

Einteilung nach Herstellverfahren

Zur Herstellung von Keramikrestorationen sind derzeit folgende Verfahren von Bedeutung:

Keramikschiichttechnik

Diese ist bekannt aus der Metallkeramiktechnik (VitaVM 7, Mirage, Optec, Duceram u. a.). Die Keramik-Pulvermassen werden dabei auf feuerfesten Duplikatstümpfen individuell geschichtet und im Keramikofen bei 900 °C gesintert.

Heißumformung

Analog zum Metallguss werden die Restaurationen zunächst in Wachs modelliert und eingebettet. Durch die Wachsaustreibung im Vorwärmeofen wird eine Hohlform erzeugt. Anschließend werden in einem Heißpressverfahren industriell vorgesinterte Keramik-Rohlingen ca. 1000 °C erhitzt und in einem plastischen Zustand in die Hohlform gepresst (Presskeramik).

Manuelles Kopierschleifen

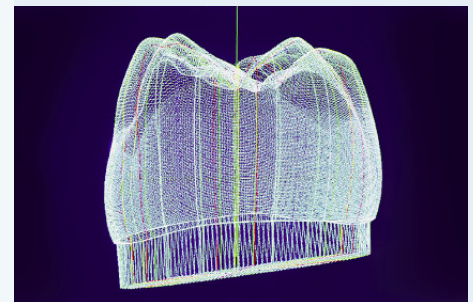
Restaurationsmodelle aus Kunststoff werden taktil abgetastet. Die Form wird synchron in ein Kopierschleifgerät überführt; dort wird die Restauration aus Keramikrohlingen ausgeschliffen (Celay, Steger-System).

Schlickertechnik

Aluminiumoxid-Pulver wird als wässrige Suspension auf einen feuerfesten Stumpf aufgetragen und die Restauration modelliert. Im Keramikofen wird das Objekt bei ca. 1120 °C porös gesintert. Anschließend wird das poröse Sintergerüst mit Lanthanglas infiltriert. Dadurch erhält der Werkstoff seine Endfestigkeit (VITA In-Ceram Spinell, Alumina und Zirconia).

Computergestützte Herstellung

Hier gelangen industriell vorgefertigte Keramikblöcke (Blanks, Blocs) zur Anwendung. Die Restauration wird von computergesteuerten Fräsautomaten ausgeschliffen. Zur Gewinnung der Messdaten für die Konstruktion und für das Fräsprogramm wird über eine Triangulationskamera die Präparation im Mund aufgenommen. Bei einer anderen Messtechnik wird optisch (Laser, Weißlicht) oder taktil das Gipsmodell des Zahnkrankes extraoral abgetastet. Auf dem Bildschirm wird die virtuelle Restauration konstruiert (CAD). Der verbundene Fräsautomat schleift aus dem Keramikrohling die Restauration (CAM) mit einer Toleranz von 50 – 80 µm. Je nach Art der gewählten Keramikblocks muss die Keramik durch Sintern noch verfestigt werden.



CAD/CAM-gestützte Verarbeitung senkt die Fehlerquote rapide. Im Zahntechniklabor ermöglicht die Digitaltechnik reproduzierbare Arbeitsprozesse und hat den Einsatz von Hochleistungskeramiken erschlossen.

Abb. Kohlbach

Silikatkeramiken und Lithiumdisilikat-Keramiken

Silikatkeramiken wie Feldspat- und Glaskeramiken werden aus Quarz, Kaolin und Feldspat in einer Glasschmelze hergestellt. Durch Wärmehandlung und kristallkeimbildende Zusätze entsteht die Glas- oder Silikatkeramik. Bei Silikatkeramiken wie z. B. VitaVM 7, Biodent Inlaykeramik, Optec, Empress 1 wird die Verfestigung der Keramik durch feinverteilte Leuzit- und Feldspatkristalle erreicht. Allerdings endet die Biegefestigkeit bei 100 MPa. Die Opazität und die Transparenz lassen sich mit Hilfe von mineralischen Zusätzen gezielt steuern und so natürliche Zahnfarben gewinnen, die auch bei unterschiedlicher Lichteinwirkung (Kunstlicht, Tageslicht, UV-Discolicht) ein identisches Reflexionsvermögen wie der natürliche Zahn besitzen.

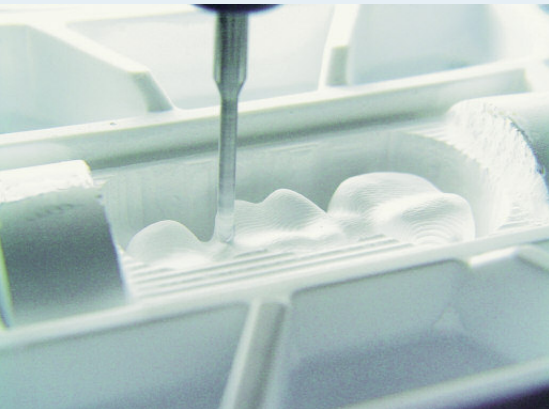
Bei Restaurationen aus Silikatkeramik ist die adhäsive Befestigung erforderlich, um einen kraftschlüssigen Verbund am Zahn zu initiieren. Wenn genügend konditionierbare Zahnhartsubstanz zur Verfügung steht, können mit hinreichender klinischer Sicherheit Inlays, Onlays, Teilkronen, Veneers und Einzelkronen eingliedert werden.

Durch Lithium und andere Zusätze werden die physikalischen Eigenschaften der Glaskeramiken zusätzlich optimiert und man gewinnt Festigkeitswerte bis 450 MPa. Hierbei werden die Keramiken in industriellen Verarbeitungsprozessen zu Rohlingen geformt, die im zahn-technischen Labor durch Heißpressen weiterverarbeitet werden. Diese hochfesten Lithiumdisilikatkeramiken verfügen über unterschiedliche Opazitäten und Transparenzen. Sie können deshalb sowohl für vollanatomische, farblich charakterisierte Restaurationen Verwendung finden, als auch als Gerüstwerkstoffe mit aufgeschichteten Verblendkeramiken. Diese hochfeste Glaskeramikart kann konventionell, selbstadhäsiv oder adhäsiv befestigt werden.

