

Zusammenfassung

In der restaurativen Zahnmedizin wird ein Teil der Kronen- und Brückenversorgungen aus Vollkeramik hergestellt. Die erforderlichen hochfesten Gerüststrukturen bestehen meist aus Oxidkeramiken. Zurzeit gewinnt die Zirkonoxidkeramik aufgrund ihrer guten Biokompatibilität und Dauerfestigkeit an Popularität. Ein führender Lieferant dieser „Hightech Ceramics“ ist die Metoxit AG in Thayngen, Schweiz. Er liefert entweder Fertigteile wie Stifte, Implantatpfosten und Implantate oder Rohlinge, die z. B. mittels CAD/CAM-Technologie zu Pfosten, Kronen- und Brückengerüsten weiterbearbeitet werden. Im Folgenden wird über die Aktivitäten der Metoxit AG im Bereich der zahnärztlichen Prothetik berichtet.

Indizes

Zahnärztliche Prothetik, Vollkeramik, Implantate, Implantatpfosten, Industriekeramik, Oxidkeramiken, Aluminiumoxid, Zirkonoxid

Hightech-Biokeramiken für die Zukunft

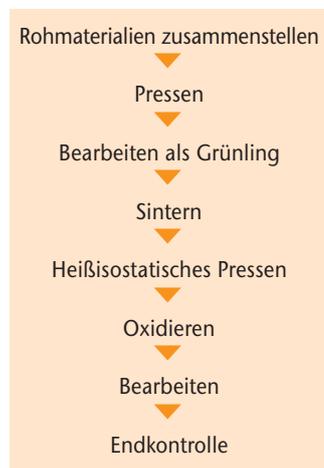
Siegbert Witkowski

In der restaurativen Zahnmedizin ist die Metallkeramik seit den 1960er Jahren als festsitzende Versorgung ein Standard. Seit Mitte der 1990er Jahre werden die verwendeten Aufbrennlegierungen für diese Restaurationsart zunehmend durch hochfeste Keramiken substituiert. Hierfür steht der Einsatz einer Yttrium-stabilisierten Zirkonoxidkeramik (Zirkonoxid Y-TZP, Tetragonale Zirkoniumoxid Polykristalle) im Vordergrund.¹⁰ Im englischen Sprachgebiet wird dieses Material „Zirconia“ genannt, im deutschen Sprachgebrauch auch kurz als Zirkonkeramik. Das Ausgangsmaterial für diese hochfeste Industriekeramik wird aus mineralischen Rohstoffen (Zirkonsand) chemisch hergestellt, mit Yttriumoxid teilstabilisiert und auf dem keramischen Weg zu Produkten und Halbzeug verarbeitet. In der dentalen Anwendung werden z. B. für zahntechnische Produkte Rohlinge für Kronen- und Brückengerüsten mittels Fräsen oder Schleifen in Form gebracht.^{18,22} Das auch als „Hightech Ceramics“ bezeichnete Material wird anstelle von vergossenen Legierungen vermehrt auch in der Zahnmedizin seit Ende der 1990er Jahre verwendet. Oxidkeramik ist in der Medizin, beginnend mit Aluminiumoxid, seit ca. 1970 im klinischen Einsatz, anfänglich bevorzugt in der Orthopädie als Teil künstlicher Hüftgelenke. Keramische Hüftgelenke, seit Mitte der 1980er Jahre auch aus dem neuentwickelten Hochleistungswerkstoff Zirkonoxid-TZP, sind heute weit verbreitet und bieten wegen

Einleitung



Tabelle 1 Herstellungsprozess des HIP ZrO₂-TZP²¹.



der guten Biokompatibilität, der hohen Dauerfestigkeit und vor allem wegen der hervorragenden Verschleißigenschaften eine sichere Anwendung. Die „biokeramischen“ Werkstoffe Aluminiumoxid und Zirkonoxid sind, nach entsprechender Prüfung und entsprechend den bestehenden Normen, für Medizinprodukte zugelassen und werden je nach Indikationsbereich ausgewählt.

