

Hier wird Zirkoniumdioxid nicht gefräst!

Computergestütztes aufbauendes Verfahren zur Fertigung von Gerüsten aus Zirkoniumdioxid

Redaktion

Die im Jahr 2005 gegründete Fertigungszentrale ce.novation nutzt für die Herstellung von Zirkoniumdioxid-Kappen zwar CAD/CAM-Verfahren, aber nicht die üblicherweise hiermit in Verbindung gebrachte Bearbeitung von gepressten Keramikrohlingen in Frästechnik. Die Redaktion der DIGITAL_DENTAL.NEWS erhielt exklusiv die Gelegenheit, das Produktionszentrum im thüringischen Hermsdorf zu besuchen und einen Blick hinter die Kulissen des Unternehmens zu werfen.

Bei dem Fertigungszentrum ce.novation handelt es sich um eine Tochtergesellschaft des ingenieurtechnischen Unternehmens inocermic GmbH. Mitgeschafter sind Prof. Dr. Ralph Luthardt und das auf CAD-Anwendungen spezialisierte Unternehmen ILMCAD GmbH (D-Ilmenau), vertreten durch den Geschäftsführer Jörg Lemcke. Die inocermic wiederum ist eine hundertprozentige Tochtergesellschaft des Hermsdorfer Institutes für Technische Keramik (HITK). Dieses wirtschaftsnahe Forschungsinstitut wurde 1992 gegründet und widmet sich schwerpunktmäßig der Keramikentwicklung und -produktion. Alle drei Unternehmen, das HITK, inocermic sowie ce.novation, befinden sich in demselben Gebäudekomplex. Hinsichtlich der Qualitätssicherung bei der Produktion dentaler Versorgung im Fertigungszentrum bietet dies den Vorteil, dass die gesamte Prozesskette – vom Rohstoffeingang bis zum fertigen Kronenkäppchen – unter einem Dach erfolgt.

Konzept

Kunden von ce.novation können zwischen zwei Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit dem Zulieferer wählen: ce.novation®-basic und ce.novation®-comfort. Die Basisversion eignet sich besonders gut

für Interessenten, die Zirkoniumdioxid neu in ihr Leistungsangebot aufnehmen und das Material daher erst einmal unverfänglich kennenlernen möchten, da keine Investitionen erforderlich sind. Es werden wie gewohnt Gipsmodelle angefertigt und diese per Post an den Dienstleister gesendet. Die Digitalisierung der Modelle, das Konstruieren des Gerüsts (Abb. 1) sowie die Fertigung werden so komplett ausgelagert. Bei der Komfortvariante, die im Sommer 2007 eingeführt wurde, wird der Auftraggeber stärker in die Prozesskette integriert, indem die Arbeitsschritte für das Computer Aided Design durch ihn selbst erfolgen. Hierzu bezieht er von der Fertigungszentrale ein Digitalisiersystem, das aus dem ce.novation® Scan 900 und der ce.novation® Software besteht. Die CAD-Komponenten sind inklusive einer Schulung, entweder vor Ort bei dem Kunden oder in der Fertigungszentrale, für unter 10.000,- Euro erhältlich. Die Konstruktion wird von den ce.novation-Mitarbeitern vor der Umsetzung stets kontrolliert.



Abb. 1: CAD eines Kronengerüsts.

Dipl.-Phys. Dr. Bärbel Voigtsberger (Abb. 2), Geschäftsführerin von ce.novation: „Bei der Gründung unserer Fertigungszentrale war das Komfort-Verfahren gar nicht geplant. Vordergründiges Ziel war es, Laboren die Teilhabe an CAD/CAM-Verfahren zu

erleichtern und die Möglichkeit zu eröffnen, Zirkoniumdioxid in ihr Leistungsspektrum aufzunehmen, ohne hierfür jegliche Investitionssumme aufbringen zu müssen. Mit der Zeit wurde uns aber klar, dass auch die Bereitstellung von CAD-Komponenten seine Vorteile hat, z. B. kürzere Durchlaufzeiten in der Produktion, und von einigen Kunden daher gewünscht wird. Aktuell sind unsere Basic-Kunden noch in der Mehrzahl, da wir mit unserem CAD-System sehr beachtet in den Markt gegangen sind und erst drei Scanner platziert haben. Wir gehen aber davon aus, dass auf Dauer gesehen mehr Kunden die Möglichkeit nutzen werden, selbst zu scannen und zu konstruieren als Modelle einzusenden.“



Abb. 2: Dipl.-Phys. Dr. Bärbel Voigtsberger, Geschäftsführerin von ce.novation.