Die Besonderheit der industriell vorproduzierten Keramikkörper liegen darin, dass sie dimensionstreu weiterverarbeitet werden können. Im Keramikkörper finden keine Schrumpfungsprozesse bei der Weiterverarbeitung statt. Dadurch können sehr präzise Restaurationen hergestellt werden.

Glasinfiltrierte Oxidkeramiken

Chemisch bestehen Oxidkeramiken aus Aluminiumoxid, Zirkoniumdioxid, Magnesiumoxid und Mischungen dieser Verbindungen. Man unterscheidet die glasinfiltrierten von den polykristallinen Oxidkeramiken (siehe unten). Glasinfiltrierte Oxidkeramiken bestehen meist aus Gerüstwerkstoffen auf Basis von Aluminiumoxid, die anschließend zur Festigkeitssteigerung mit Glas (Lanthanglas) infiltriert werden (z. B. In-Ceram Alumina, In-Ceram Zirconia, Wolceram), geeignet für Kronen- und Brückengerüste. Dem gegenüber stehen die polykristallinen Oxidkeramiken, die keinen Glasanteil aufweisen, wie z. B. In-Ceram AL Aluminiumoxidkeramik.

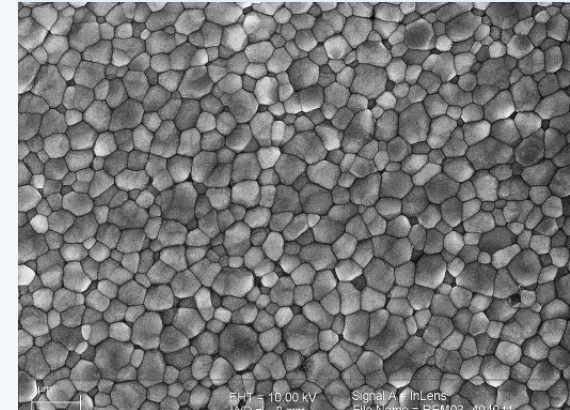


Hochleistungskeramiken werden computerunterstützt ausgefräst.
Foto: 3M Espe

Polykristalline Oxidkeramiken – Hochleistungskeramiken

Hochleistungskeramiken auf der Basis von Oxidkeramiken entstehen dadurch, dass sie mit Borid, Carbid, Nitrid, Silicid, Titanat, Yttrium „veredelt“ werden, um bestimmte Eigenschaften für extreme mechanische, thermische und korrosive Beanspruchungen zu erzielen. Der medizinische Einsatz von Keramik aus hochverdichtetem Aluminiumoxid und Zirkoniumdioxid hatte sich zuerst in der Hüftgelenksimplantologie als Knochenersatzmaterial etabliert. Vor einigen Jahren begannen die Versuche, Zirkoniumdioxid in der Zahnprothetik aufgrund der hohen initialen Festigkeit und Langzeitstabilität für Kronen und Brücken zu nutzen. Zirkoniumdioxid (auch Zirkoniumdioxid genannt, Kurzzeichen ZrO_2) ist chemisch eine unlösliche Verbindung, die von Säuren und Laugen nicht angegriffen wird. Hergestellt aus Zirkonsand ($ZrSiO_4$, Alvit), Zirkonerde (ZrO_2 , Baddeleyit, Brasilit), durchläuft es beim Abkühlen aus der Schmelze bis zur Raumtemperatur mehrere kristallografische Veränderungen. Der Schmelzpunkt von Zirkoniumdioxid liegt bei 2715 °C. Bei 2706 °C kristallisiert die kubische Phase, die sich bei 2370 °C in die tetragonale und diese dann bei 1163 °C in die monokline Phase umwandelt. Beim Abkühlen tritt beim tetragonal-monoklinen Phasenübergang eine starke Volumenzunahme auf, die zur Rissbildung in der Struktur führen kann. Durch gezielte Zugabe von ca. 5 Gewichtsprozent Yttriumoxid (Y_2O_3) wird diese Phase stabilisiert. Der Zusatz von 0,2 bis 1 Prozent Aluminiumoxid verbessert die Korrosions- und Alterungsbeständigkeit des Werkstoffs.

Die dentalen Hochleistungs-Zirkoniumdioxidkeramiken unterscheiden sich vor allem durch den Herstellungsprozess und durch die Verarbeitung. Dem Sintervorgang kommt dabei besondere Bedeutung zu, da er die Kristallbildungen und Gefügestrukturen beeinflusst und damit mehr oder weniger homogene und gefügefehlerfreie Materialien liefert. Besonders aufwändig ist der Herstellungsprozess von HIP-Zirkoniumdioxid, bei dem neben mehrtägigen Sinterprozessen zum Abschluss ein Nachvergüten unter hohem Druck von über 1000 bar stattfindet (HIP: Hot Isostatic Pressing). Resultat ist ein sehr homogenes, festes Material. Dem gegenüber stehen vorgesinterte Zirkoniumdioxidblöcken (Weißkörper), die einen Verdichtungsgrad von 55 bis 70 Prozent aufweisen und deshalb wesentlich einfacher gefräst werden können. Nach der subtraktiven Formgebung im Dentallabor ist bei der darauffolgenden Sinterung mit einer Schwindung linear bis zu 20 Prozent zu rechnen. Deshalb werden beim subtraktiven Ausfräsen die Teile überdimensioniert herausgearbeitet; bei der anschließenden Sinterung schrumpft der Werkstoff wieder auf Modellgröße zurück. Der Vorteil bei diesem Vorgehen ist, dass eventuell durch den Fräsprozess induzierte Risse oder Oberflächendefekte durch den Sintervorgang wieder zum großen Teil verschlossen werden. Die endgültige Biegefestigkeit von HIP-Zirkoniumdioxid und laborgesintertem Zirkoniumdioxid liegt nach dem Ausschleifen der Restauration auf gleichem Niveau.



Zirkoniumdioxidkeramik nach dem Dichtsintern.
Die Oberfläche der Probe wurde thermisch geätzt,
um die Konstruktion sichtbar zu machen.
Partikelgröße 500 Nanometer.
REM-Foto: Metoxit

Keramik- und CAD/CAM-Systeme



„Scanner-lesbares“ Modell aus Hartgips. Einfärbung und Oberflächenstruktur ist ohne Weißpulvern für die lichteoptische, elektronische Abtastung geeignet.