Vorreiter und einer der Marktführer auf dem Gebiet der Herstellung und Verarbeitung dieser Hochleistungskeramiken zu Medizinprodukten, ist die Schweizer Firma Metoxit AG in Thayngen. Aufgrund von Innovationen auf dem Gebiet der Verarbeitungstechnik dieser Keramiken ist es dieser Firma gelungen, mit der Anwendung immer reinerer Rohstoffe, optimierter Verarbeitungsprozesse und engster Herstellungstoleranzen die Qualität und Stabilität zur Steigerung der Anwendersicherheit und der biologischen Akzeptanz zu verbessern. Die konsequente Anwendung des „Hot Isostatic Postcompaction“ (HIP) genannten Verfahrens auf die medizinisch eingesetzten Biokeramiken ermöglicht seit 1986 eine Verdichtung des keramischen Materials nach dessen Sintervorgang (Tabelle 1). Damit wird eine deutliche Steigerung der Festigkeit und Verlässlichkeit dieser Werkstoffe erreicht.^{2,11} Dies stellt einen Meilenstein in der Herstellung und Entwicklung von Oxidkeramiken in der Medizintechnik dar.

Die Metoxit AG



Abb. 1 Da Vinci-Chronograph der IWC Schaffhausen. Eine besondere Serie wurde mit Gehäusen aus Zirkonoxidkeramik aufgelegt, damals eine Weltneuheit.

Die Metoxit AG ist in Thayngen nahe der deutschen Grenze im Schweizer Kanton Schaffhausen angesiedelt. Sie versteht sich als Zulieferer von Produkten aus Spezialkeramiken für unterschiedliche Industriebereiche. Die Metoxit entstand 1978 als Tochtergesellschaft der damaligen Schweizerischen Aluminium AG (Alusuisse) und der lokalen Keramikfirma Tonwerke Thayngen AG ursprünglich mit dem Auftrag der Entwicklung und Herstellung von Materialien für die Aluminiumherstellung. Der Name Metoxit wurde geschützt. 1985 übernahm die AGZ-Gruppe (AG Ziegelwerke Horw-Gettnau-Muri, Horw, Schweiz) die Tonwerke Thayngen AG und 1986 die Anteile der Alusuisse an der Metoxit AG. Geschäftsführer war seit der Gründung der Metoxit AG bis zum Jahre 2004 Dr. *Wolfgang Rieger*, dem sein langjähriger Mitarbeiter Dr. *Wolfram Weber* nachfolgte.

Als Hersteller und Zulieferer von Oxidkeramiken konzentrierte sich die Metoxit AG anfangs auf Aluminiumoxid, gefolgt von Zirkonoxid. Sie hat sich durch die Einführung und konsequente Prüfung von keramischen Hightech-Materialien sowie durch innovative Herstellungsverfahren eine Sonderstellung im Bereich der Medizintechnik erarbeitet. Mehr als die Hälfte ihres Umsatzes erwirtschaftet die Metoxit AG heute in den Bereichen Orthopädie und Dental. Sie beliefert zusammen mit ihrer Schwesterfirma Saphirwerk Industrieprodukte AG in Brugg, Schweiz, führende Orthopädieunternehmen mit keramischen Hüftgelenken und fertigt für die Industrie eine große Palette anspruchsvoller Verschleißteile, wie z. B. Kolben und Plunger für Hochdruckpumpen. Als Partner der weltbekannten Schaffhauser Uhrenfirma IWC entwickelte und produzierte die Firma 1986 die weltweit ersten Uhrenschalen aus Zirkonoxidkeramik (Abb. 1). Die Metoxit AG beschäftigt heute zusammen mit der Schwesterfirma Saphirwerk Industrieprodukte AG 130 Mitarbeiter an zwei Standorten und ist mit neuen Innovationen weiter auf Expansionskurs (www.metoxit.com).