Theoretisch könnten auch lediglich die Scandaten übermittelt und die Konstruktion von den Mitarbeitern des Fertigungszentrums durchgeführt werden. Dieses Vorgehen wurde von den Kunden bislang allerdings nicht praktiziert. Die Nutzung der CAD-Systeme anderer Hersteller ist nach einer Adaptionsphase möglich. Prä- und Postprozesse erlauben die Anpassung an beliebige Scanner und Fertigungsverfahren. Das realisierbare Indikationsspektrum umfasst Kappchen und bis zu dreigliedrige Brücken aus Zirkoniumdioxid. Die Gerüste können in den Farben Weiß, A1 und A3 bestellt werden. Hierzu Dipl.-Phys. Dr. Voigtsberger: „Hinsichtlich einer Erweiterung des Indikationsspektrums gehen wir äußerst vorsichtig vor. Theoretisch sind Inlays, Onlays und auch Implantatabutments und weitspannigere Brücken mit unserem Verfahren natürlich realisierbar. Die Evaluation der Bedürfnisse unserer Kunden hat aber eindeutig gezeigt, dass Kronenversorgungen

– auch in Hinblick auf die Implantattechnik – favorisiert werden. Die Herstellung von Brückengerüsten mit einer Spannweite ganzer Zahnbögen kommt für uns nicht infrage. In diesem Zusammenhang ist uns auch die Meinung von Prof. Luthardt, der für maximal viergliedrige Brückengerüste aus Zirkoniumdioxid plädiert, sehr wichtig.“

Scanner

Bei dem ce.novation® Scan 900 (Abb. 3) handelt es sich um einen optischen 3D-Scanner, der vom Hersteller smart optics (D-Bochum) speziell für ce.novation angepasst wurde. Die Abmessungen betragen etwa 650 x 320 x 360 mm (H x B x T) bei einem Gewicht von rund 36 kg. Zum Scanner wird eine zugehörige Bediensoftware mitgeliefert, die im Wesentlichen drei Module umfasst: die Patientenmaske, die Scannersteuerung und die Visualisierung des erfolgten Scans. Um einen Scan zu erstellen, wird zunächst das Modell oder ein Ausschnitt auf dem Modellhalter des Scanners befestigt. Dieser kann flexibel zur Aufnahme verschiedener Modelltypen eingestellt werden. Es können Einzelstümpfe und auch komplette Kieferbögen, d. h. Sägeschnittmodelle mit bis zu 16 Stümpfen, erfasst werden. Die maximale Modellgröße liegt bei einem Durchmesser von circa 90 mm. Der

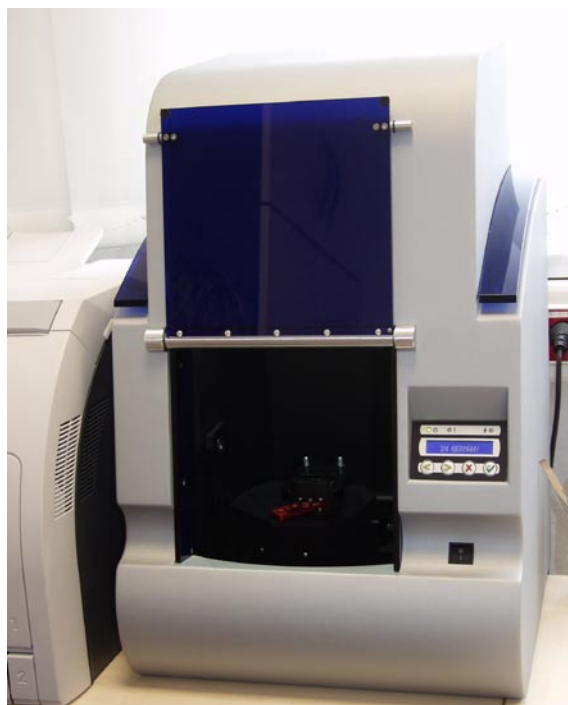


Abb. 3: Der optische 3D-Scanner ce.novation® Scan 900.