Foto: Dentona



e.max ZirCAD – Oberkiefer-Brückengerüst aus Zirkoniumdioxidkeramik zur Verblendung.

Foto: Ivoclar-Vivadent

In jedem keramischen Werkstoff liegen herstellungsbedingt Mikrorisse vor oder werden während der Bearbeitung im zahntechnischen Labor oder durch die zyklische Kaudruckbelastung initiiert. Im wässrigen Mundmilieu wird das Risswachstum zusätzlich durch den Mechanismus der Spannungsrisskorrosion beschleunigt. Beim Yttrium-stabilisierten ZrO_2 führen die Tangentialspannungen an den Risspitzen zur Umwandlung des tetragonalen, weniger voluminösen Kristallgefüges in die monokline Kristallphase mit der Folge einer Volumenvergrößerung von ca. 5 Prozent. An der Risspitze entstehen Druckspannungen, die das Risswachstum aufhalten. Der Riss wird durch die Umwandlungsverstärkung faktisch „zugeklemmt“ (sog. Airbag-Effekt nach Pospiech). Zirkoniumdioxid ist dadurch in der Lage, eine auftretende Rissbildung selbständig zu „reparieren“ und entstandene Risse zu schließen. Dieser Effekt ist die Ursache für die Langzeitstabilität und Bruchfestigkeit von Yttrium-stabilisiertem Zirkoniumdioxid.

Hochleistungskeramiken werden aufgrund ihrer Materialeigenschaften auf computergesteuerten Fräsaufmaschinen subtraktiv verarbeitet. Mit ZrO_2 -Keramik sind grazile Dimensionierungen von Verbindern zum Zwischenglied sowie geringe Gerüst-Wandstärken möglich geworden. Das Ausmaß des Zahnschabtrages bei der Präparation gleicht jener für eine metallkeramische Restauration. Da ZrO_2 gleiche und auch höhere Festigkeitswerte als Metalle bietet, besitzt es theoretisch das Potenzial, Metallgerüste oder metallische Primärkronen für Konusprothesen in Zukunft zu ersetzen. Zudem schätzt der Zahntechniker bei weitspannigen Brückengerüsten aus ZrO_2 den Vorteil, dass beim Aufbrennen der Verblendkeramik kein Verzug des Gerüsts eintritt. Bei metallischen Substrukturen ist dieses Problem hinlänglich bekannt und erschwert vor allem die Fertigung von implantatgetragenen Brücken, die aufgrund einer nicht mehr vorhandenen Eigenbeweglichkeit der Pfeilerzähne eine erhöhte Passgenauigkeit aufweisen müssen.

Diese ursprünglich weiße Zirkoniumdioxidkeramik kann in der Phase der industriellen Blockherstellung bereits mit Farbzusätzen versehen werden, so dass nach dem Sinterprozess ein zahnfarbenes Gerüst vorliegt. Alternativ hierzu können auch weiße Gerüste vor dem Sinterprozess in spezielle Färbelösungen getaucht werden, die ebenfalls die gewünschte Zahngrundfarbe ergeben.

Vollkeramische Werkstoffe und Verarbeitungssysteme

(nach Herstellerangaben)

Empress Presskeramik (IPS e.max Press)

IPS Empress – eine Glaskeramik aus Siliziumoxid, Aluminiumoxid und Kaliumoxid mit Leuzit als Kristallbildner – ist der Urvater vieler Presskeramiken, die heute am Markt sind. Das Leuzit wird bei $1170\text{ }^\circ\text{C}$ aus Kalifeldspat gebildet und stabilisiert die Struktur der Keramik. Ausgangspunkt für Empress war die ursprüngliche Keramik-Gießtechnik, aber im Gegensatz zum Schleuderguß (Dicor) wird die schmelzflüssige Keramik pneumatisch in eine Hohlform gepresst. Aufgrund der Festigkeit von ca. 220 MPa und der exzellenten Ästhetik (Farbe, Lichtbrechung) eignet sich Empress Esthetic besonders für Inlays, Onlays, Teilkronen, Veneers und Einzelkronen. Alle Glaskeramiken müssen adhäsiv befestigt werden.

Eine Weiterentwicklung dieser Presskeramik ist die IPS e.max Press Lithiumdisilikat-Glaskeramik zur Herstellung hochfester Kronen und engspannige Brücken im Frontzahnbereich und Prämolaren bis Zahn 5. Die Lithiumdisilikatkristalle wachsen in der Heißpressphase zu einem Mehrfachen ihrer Ursprungsgröße und führen so zu einer kompakten, festen Gewebestruktur. Dieses Prinzip führt zu einer erhöhten Festigkeit von ca. $350\text{--}400\text{ MPa}$. Mögliche Mikrorisse in der Struktur werden durch die langen, verzahnten Kristalle am Weiterlaufen behindert. Die Lithiumdisilikatkeramik verfügt über unterschiedliche Opazitäten und Transparenzen. Sie kann deshalb sowohl für vollanatomische, farblich charakterisierte Restaurationen als auch als Gerüstwerkstoff mit aufgeschichteter Verblendkeramik verwendet werden.

Unter der Bezeichnung IPS e.max sind verschiedene vollkeramische Werkstoffe zusammengefasst, bestehend sowohl aus Glas- als auch Oxidkeramiken. Indikationsbezogen können diese einzelnen Komponenten gepresst, CAD/CAM gefräst, überpresst oder geschichtet werden.

In-Ceram (Spinell, Alumina, Zirconia)

Die glasinfiltrierte Oxidkeramik In-Ceram erreicht ihre hohe Festigkeit durch das Infiltrationsverfahren. Auf einem feuerfesten Stumpf als Duplikat des Meistermodells wird aus einem Aluminiumoxid-Schlicker (In-Ceram Alumina) die Modellation des Kronen oder Brückengerüsts vorgenommen. In einem Brennvorgang werden die Gerüste porös gesintert, ohne dass eine Sinterschrumpfung stattfindet. Das daraus resultierende, kreideartige Gerüst wird mit Lanthanglas „infiltriert“. Dadurch werden die Poren der Keramik aufgefüllt, der Werkstoff verdichtet. Das Ergebnis ist eine deutliche Steigerung der Festigkeit ($400\text{--}600\text{ MPa}$). Danach wird die Verblendung mit Aufbrennkeramik vorgenommen.