Oxidkeramik in der Orthopädie

Die Anwendung von Oxidkeramiken in der Orthopädie wurde von der Metoxit AG seit 1980 intensiv verfolgt. Die Möglichkeit eines klinischen Einsatzes wurde bereits seit den



1960er Jahren von verschiedenen Firmen geprüft und bis etwa 1970 mit Grundlagenarbeiten vorangetrieben. Um 1970 führte die Weiterentwicklung von Aluminiumoxid zum klinischen Einsatz in der Orthopädie mit Kugelköpfen, später auch Kalotten, für Hüftgelenke. Bis zum Ende der 1990er Jahre wurden die Oxidkeramiken durch verfeinerte Rohstoffe in Verbindung mit innovativen Herstellungsverfahren ständig weiter verbessert, insbesondere bezüglich der mechanischen Eigenschaften. Als wesentlicher Schritt erwies sich die Einführung des bereits erwähnten HIP Prozesses (1986) durch die Metoxit AG.¹³ Die Biegefestigkeit und Langzeitlebenserwartung von Aluminiumoxid und, seit 1986, Zirkonoxid, konnten damit wesentlich gesteigert werden.

Die Metoxit AG erreichte bereits 1989 mit dem Masterfile für Aluminiumoxid und 1991 mit demjenigen für Zirkonoxid die Freigabe nach FDA-Richtlinien (FDA, Food and Drug Administration, USA) sowie 1993 die Freigabe der französischen und EU-Gesundheitsbehörden, beides nach umfangreichen Untersuchungen und sich über zwei Jahre hin erstreckenden Tierversuchen. Die Masterfiles stellten für Metoxit insbesondere mit dem Werkstoff Zirkonoxid-TZP einen internationalen Sprung nach vorne dar und gelten für weitere Hersteller auf diesem Gebiet als Standard.¹⁴ Gleichzeitig mit der Materialentwicklung konnten auch die Bearbeitungsverfahren und die Herstellungspräzision kontinuierlich gesteigert werden. So kann die Oberfläche von Aluminiumoxid und Zirkonoxid z. B. für orthopädische Kugelköpfe bis zu einer Rautiefe von $0,002\ \mu\text{m}$ poliert werden, wozu insbesondere das Know-how der Schwesterfirma Saphirwerk Industrieprodukte AG (SWIP) erforderlich war. Die Sphäritätsgenauigkeit von Kugelköpfen beträgt $0,1\ \mu\text{m}$. Zahntechnische bzw. prophetisch/implantologische Fertigteile können ebenfalls mit sehr hoher Genauigkeit von der Metoxit AG hergestellt werden (Abb. 2).¹⁴



Abb. 2 Kugelköpfe und Pfanneneinsätze für die Endoprothesen (Hüftgelenk) aus Oxidkeramiken.

Zirkonoxidkeramik wird seit einigen Jahren in der Kieferorthopädie⁶ für Brackets und in der zahnärztlichen Prothetik für Wurzelstifte⁸ und Implantatpfosten⁴ verwendet. Die Metoxit AG begann den Einstieg in das Gebiet der Dentalwerkstoffe mit Wurzelstiften aus Zirkonoxid, die ab 1991 hergestellt wurden. Wesentlich für deren Erfolg war die Vergütung des Materials durch den HIP-Prozess, womit die Metoxit AG bald eine Monopolstellung auf dem Gebiet der Wurzelstifte erreichte. Der Vorteil des „Metoxit-Verfahrens“ besteht darin, dass auch Wurzelstifte mit sehr kleinen Durchmessern (bis $1,4\ \text{mm}$) bei engsten Toleranzen und mit hoher Bruchsicherheit gefertigt werden können. Dies ist bis heute mit Spritzgussverfahren oder mittels Strangziehen nicht in vergleichbarer Qualität möglich (Abb. 3 bis 5).

Als ein weiteres Herstellungsfeld erwiesen sich Implantatpfosten, die aus Zirkonoxid präzise auf bzw. in die Implantate angepasst werden können. Ab 1995 wurden Implantatpfosten aus Zirkonoxid für *Wohlwend* angefertigt, anfangs für experimentelle Arbeiten auf Titan-Implantaten (Abb. 6 bis 10).²⁴ Später wurden Implantatpfosten hergestellt, die auf eine Titan-Basis montiert wurden. Auf diese Weise saßen die Befestigungsschrauben nicht im Zirkonoxid sondern in einem bewährten Titansystem. Heute beliefert die Metoxit AG zahlreiche Kunden mit Abutments aus Zirkonoxid-TZP-HIP in unterschiedlichen Konfigurationen, zum Teil in Verbindung mit Titanteilen.