Scanner nimmt zunächst einen Prescan vor, bei dem die gesamte Geometrie grob erfasst wird. Nach den Prescans können alle relevanten Daten zu der Arbeit in der Patientenmaske eingegeben werden. Sobald der Prescan abgeschlossen ist, wird ein Bild des Modells angezeigt, anhand dessen die sogenannte Scandefinition erfolgt: Durch Klicken und Ziehen mit der Mouse wird zwischen Ober- und Unterkiefer gewählt und festgelegt, welche Zahnpositionen digitalisiert werden sollen. Zudem gibt der Anwender an, welche Art der Versorgung geplant ist und ob beispielsweise auch ein Quetschbiss gescannt werden soll. Entsprechend der Angaben berechnet die Betriebssoftware automatisch ein zeitoptimiertes Scanprogramm. Zunächst wird die Gesamtszene dreidimensional vermessen. Da bei eng aneinander stehenden Zahnstümpfen die Zahnzwischenräume nicht eingesehen werden können, müssen die Stümpfe in diesem Fall freistehend erfasst werden. Hiefür werden die jeweiligen Nachbarstümpfe aus dem Sägeschnittmodell entfernt. Die Scansoftware leitet den Anwender durch den gesamten Bedienvorgang. Die Scanzeit für einen Einzelstumpf beträgt < 2 Minuten, für einen Komplettkiefer < 7 Minuten. Die Messgenauigkeit liegt bei < 20 µm.

Der Scanner arbeitet auf Basis eines optischen 3D-Sensors, der über dem zu vermessenden Objekt angebracht ist. Dieses wird über eine 4-Achsmechanik in verschiedenen Betrachtungswinkeln unter der Kamera positioniert und aus jeder Position jeweils einzeln vermessen. Nach Abschluss des gesamten Scanprozesses werden die Einzelaufnahmen automatisch zu einem Gesamtdatensatz zusammengesetzt und das virtuelle Modell am Monitor angezeigt. Zur Begutachtung kann dieses frei im Raum gedreht und betrachtet werden. Nach Bestätigung der Vollständigkeit der Scandaten durch den Anwender werden diese im Standardformat STL gespeichert und können nun in dem Konstruktionsprogramm ce.novation® Software weiterverarbeitet werden.

Konstruktionssoftware

Für die Planung eines Kappchens werden durch den Anwender zunächst Patienten- und Restaurationsdaten eingegeben. Es folgt der Import der Stumpfgeometrie – entweder direkt vom Scanner oder aus einer bereits zu einem früheren Zeitpunkt angelegten

Datei mit den Scandaten. Anschließend wird die Präparationsgrenze durch vollautomatische Detektion festgelegt, deren Ergebnis gegebenenfalls durch den Anwender korrigiert werden kann. Im nächsten Schritt wird die prothetische Achse berechnet. Daraufhin generiert die Software ein Kronengerüst. In die Konstruktionssoftware sind bereits Parameter hinterlegt, die die materialspezifischen Besonderheiten der Keramik Zirkoniumdioxid berücksichtigen. Individuelle Modifizierungen sind möglich. Zum Abschluss kann der Anwender den Kronenrand, die Gerüststärke und die Breite des Zementspalts überprüfen.

Durch Implementierung von Verbesserungen aufgrund gewonnener Erfahrungswerte wird die Modulationssoftware kontinuierlich optimiert. So können mittlerweile auch höckerunterstützte, fast vollanatomische Konstruktionen erstellt werden, bei denen auch feine Fissurenverläufe bereits deutlich darstellbar sind (Abb. 4). Da das Zirkoniumdioxid nicht im Fräsverfahren bearbeitet wird, muss bei der Planung der Fissuren und auch der Innenkonturen nicht wie sonst erforderlich der Radius der Fräsköpfe berücksichtigt werden.