Keramik- und CAD/CAM-Systeme



IPS e.max Press ist die neue Glaskeramik für die Presstechnik.



Kronen mit IPS e.max-Gerüst, ausschleifbare Lithium-Disilikatkeramik, verblendet mit Fluorapatit-Glaskeramik in der Überpresstechnik.

Fotos: Ivoclar-Vivadent

Keramik-Systeme



Der Vitabloc TriLuxe zeigt durch seine drei, in einen Block integrierten Farbsättigungsgrade den charakteristischen Farbverlauf eines natürlichen Zahns.

Foto: VITA Zahnfabrik



Lithiumdisilikat (e.max CAD) als schleifbarer Block für das CEREC-System.

Foto: Ivoclar-Vivadent

Vorgesinterte, industriell gefertigte In-Ceram Keramikblocks werden für das CAD/CAM-Fräsverfahren mit Cerec, inLab, DCS, Digident und für das Celay-Kopierschleifverfahren geliefert. Durch die vorgesinterten Keramik-Rohlinge sind definierte, reproduzierbare Eigenschaften vorgegeben, und wegen der höheren Kapillarität ist auch die Infiltrationszeit nach dem Ausschleifen des Gerüsts drastisch verkürzt, so dass die Herstellzeiten in der Praxis bei höherer Materialqualität deutlich geringer ausfallen.

Eine Sonderstellung bei der In-Ceram Technik nimmt das Wolceram-System (auch Flemming-Ceram, Belladent) für labortechnische Fertigungszentren ein. Hier wird unter Nutzung moderner Digitaltechnik das Kronenkäppchen geschlickert und anschließend gesintert – und die Festigkeit ebenfalls durch die Glasinfiltration erzielt.

Ein anderes Verfahren zur Herstellung von In-Ceram-Gerüsten ist die elektroforetische Abscheidung von Keramik (z. B. CeHa White ECS System). Die Elektrolyse nutzt die Wanderungsbewegung von Feststoffpartikeln in einer Flüssigkeit als Folge eines äußeren elektrischen Feldes und die Koagulation bzw. Verdichtung der Partikel auf der Elektrode. Die Oberflächenhaftung erfolgt dabei durch elektrostatische Kräfte und Adsorption. Auf der Kathode werden die keramischen Partikel aus einem Schlicker abgeschieden. Der so gewonnene Grünling wird anschließend porös gesintert und glasinfiltriert.

Keramik-abtragende Verfahren

Während bei der Presskeramik und beim Schlickerverfahren eine thermische Bearbeitung zur Formung der Restauration erforderlich war, ermöglichen subtraktive Verfahren aus vorgefertigten Rohlingen vollkeramische Restaurationen herzustellen. Dies hat den Vorteil, dass industriell vorgefertigte Keramiken (Blanks, Rohlinge) mit definierten physikalischen Eigenschaften ohne thermische Umformungen zum Einsatz kommen und Verarbeitungsfehler verringert werden können. Die folgenden Verfahren arbeiten subtraktiv:

Celay Kopierschleifverfahren

Dies ist eine rein feinmechanische, präzise arbeitende Kopierschleiftechnik, bei dem ein Kunststoffmodell der Restauration abgetastet und zeitgleich aus einem Keramikrohling geschliffen wird. Ursprünglich für Inlays und Onlays aus Feldspatkeramik konzipiert, ist seit der Verfügbarkeit von In-Ceram Keramikblocks (Spinell, Alumina, Zirconia) auch das Fertigen von Kronengerüsten und engspannigen Brückengerüsten möglich. Das System wurde allerdings nicht weiterentwickelt und wird heute nur noch vereinzelt eingesetzt.

CEREC 3D und inLab

Das Cerec-System war das erste brauchbare CAD/CAM-gestützte Verfahren, das sich am Markt durchgesetzt hat und sich sowohl für den Praxiseinsatz als auch für das zahntechnische Labor eignet.

CEREC 3D

Die Präparation wird durch eine digitale Triangulationskamera im Patientenmund aufgenommen. Die erzeugten Bilddaten werden dabei automatisch auf einen in der CEREC 3 Aufnahme-Einheit integrierten PC übertragen. Die Konstruktion der Restaurationen (Inlay, Onlay, Teilkrone, Veneer, Krone) erfolgt interaktiv, wobei CEREC immer einen Restaurationsvorschlag generiert und ihn automatisch an die Nachbarzähne anpasst. Dabei können die Approximalkontakte vorab definiert werden und es ist möglich auf spezielle Zahndatenbanken zuzugreifen. Wird eine optische Abformung von einem Bissregistrator der Antagonisten genommen, ist CEREC in der Lage die Kauflächen der Zahnbibliothek vollautomatisch an die Gegenbeziehung anzupassen. Der Restaurationsvorschlag kann beliebig und aufgrund der dreidimensionalen Darstellung auf dem Bildschirm sehr einfach modifiziert werden. Höcker können angehoben oder abgesenkt und alle Flächen der Restauration in alle Richtungen verschoben werden. Keramik kann punktförmig oder flächig aufgewachst, abgetragen oder geglättet werden. Alle Kontaktpunkte werden mittels einer Farbkodierung angezeigt, so dass Ort, Ausdehnung und Stärke mit einem Blick erfasst werden können. Alles ist zusätzlich in beliebigen Schnittbildern kontrollierbar und Wandbereiche, die unterhalb einer definierbaren Wandstärke liegen, können rot angezeigt werden. Nach Abschluss der Konstruktion verarbeitet die Schleifmaschine innerhalb weniger Minuten einen in Farbe und Größe passenden Keramikblock und schleift die passende Restauration in einem Arbeitsgang vollautomatisch aus. Deshalb ist die Versorgung des Patienten in einer Sitzung möglich. Verwendet wird industriell vorgefertigte Keramik (CEREC-Blocs, Vitablocs), die entweder poliert oder zur Individualisierung bemalt und glasiert werden können. Über die mit dem CEREC-System gefertigten Restaurationen liegen klinische Daten seit 1985 und mehrere klinische Studien an Universitäten und in Anwenderpraxen vor – zum Teil mit Liegedauern von über 18 Jahren. Die hohen Überlebensraten der Restaurationen liegen in gleicher Größenordnung wie Gussrestaurationen als bisheriger „Goldstandard“.

