gußvorganges kann nun in der Muffel auf Raumtemperatur abgekühlt werden. Danach wird es durch Ausbetten von der umgebenden Einbettmasse befreit und auf mögliche Fehler untersucht. Ist das Gußobjekt fehlerfrei, wird es erneut eingebettet, wobei eine Einbettmasse gleicher Zusammensetzung wie beim Guß Verwendung findet. Durch Erwärmen mit 10 K/min auf eine Temperatur von 650–1050 °C über eine Zeit von 0,5–24 Stunden erfolgt die Keramisierung in das erfindungsgemäße Glaskeramikinlay. Anschließend wird das Inlay ausgebettet. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Überführung des Gußprozesses in den Keramisierungsprozeß, der wiederum bei einer Temperatur von 650–1050 °C erfolgt, ohne zwischenzeitliches Ausbetten des Gußobjektes. Zur Entfernung von Resten anhaftender Einbettmasse wird das Inlay mit Quarzsand abgestrahlt. Mit einem herkömmlichen Schleifer wird das Inlay vom Gußkanal abgetrennt. Jetzt kann die Einprobe im Mund erfolgen. Die Paßfähigkeit wird kontrolliert z. B. Randschluß, Kontaktpunkte zu den Nachbarzähnen, Okklusion, Korrekturen werden mit Feinkornschleifern vorgenommen. Anschließend erfolgt die Politur auf übliche Weise. Bei bestehender Notwendigkeit, z. B. Einsatz im sichtbaren Bereich, erfolgt eine weitergehende Anpassung an die Farbe des natürlichen Zahnes durch Auftragen von Malfarben und deren Einbrennen oder vorheriges Einbringen von Zusatzkomponenten. Abschließend wird das Inlay mit praxisüblichen Befestigungszementen oder speziellen Haftverfahren in der Kavität verankert.

(2) Zur Herstellung eines Zahnaufbaus aus Glimmer-Cordierit-Glaskeramik in Kombination mit Al_2O_3 -Sinterkeramik wird zunächst die Abtragung des Zahnes und Ausschachtung des Wurzelkanals vorgenommen. Es erfolgt das Einpassen eines konfektionierten Wurzelstiftes aus Al_2O_3 -verstärkter Keramik. Der Stift ist z. B. im Querschnitt rund, ist in verschiedenen Stärken entsprechend der Weite des Wurzelkanals verfügbar, z. B.: 1,4 mm, 1,6 mm, 1,8 mm Querschnitt, und verjüngt sich schwach wurzelspitzwärts. Seine Länge muß durch Beschleifen dem Verlauf des Wurzelkanals angepaßt werden. Der eigentliche Aufbau des Zahnes entspricht in seiner Gestalt einem Präparationsstumpf und wird aus Modellwerkstoff nach dem direkten Verfahren modelliert. Die Arbeitsschritte vom Einbetten bis zum Keramisierungsprozeß entsprechen den Darlegungen unter (1). Zur Überprüfung der Paßfähigkeit wird der Keramik-Zahnaufbau am Patienten einprobiert. Dabei ist auf Randschließverhalten, Länge und korrekte Formgebung zu achten.

Die Oberflächenbearbeitung erfolgt mit praxisüblichen Schleif- und Polierkörpern. Das Einzementieren entspricht dem unter (1) dargelegten nach korrekter Wurzelfüllung im apikalen Drittel.

Tabelle 1:
Zusammensetzungen

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO_2	45,2	47,3	49,3	43,6	47,5	45,0	45,2	45,3	45,4
Al_2O_3	29,6	25,7	26,4	26,3	27,9	25,9	28,0	28,9	26,3
MgO	12,0	11,1	11,8	14,7	11,9	11,1	11,5	11,7	11,6
Na_2O	3,9	3,1	3,3	5,2	3,3	3,3	3,8	3,8	3,2
K_2O	4,5	4,8	4,0	4,3	4,9	5,1	4,6	4,4	4,6
F^-	4,2	3,5	4,1	4,5	4,2	4,2	4,2	4,1	3,9
Cl^-	0,1	0,05	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
CaO	0,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1	0,4	0,1
P_2O_5	0,3	4,0	0,2	1,1	0,1	0,5	0,3	0,2	0,8
SrO	—	—	—	—	—	4,5	—	—	—
Fe_2O_3	—	—	—	—	—	—	0,3	—	—
MnO_2	—	—	—	—	—	—	—	1,1	—
TiO_2	—	—	—	—	—	—	1,9	—	3,8

Tabelle 2:
Eigenschaften und Herstellung

thermische Behandlung, bzw. Eigenschaften	1	1	2	5 ¹⁾	8	9
Temperatur	650/960	800/830	950	650/960	1000	980
Temperzeit	1/3	5/10	5	1/3	1	3
linearer therm. Ausdehnungskoeff. (K^{-1})	$108 \cdot 10^{-7}$	$120 \cdot 10^{-7}$	$83 \cdot 10^{-7}$	—	—	—
Biegebruchfestigkeit (MPa)	90	120	95	380	95	105
Druckfestigkeit (N/mm^2)	280	435	310	—	—	—
Härte $\text{HV}_{0,07}$	300	800	—	—	—	—
maschinelle Bearbeitbarkeit	sehr gut	gut	gut	—	sehr gut	sehr gut
hydrolytische Klasse	2	1	—	—	2	2
Rauhtiefe	—	0,15	—	—	—	—
Farbe	weiß	weiß	weiß	weiß	bräunlich	grau bräunlich

1) Zusammensetzung 5 angegossen an einen Al_2O_3 -Grundkörper