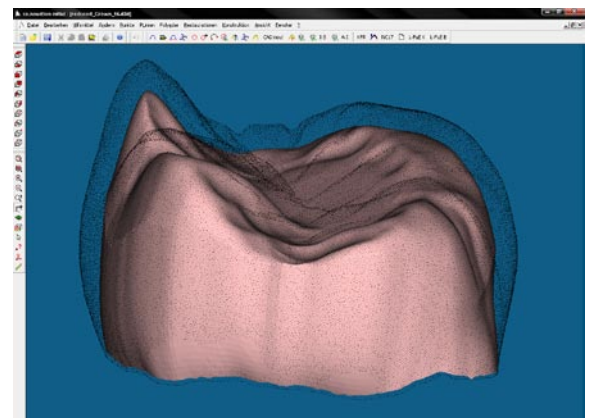


Abb. 4: Virtuelle Ansicht eines Gerüsts mit individuell anatomischem Design.

Grundidee

Zirkoniumdioxid hat sich als dentales Gerüstmaterial unter anderem wegen Festigkeitswerten von um die 1.200 MPa bis zu 1.400 MPa erfolgreich etabliert. Die Bearbeitung der Hochleistungskeramik erfolgt im Allgemeinen über spanabhebende Fertigungsverfahren von meist vor- oder auch bereits dichtgesinterter Keramik. Da Zirkoniumdioxid bekanntermaßen sehr

sensibel auf mechanische Bearbeitung reagiert, können die Festigkeitswerte hierdurch laut Dipl.-Phys. Dr. Voigtsberger unter Umständen bis um die Hälfte auf rund 600 MPa reduziert werden. Hinzu käme der hohe Materialverlust, der mit dem Fräsverfahren einhergeht. Die bessere, weil unter anderem ökonomischere Methode sei daher das Schlickerverfahren. Diese Überlegungen bildeten den Anstoß für die Entwicklung des ce.novation-Verfahrens. Weiteres Ziel war es, eine Technik zu erarbeiten, die die Fertigung absolut passgenauer, sofort verblendbarer Gerüste ermöglicht. Auch die normalerweise nicht vermeidbare Nachbearbeitung beispielsweise der Kronenränder sollte entfallen. Diese lässt sich bei ausgefrästen Gerüsten aus Zirkoniumdioxid nicht umgehen, da bei Nicht-Einhaltung einer gewissen Randdicke die Ränder bei der Fertigung zu splintern drohen. Sie müssen daher dicker geplant und anschließend manuell ausgedünnt werden. Auch diese Bearbeitung kann unter Umständen zu einer Beeinträchtigung des Materialgefüges führen. Gesucht wurde daher ein Verfahren, bei dem auf eine fräsende Bearbeitung der Keramik komplett verzichtet werden kann, höchst individuelle Formen aber möglich sind.

Verfahren

Auf das ce.novation-Verfahren wurde inocermic in Europa, den USA, Kanada sowie Japan das Patentrecht erteilt. Die Prozesskette beginnt mit dem Rohstoffeingang bei inocermic. Hierbei handelt es sich um Zirkoniumdioxidpulver, das von asiatischen Herstellern bezogen wird. Jede Rohstoffcharge unterliegt einer strengen Eingangskontrolle, bei der verschiedenste Parameter des Materials analysiert werden. Hierzu gehören beispielsweise die Partikelgröße sowie die Reinheit. Chargenschwankungen können so bei der weiteren Verarbeitung des Materials gezielt berücksichtigt werden, um die Werkstoffeigenschaften der Endprodukte zu steuern. Erfüllt eine Charge die angesetzten Mindestanforderungen nicht, wird sie aussortiert. Es folgt das Pulverprocessing, bei dem das Zirkoniumdioxidpulver vorbereitet wird, um zu einem homogenen Schlicker weiterverarbeitet zu werden. Dipl.-Chem. Martina Johannes (Abb. 5) von der Abteilung Entwicklung / Materialien betont: „Die professionelle Herstellung qualitativ hochwertiger Schlicker umfasst weitaus mehr, als ein bisschen Pulver mit ein