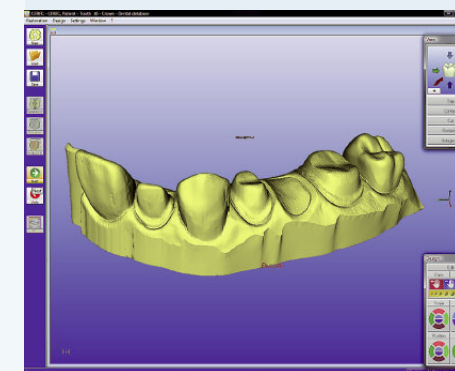
inLab-System

inLab ist für das zahntechnische Labor konzipiert. Hier wird eine konventionelle Abformung von der Präparation genommen. Das duplizierte Sägemodell wird von einem in die Schleifmaschine integrierten Laserscanner extraoral abgetastet und die Messdaten auf den PC-Bildschirm übertragen. Alternativ kann dazu ebenfalls ein separater Scanner (inEos) eingesetzt werden, der die Messdaten mit einer deutlich höheren Geschwindigkeit erfasst. inLab zeichnet sich insbesondere durch seine Vielfalt in den herstellbaren Restaurationen als auch durch die Vielfalt der verwendbaren Materialien aus. Das System eignet sich nicht nur für die Herstellung von Inlays, Onlays, Teilkronen, Vollkronen und Veneers aus Feldspat- und Glas-keramik sondern auch für die Herstellung von Kronenkäppchen und Brückengerüsten, die aufbrennkeramisch verblendet werden. Als Gerüstkeramik wird entweder VITA In-Ceram (Spinell, Alumina, Zirconia), das nach dem Ausschleifen infiltriert wird, oder VITA In-Ceram YZ

Keramik-Systeme



CEREC AC beim Intraoral-Scan.



Virtuelles Quadrantenmodell der digitalen Abformung.



Laserscanner und Fräseinheit für Kronen- und Brückengerüste bis 40 mm anatomische Spannweite – Sirona inLab ist das kompakteste CAD/CAM-System für die Zahntechnik.

Fotos: Sirona



Fertigung von Kronen und Brücken aus teilgesintertem Zirkonoxid auf 5-Achs-Fräsmaschinen mit anschließender Lohsinterung.



ZrO₂-Brücke: Ergebnis einer perfekten Abstimmung von innovativen Werkstoffen und digitaler Technologie.

Rohlinge aus yttriumstabilisierter Zirkoniumdioxidkeramik bzw. In-Ceram AL aus reiner Aluminiumoxidkeramik verwendet, die vergrößert ausgeschliffen und im Anschluss daran in einem Hochtemperatur-Ofen dichtgesintert werden und dabei auf das exakte Maß schrumpfen. Darüber hinaus ist ein Kopierschleifen aufgewachster Geometrien mit der Software „Waxup“ möglich. Dabei werden zusätzlich die Vorteile des CADs eingesetzt. Die Wanddicken der Restauration werden automatisch kontrolliert und können digital modifiziert werden.

3M Espe Lava-System

Das Lava-System von 3M Espe verarbeitet teilgesinterte Zirkoniumdioxidkeramik als Grünkörper, mit Yttrium stabilisiert, und ist für die Herstellung von Gerüsten für Kronen und Brücken sowie für weitere prothetische Versorgungen ausgelegt. Durch das Schrumpfsintern (1.500 °C) wird eine Biegefestigkeit von 1.200 MPa erreicht. Für Brückengerüste im Seitenzahnbereich mit nur einem Brückenglied ist eine Verbinderfläche von 9 mm² ausreichend; für 6gliedrige Brückengerüste werden seitens des Herstellers Verbinderflächen von 9/12/9 mm² empfohlen; im Frontzahnbereich sind 7 mm² ausreichend.

Lava-Gerüste aus Zirkoniumdioxid können in sieben Farben eingefärbt werden. Nach dem Fräsprozess wird die Restauration noch vor dem Sintern zu voller Dichte, in eine Färbelösung eingetaucht. Anschließend wird die Restauration zu voller Dichte gesintert. Das zahncolorierte Einfärben ermöglicht einen optisch natürlich wirkenden Übergang zwischen Zirkoniumdioxidgerüst, Zahnstumpf und Verblendung; dadurch wird eine verbesserte Ästhetik erzielt. Die Software des Lava-Systems ermöglicht mittels eines digitalen Wachsmessers die virtuelle Optimierung und Individualisierung der Gerüste. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Gerüststruktur die Verblendung optimal unterstützt. Der Automatisierungsgrad zur Bearbeitung der Gerüste über das Magazin lässt eine 24-Stunden-Produktion in Fräszentren zu. Der Zahntechniker kann entweder ein Modell an ein Fräszentrum senden, das anschließend das Design in Abstimmung mit seinen Kunden sowie das Fräsen und Sintern des Zirkoniumdioxidkeramik-Gerüsts übernimmt. Auf der anderen Seite hat der Zahntechniker auch die Möglichkeit, den Scanner Lava Scan ST zu erwerben, um den Scan-Prozess als auch das Design durchzuführen und die Daten anschließend an das Fräszentrum weiter zu leiten, das die Restauration herstellt.

Befestigt werden Lava-Restaurationen konventionell mit Glasionomerezement. Bei Verwendung von Zinkoxidphosphatzement werden nicht die gewünschten ästhetischen Ergebnisse erzielt. Lava-Frame-Gerüste haben eine so hohe Festigkeit, dass eine adhäsive Befestigung keine zusätzlichen, mechanischen Vorteile gegenüber der konventionellen Zementierung bietet. Wird adhäsiv befestigt, empfiehlt 3M Espe den selbstadhäsiven Composite-Zement RelyX Unicem, bei dem keinerlei Vorbehandlung des Zahns nötig ist. Hier wird das Zirkoniumdioxid lediglich mit Sandstrahlen vorbehandelt. Bei der Verwendung anderer adhäsiver Zemente ist die Silikatisierung und anschließendes Silanisieren mit dem Rocatec-Verfahren notwendig, um eine optimale Haftungssteigerung zu erzielen. Lava-Restaurationen haben eine metallähnliche Röntgensichtbarkeit, die die radiografische Bewertung in Bezug auf

Randsitz, korrekte Entfernung von überschüssigem Zement nach der definitiven Zementierung und die Diagnose Sekundärkaries ermöglicht.