wenig Wasser zu vermischen. Über aufwendige Testverfahren wurde eine spezielle Rezeptur entwickelt, die die Qualität unserer Erzeugnisse maßgeblich mitträgt.“ Dem Zirkoniumdioxid-Rohstoff werden organische Hilfsmittel beigelegt, die unter anderem ein optimales Fließverhalten bewirken. Dies ist Thema der Rheologie, auch Fließkunde genannt, einem Teilgebiet der Physik, das sich mit dem Verhalten kontinuierlich deformierbarer Stoffe befasst. Die Vermischung erfolgt über eine sogenannte Rührwerkskugelmühle (Abb. 6). Je nach Auftragslage können täglich zwischen 3 kg und 20 kg Schlicker aufbereitet werden. Um die Reproduzierbarkeit des Verfahrens zu gewährleisten, muss der Schlicker konstante Eigenschaften besitzen. Maßgeblich ist eine exakte Steuerung der Viskosität und eine optimale Dispergierung der Pulverteilchen, da diese nach dem Sintern zu kritischen Fehlern im Gerüst führen würden. Eine unzureichende Mischung würde zu Agglomeraten im gesinterten Gerüst führen, die die Homogenität und Dichte des Endprodukts beeinträchtigen.



Abb. 5: Dipl.-Chem. Martina Johannes bei der Prüfung eines Kronengerüsts.



Abb. 6: Schlickeraufbereitung

Nachdem die Fertigungsdaten, welche von den Mitarbeitern auf Grundlage der Scandaten der eingesendeten Modelle oder vom Kunden übermittelten Konstruktionsdaten erstellt wurden, erfolgt deren Übertragung an eine Präzisions-CNC-Fräsmaschine. Mit dieser werden aus kleinen Gipsblöcken die Formen für das Schlickerverfahren gefräst (Abb. 8 und 9). Die Formen müssen eine kontrollierte Porosität aufweisen, da dem Schlicker durch Kapillarkräfte Flüssigkeit entzogen wird. Als Formenmaterial hat sich Gips bewährt. Das Material wurde so optimiert, das eine besonders gute Fräsbarkeit und eine hohe Kantenstabilität gewährleistet ist. Den Fräsvorgang überwachen Mitarbeiter über einen Steuerungsmonitor (Abb. 10). Eine zweite Fräseinheit steht für Testverfahren zur Verfügung (Abb. 11).

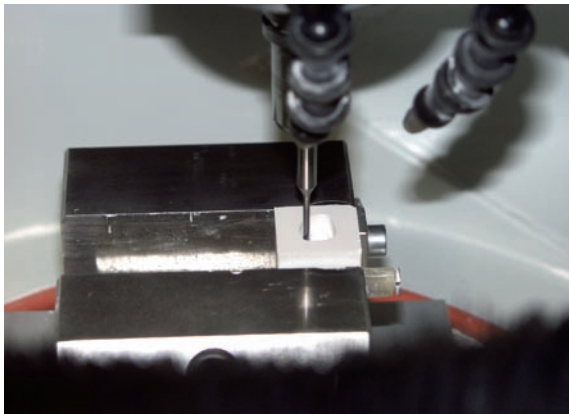


Abb. 8: Formenherstellung



Abb. 9: Gießformen (Außenkontur) mit Kronengerüsten.

Für die Fertigung der Gerüste werden jeweils zwei Gipsformen, Außen- und Innenkontur, zusammengesetzt. Der so entstehende Hohlraum repräsentiert das zu erstellende Gerüst. Der Schlicker wird über ein Verfahren, das dem vor allem in der



Abb. 10: Der Fräsprozess wird durch geschulte Mitarbeiter überwacht.



Abb. 11: Zweite Fräseinheit für Testverfahren.

Kunststoffverarbeitung häufig eingesetzten Spritzgussverfahren ähnelt, eingefüllt. Nach der Entformung der Teile erfolgt die Trocknung und Sinterung (Abb. 12). Die Sinterdichte beträgt nach DIN 51065 $> 6,05 \text{ g/cm}^3$. Die Bildanalyse des Gefüges der gesinterten Zirkoniumdioxidgerüste die bei ce.novation gefertigt wurden, zeigt eine mittlere Korngröße von $0,5 \mu\text{m}$.



Abb. 12: Öfen für den Sinterbrand der Grünkörper.

Ergebnis

Ein Nacharbeiten sei bei Einhaltung der Präparationsrichtlinien wegen der hohen Präzision nicht erforderlich (Abb. 13 und 14). Die Gerüste können nach dem Eingang beim Kunden von diesem direkt verblendet und vom Zahnarzt eingesetzt werden (Abb. 15 bis 17). Zudem entfällt das bei gefrästem Zirkoniumdioxid häufig durchgeführte Abstrahlen mit Aluminiumoxid, da durch das eingesetzte Formgebungsverfahren eine ausreichende Oberflächenrauigkeit vorliegt. Die 4-Punkt-Biegefestigkeit der Gerüste nach DIN EN 843-1 ist $> 1.350 \text{ MPa}$, die Mikrohärtigkeit nach Vickers beträgt $1.604 \pm 96 \text{ kp/mm}^2$.



Abb. 13: Unverblendetes Gerüst mit individuellem anatomischem Design.

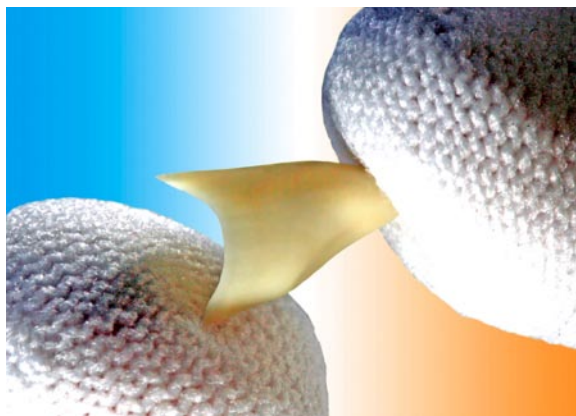


Abb. 14: Die Kronengerüste zeichnen sich durch filigrane Ränder aus.

Qualitätssicherung

Der Gebäudekomplex um das Fertigungszentrum beherbergt diverse Laboratorien und Prüfwerkstätten, die bei der Entwicklung neuer Materialien,



Abb. 15: Ausgangssituation



Abb. 16: Restaurationen auf Modell.



Abb. 17: Restaurationen in situ (Zahn 34-42).

der Optimierung bestehender Werkstoffe und der Durchführung der umfangreichen Maßnahmen zur Qualitätssicherung genutzt werden. Das verwendete Zirkoniumdioxid wird beispielsweise genauestens auf seine Pulvereigenschaften hin überprüft. Hierbei kommen unter anderem die Laserbeugung und das Sedimentationsverfahren zum Einsatz. Die Abstände der Netzebenen in den Kristallstrukturen, d. h. der Ebenen die durch Punkte des Kristallgitters aufgespannt werden, von Rohstoffen und auch von gesinterten Objekten werden durch Röntgenphasenanalysen geprüft (Abb. 18). Des Weiteren stehen für die Testverfahren unter anderem Elektronenmikroskope sowie Thermoanalysegeräte zur Verfügung.