Wer den Vorteil einer Systemkette, den „digitalen Arbeitsablauf“ nutzen will, wird die intraorale Präzisionsabformung bevorzugen. Mit dem Lava Chairside Oral Scanner C.O.S. brauchte 3M Espe die digitale Abformung in die Praxis. Die Abformung ist die Grundlage für jeden Zahnersatz. Ist sie nicht gelungen, kann der Zahnersatz nicht gelingen. Sind Abformungen verzogen, kostet das Nacharbeiten Zeit und Gewinn. Der Lava C.O.S. und seine digitale Abformung schließen die Lücke zwischen der manuellen Präparation des Zahnarztes, dem computergestützten Design im ZT-Labor und der Fertigung präziser Gerüste in einem Lava-Fräszentrum. Das C.O.S.-Handstück wird über die Zahnreihen geführt und erfasst hierbei dreidimensionale Daten, aus denen in Echtzeit ein 3D-Modell gerechnet wird. Praktisch während des Abformens sieht der Zahnarzt das Ergebnis seiner Präparation, bis zum 10fachen vergrößert. Erkennt der Anwender Problemzonen, kann er unmittelbar reagieren und nachpräparieren. Die erstellten Daten werden an das Labor übermittelt. Für Labors fertigt dann das Lava-Modellzentrum präzise Modelle, auf denen das Labor die Restauration mit dem Werkstoff der Wahl anfertigen kann.

Mit Lava DVS ist eine digital gefertigte Keramikverblendung möglich. Diese Lösung bietet die optimale Verblendstärke mit Höckerunterstützung und somit eine geringere Anfälligkeit für Verblendfrakturen (Chippings).

DCS Zirkon

Ursprünglich entwickelt für die Fertigung von Kronen und Brücken aus Vollgusstitan, wird bei DCS Yttrium-stabilisiertes Zirkoniumdioxid im dichtgesinterten Zustand verarbeitet, was hohe Anforderungen an die Schleifwerkzeuge (Sinterdiamanten) stellt und längere Bearbeitungszeiten erfordert. Mit individuell gestalteten Verbindern (Geschiebe) können Brückengerüste geteilt werden.

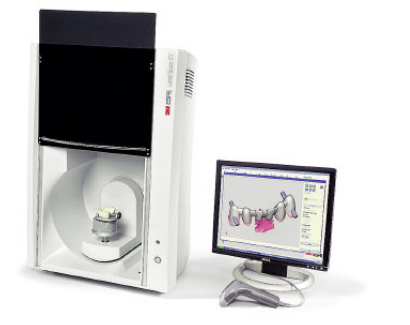
DeguDent Cercon Smart Ceramics

Dieses System unterscheidet sich von anderen Verfahren dadurch, dass das Gerüst sowohl über ein Wachsmodell wie auch über eine virtuelle Konstruktion hergestellt werden kann. Ausgehend von einer CAM-gestützten Technik wurde es zu einem CAD/CAM-System erweitert. Das Scan- und Fräsgerät Cercon brain verarbeitet die Zirkoniumdioxidrohlinge Cercon base oder Cercon base colored im vorgesinterten Zustand (sog. „Weißlinge“).

Die Grundidee ist, die Form der Restauration im „weichen“ Zustand zu fräsen, um dann durch einen anschließenden Sinterprozess die hohe Endfestigkeit und exakte Passung zu erreichen. Es sind Kronen- und Brückengerüste bis 47 mm anatomischer Länge sowie Primärgerüste für die Doppelkronentechnik in weiß oder elfenbein-farben herstellbar.

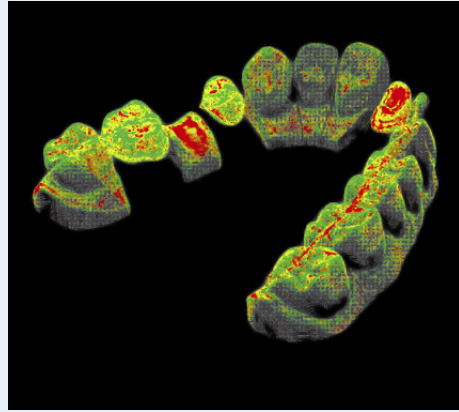


Intraorale Präzisionsabformung mit Lava C.O.S. Während der digitalen Abformung wird die Präparation vergrößert auf dem Monitor dargestellt. Erkannte Problemzonen können unmittelbar nachkorrigiert werden.



Der „digitale Workflow“ mit Lava beginnt mit dem Lava ST Scanner. Abbildungen: 3M Espe

Keramik-Systeme



Mit dem „virtuellen Artikulator“ können die statische und die dynamische Okklusion vor dem eigentlichen Herstellungsprozess simuliert werden.

Abb.: Girrbach



KaVo Everest ist werkstofflich ein sehr multiples System: Es verarbeitet Silikatkeramik, Oxidkeramik als teilgesintertes oder als heißgepresstes (HIP) Material, ebenso Titan, EM und Kunststoffe.

Foto: KaVo

In der CAM-gestützten Arbeitsweise wird das Kronen- oder Brückengerüst auf dem Modell aufgewachst. Dieses „Wax-up“ wird eingescant, um den Schrumpf des Zirkoniumdioxids (ca. 30 %) vergrößert und gefräst. Nach dem Heraustrennen des Objektes aus dem Rohling wird dieses bei ca. 1.300 °C im Sinterofen Cercon heat gesintert.

In der CAD/CAM-gestützten Arbeitsweise findet ein Modellscan über das Scanmodul Cercon eye statt. Durch die Software Cercon art wird automatisch ein Konstruktionsvorschlag erzeugt, der individuell verändert werden kann. Die Software zeichnet sich durch eine hohe Anwenderfreundlichkeit aus und ist intuitiv zu bedienen.

Die Cercon base-Gerüste werden in einem weiteren Arbeitsgang mit der dazu zur Verfügung stehenden Verblendkeramik Cercon ceram kiss zahnfarben verblendet.

Digident-System

Dieses CAD/CAM-System ist universell ausgelegt; es verarbeitet Hartkernkeramik wie In-Ceram Alumina und Zirconia oder Zirkoniumdioxid als teilgesinterten „Weissling“, oder heißgepresst (HIP), aber auch Metalle wie Titan, Chrom-Kobalt, Gold und Kunststoff. Gegenbiss, Achs- sowie Kieferrelationen können eingelesen werden. Es wird eine Kaufunktion im „virtuellen Artikulator“ simuliert, wobei Interferenzen eliminiert werden können. Zahn-zu-Zahn und Zahn-zu-Zweizahn-Beziehungen können eingestellt werden.

KaVo Everest-System

Grundsätzlich können mit diesem System nach der optischen Vermessung des Ausgangsmodells Inlays, Onlays, Veneers, Kronen und Brücken sowie Suprakonstruktionen aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt werden. Je nach materialspezifischen Eigenschaften können die Restaurationen, aus leuzitverstärkter Glaskeramik (Everest G-Blank), Zirkoniumdioxidkeramiken teilverdichtet als „Weissling“ bis 45 mm anatomische Länge (Everest ZS-Blank) oder als heiß-isostatisch-gepresste (HIP)Blanks (Everest ZH-Blank) geschliffen oder gefräst werden. Ebenfalls können metallische Gerüstwerkstoffe wie Titan Grad 2 und Kunststoff mit Hilfe von fünf simultan Fräs- und Schleifachsen verarbeitet werden. Der entscheidende Unterschied zu allen anderen CAD/CAM-Systemen liegt darin, dass neben der Verarbeitungsmöglichkeit verschiedener Werkstoffe auch Zirkoniumdioxidkeramiken in den Aggregatzuständen als Weisskörper (ZrO₂) mit überdimensionierten Schleifmaßen zur Nachsinterung als auch heißgepresste Blanks (HIP, Y-TZP-A) gefräst und geschliffen werden können.

Das Messsystem von „Everest“ erfasst die Modelle im topometrischen 3D-Verfahren; ein periodisches Streifenmuster wird auf das Modell projiziert. Das Streifenmuster auf der Modelloberfläche wird von einer CCD-Kamera aufgenommen. Durch Dreh- und Kippbewegungen des Modelles wird der Messvorgang mehrfach wiederholt, um auch Hinterschneidungen zu erfassen. Die Präparationsgrenze am Kronenrand wird selbständig automatisch erkannt.

Keramik-Systeme

Die fünfachsigige Fräs- und Schleifmaschine fertigt aus den unterschiedlichsten industriell vorgefertigten Materialblanks die exakt passende Restauration. Das CAM-Modul hat die Aufgabe, Fräsbahnen zu generieren. Die Berechnung der Werkzeugbahnen erfolgt durch den NC-Prozess, der Bedingungen wie Bearbeitungswege, Werkzeuge, Vorschübe, Zustellungen berücksichtigt. Technisch bedeutsam ist, ob nur die Außenform und Innenform einer Krone oder ein kompletter, mehrgliedriger Zahnersatz gefertigt wird. Die Bewegung der Fräser erfolgt gleichzeitig durch mehrere Achsen. Bei der fünfachsigigen Bearbeitung stehen neben drei linearen Achsen zwei Rotationsachsen zur Verfügung. Dadurch können auch Hinterschneidungen bearbeitet werden. Somit kann die Außenform einer Vollkrone in nur einer Aufspannung gefertigt werden; dies spart Arbeitszeit. Vorteil 5-achsiger Frässysteme ist die optimale Anstellung der Werkzeuge auf die zu bearbeitende Fläche. Hierdurch werden die Zerspanungsbedingungen verbessert, wodurch eine höhere Oberflächengüte und Maßgenauigkeit der zu fertigenden Teile erreicht werden können.

Die NobelProcera™ Technologie

Die NobelProcera™-Technologie bietet die industrielle Herstellung individueller, prothetischer Gerüstkomponenten für nahezu jede klinische Indikation. Eine Vielzahl von Werkstoffen stehen für Einzelkronen, mehrgliedrige Brücken, individuelle Keramikabutments und weitspannige Suprakonstruktionen (zementiert oder verschraubt) auf Implantaten zur Verfügung. Klinische Flexibilität wird durch Werkstoffe wie Zirkoniumdioxid (auch eingefärbt), Aluminiumoxid, Titan, Kunststoffe sowie NEM (CoCr) geboten. Titanstrukturen haben sich besonders für Steglösungen bei herausnehmbaren, implantatgetragenen Suprastrukturen bewährt; CAD/CAM-gefertigte CoCr-Gerüste empfehlen sich als kostengünstige Alternative zu EM-Legierungen.

Grundlage des NobelProcera™-Verfahrens ist der optische Scanner, basierend auf dem Prinzip der konoskopischen Holografie. Damit werden Gipsmodelle präzise digitalisiert. Neben dem Scan der zu restaurierenden Pfeiler können auch Nachbarstrukturen und Bissnahmen erfasst werden. Die CAD-Konstruktion erfolgt auf dem virtuellen Modell, das zeitaufwändige Waxup entfällt. In der „Zahnbibliothek“ stehen vielfältige Restaurationsvorschläge auf Abruf bereit. Scharfe Kanten und Übergänge werden vermieden, um punktuelle Belastungsspitzen bei der Krafteinleitung auszuschließen.

Basierend auf dem virtuellen Bissregistrator kann die okklusale Morphologie und Kontakte zur Gegenbeziehung justiert werden. Eine automatische Cutback-Funktion reduziert die Zahnform um den Betrag der späteren Verblendkeramik. Dadurch wird auch die Höckerunterstützung der Verblendung in der Kronenkappe sichergestellt. Verbinder zwischen den Einzelgliedern von Brücken werden oval geformt und vertikal ausgerichtet; Mindestquerschnittsflächen und Wandstärken werden automatisch kontrolliert.