Standardmäßig durchlaufen Probeobjekte jeder Rohstoffcharge den 4-Punkt-Biegetest und eine Messung der Frakturfestigkeit (Abb. 19). Zum Einsatz kommen ausschließlich reproduzierbare Prüfverfahren. Zur Bestimmung der Frakturfestigkeit werden 30 Gerüste auf CNC-gefräste Kunststoffstümpfe zementiert und die Bruchkraft gemessen. Am Computer können die Ergebnisse dann analysiert und für statistische Erhebungen genutzt werden. Dr. Gerd Beierlein (Abb. 20), der für die Prüfverfahren zuständig ist, erklärt: „Keramik hat in der Regel eine mindestens fünf Mal höhere Druck- als Zugfestigkeit. Deshalb setzen wir beispielsweise auch zwischen der Zirkoniumdioxidkugel und dem Druckpfosten der Prüfmaschine eine Platte aus der Hochleistungskeramik ein. Aufgrund des Drucks und der Härte des Materials kommt es ansonsten zu Einkerbungen im Stahl.“ Aktuell wird zudem an einem Kausimulator gearbeitet, der eine realistischere Prüfung des Verhaltens der Gerüste ermöglichen soll. Vor der Auslieferung werden sämtliche Gerüste auf Materialdefekte geprüft.

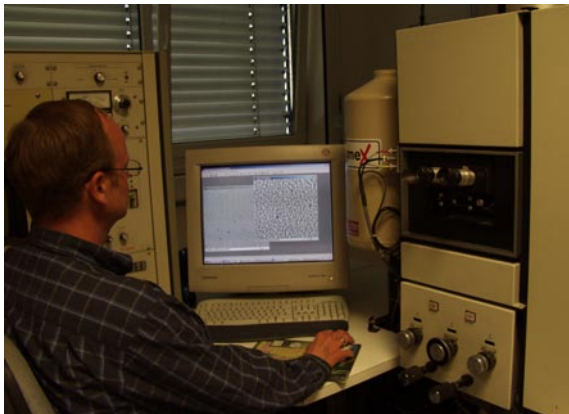


Abb. 18: Qualitätssicherung mittels Elektronenstrahlmikrosonde.

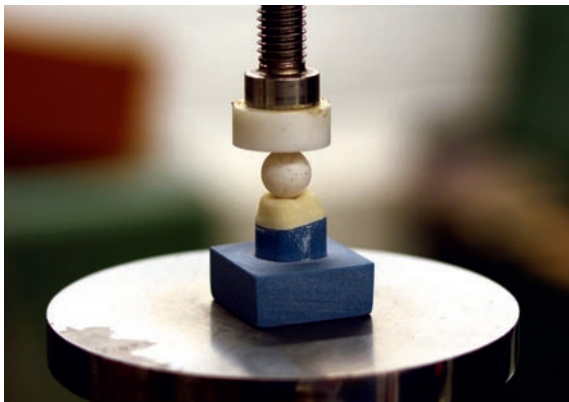


Abb. 19: Messung der Frakturfestigkeit.



Abb. 20: Auswertung der Messergebnisse durch Dr. Gerd Beierlein.

Fazit

Dipl.-Phys. Dr. Voigtsberger: „Das Fertigungszentrum ce.novation ist zwar ein kleines Unternehmen und noch nicht sehr lange am Markt, meiner Meinung nach aber dank unseres innovativen Fertigungsverfahrens für Versorgungen aus der Hochleistungskeramik Zirkoniumdioxid ein echter Newcomer. Daher befinden wir uns bereits in den ersten Anfängen der Internationalisierung und testen derzeit die Möglichkeiten eines Ausbaus unseres Angebots auf den gesamten europäischen Raum. Insbesondere in diesem Zusammenhang war es sehr wichtig, unsere Leistungen durch das Konzept ce.novation®-comfort zu erweitern. Eine länderübergreifende Zusammenarbeit mit Laboren ist sicherlich aus zeitlichen Gründen sinnvoller, wenn diese die Möglichkeit nutzen, unser CAD-System einzusetzen, um der Fertigungszentrale direkt die Konstruktionsdaten zu übermitteln. Aber auch unabhängig von dieser Überlegung ist ein eindeutiger Trend festzustellen, der zeigt, dass viele Zahntechniker die Gestaltung der Gerüste gerne in den eigenen Händen behalten und die reine Produktion auslagern möchten.“

Kontakt

ce.novation GmbH
 Michael-Faraday-Straße 1
 D-07629 Hermsdorf
 Tel. +49 (0) 3 66 01 / 6 39 02
 Fax +49 (0) 3 66 01 / 6 39 21
 info@cenovation.com
 www.cenovation.de