NobelProcera System-Scanner, basierend auf lichtoptischer Objekterfassung mittels konoskopischer Holografie.



Automatischer Gerüstvorschlag mit Erkennung der Präparationsgrenze, korrekte Ausformung der Brückenstruktur. „Cut-Back-Funktion“ für die Verblendkeramiksicht.

Fotos: Nobel Biocare

Keramik-Systeme



NobelProcera Zirkonoxid-Abutments lassen sich individuell gestalten, sind für viele Implantatsysteme verfügbar.



Primär verblockte Suprakonstruktionen optimieren die mechanische Kraftverteilung bei einem großen Verlust an vertikaler Alveolarkammhöhe. Als Beitrag zur Ästhetik kann Zirkonoxid eingefärbt werden.

Fotos: Nobel Biocare



Etkon-Laserscanner erfasst 28.500 Messpunkte pro Sekunde

Foto: Straumann-Etkon

Die Scan-Daten werden via Internet an eine Nobel Biocare Produktionsstätte übermittelt, in der sämtliche Gerüststrukturen in einem standardisierten Herstellungsverfahren gefertigt werden. Die zentrale Fertigung unter konstanten Umweltbedingungen, besonders beim Sinterprozess von Zirkoniumdioxid, bietet ein Maximum an Werkstoffsicherheit. Die Gerüste im „Ready-to-use“-Zustand müssen nicht, oder nur minimal im ZT-Labor adaptiert werden. Praxis und Patient werden durch eine 5-Jahresgarantie abgesichert.

Das Straumann®-CAD/CAM-System

Etkon ist seit 2007 ein Unternehmen der Fa. Straumann; der Betrieb unterhält vollautomatisierte Hochgeschwindigkeits-Fräszentren und verarbeitet vorwiegend Oxidkeramiken für Kronen- und Brückengerüste sowie Abutments, aber auch Legierungen und Kunststoffe.

Der Laserscanner es1 arbeitet im Laserschnittverfahren mit 10 beweglichen Achsen im 45° Lichtwinkel und erfasst 28.500 Messpunkte pro Sekunde. Mit einer Messgenauigkeit von <math>< 10 \mu\text{m}</math> wird aus insgesamt 1,71 Millionen Messpunkten das digitale Modell generiert. Steile Präparationen bis zu 0° und Unterschnitte werden komplett erfasst. Dies gilt auch für komplexe Brückensituationen mit sehr engen Approximalräumen. Die Präparationsgrenze wird vollautomatisch erkannt. Der Scan der Oberfläche eines einzelnen, präparierten Zahnstumpfes dauert maximal 45 Sekunden – für ein Kiefermodell, abhängig von der Größe des Objekts, werden 20 – 90 Sekunden benötigt. Die 3D-Software konstruiert Gerüste für Kronen und Brücken bis zu 16 Gliedern, Primärteile für Doppelkronen, Implantat-Aufbauten, Inlaybrücken und vieles mehr.

Der Laserscanner ist jeweils im auftraggebenden Zahntechniklabor installiert. Der Zahntechniker sendet den konstruierten Datensatz via Internet an das Straumann CAD/CAM-Produktionszentrum. Dort werden die Konstruktionsdaten in Fräsbefehle umgesetzt, die die Fräsmaschine steuert. Der 6,8 Tonnen schwere Automat arbeitet mit hoher Präzision – die durchschnittliche Positionsabweichung liegt bei maximal 0,001 mm. Die extrem schnelle Bewegung der Fräsköpfe entspricht der 1,5-fachen der Erdbeschleunigung. Die Bearbeitung bis zu 100 Einheiten erfolgt ohne Unterbrechung in einem Arbeitsgang. Spannweiten bis zu 16 Glieder können umgesetzt werden – Unterschnitte werden berücksichtigt. Als Gerüstmaterialien stehen die Keramiken Zirkoniumdioxid, IPS e.max CAD Lithiumdisilikat, Metalle (CoCr und Titan) sowie verschiedene Kunststoffe zur Verfügung.

Keramik-Systeme



Materialmagazin T1



ZENOTEC Disk



ZENOSTAR Zirkoniumdioxid-Kronen, vollanatomisch gefräst, eingefärbt und gesintert.

ZENOTEC T1
Abbildungen: Wieland

Das ZENOTEC System

Das ZENOTEC®-System von Wieland Dental+Technik verarbeitet Zirkoniumdioxidkeramik und Aluminiumoxidkeramik, aber auch NEM, Titanlegierungen und Reintitan für Kronen- und Brückengerüste sowie verschiedene Kunststoffe, z. B. für Langzeitprovisorien. Auch Wachshölzchen für das Wax-up oder das Lost-Wax-Verfahren können genutzt werden. Diese Werkstoffe werden als Disk in verschiedenen Höhen und 98 mm Durchmesser angeboten.

Scanner und Software: Zur Unterstützung von Praxis und ZT-Labor bei der Digitalisierung bietet Wieland fortschrittliche, wettbewerbsfähige Lösungen an. So stehen für den CAD-Bereich die Software ZENO Cad und DentalDesigner sowie die Scanner-Systeme von Dental Wings und 3shape zur Verfügung.

Fräsmaschinen: Für das Ausfräsen der zahntechnischen Gerüstkomponenten sind verschiedene Frässysteme erhältlich. Diese Systeme sind in ihren Eigenschaften hinsichtlich Materialspektrum und -bearbeitung auf das Anforderungsprofil des jeweiligen Dentallabors abgestimmt.

Ergänzt wurden die bereits etablierten Systeme durch das ZENOTEC T1-System mit innovativem 5-Achs-Konzept und integriertem Materialmagazin. Das kompakte ZENOTEC T1-System wurde als zentrales Element der digitalen, automatisierten Fertigung im Dentallabor konzipiert. Es ist einfach, schnell, wartungsarm und erzielt qualitativ hochwertige Ergebnisse, die Zahntechniker, Zahnärzte und ihre Patienten erwarten.

Das ZENOTEC-System wird durch Sinteröfen für Gerüstkeramiken sowie die passenden Verblendkeramiken REFLEX, ALLUX und ZIROX komplettiert. Diese Keramiken sind farbidentisch und lassen sich nach einem einheitlichen Schema schichten.