Einführung von Zirkonoxid in den zahnärztlichen Bereich



Abb. 3 Produktbeispiel eines Wurzelstifts aus Zirkonoxidkeramik.



Abb. 4 Wurzelstifte aus Zirkonoxidkeramik in den Wurzelkanälen zur Modellierung der Aufbauten. Klinik: PD Dr. Guido Heydecke, Freiburg.



Abb. 5 Die Wurzelstifte können mit Hilfe der Presstechnik mit Aufbauten aus Keramik versehen werden.



Abb. 6 Erste Prototypen von Implantatpfosten aus Zirkonoxidkeramik nach Wohlwend aus dem Jahre 1995.



Abb. 7 Erster Patientenfall mit klinischem Einsatz von Implantatpfosten aus Zirkonoxidkeramik aus dem Jahre 1995 von Wohlwend.



Abb. 8 Die Zirkonoxidpfosten im Munde auf den Implantaten befestigt. Klinik: Dr. Stefan Studer am Zahnärztlichen Institut in Zürich.



Abb. 9 Die Implantatpfosten und präparierten Zähne wurden mit vollkeramischen Kronen versorgt. Zahn 22 ist ein natürlicher Zahn.



Abb. 10 Patientenfall mit Ansicht von okklusal.



Abb. 11 Beispiel eines Prototyps eines oralen Implantates aus Zirkonoxidkeramik.

1989	Publikation von <i>Rieger</i> ¹² über die Leistungsfähigkeit von modernen Biokeramiken
1990	Wurzelstifte aus HIP Zirkonoxid nach <i>Sandhaus</i>
1993	Precident DCS Anwender entdecken das HIP Zirkonoxid für die dentale CAD/CAM-Bearbeitung
1993	Einführung des HIP Zirkonoxid bei der DCS Dental AG
1994	<i>Wohlwend</i> erhält Zirkoniumoxid als Grünling für eine CAD/CAM-Bearbeitung
1995	Marktführerschaft auf dem Gebiet der Wurzelstifte aus HIP Zirkonoxid
1998	Beginn von Implantatpfosten aus HIP Zirkonoxid durch <i>Wohlwend</i> ²⁴
2000	Marktführerschaft mit HIP Zirkonoxid für die CAD/CAM-Bearbeitung
2002	Erste chirurgische Instrumente für die orale Implantologie aus HIP Zirkonoxid
2003	Erste Orale Implantate aus HIP Zirkonoxid auf dem Markt erhältlich

Tabelle 2 Meilensteine der Metoxit AG bei der Einführung von Zirkonoxidkeramik in die Zahnmedizin.

Seit drei Jahren werden auch chirurgische Werkzeuge für orale Implantate bei der Metoxit AG hergestellt. Diese zeichnen sich besonders durch ihre Langlebigkeit und Laufruhe aus und bieten den Vorteil der metallfreien Verwendung. Gleichzeitig erfolgte auch die Herstellung von ersten oralen Implantaten aus Zirkonoxidkeramik, die heute einen Schwerpunkt der Entwicklung darstellen (Abb. 11 und Tabelle 2).

Die Einführung der Zirkonoxidkeramik in der Zahntechnik erfolgte Anfang der 1990er Jahre, als vermehrt Titan mittels CAD/CAM-Technologie für Kronen- und Brückengerüste verarbeitet wurde. Dieser Werkstoff erreichte nie eine große Popularität, was an einer zu der Zeit noch mangelnden Ästhetik und umstrittenen Verbundfestigkeit der Keramik zum Gerüst lag. Der Wunsch, die entwickelten CAD/CAM-Anlagen auch für weitere Materialien außer Titan nutzen zu können, führte innovative Anwender zu den Produkten der Metoxit AG. 1993, als Zirkonoxid bereits in der Zahnmedizin für Stiftaufbauten bekannt

Einführung von Zirkonoxid in die Zahntechnik

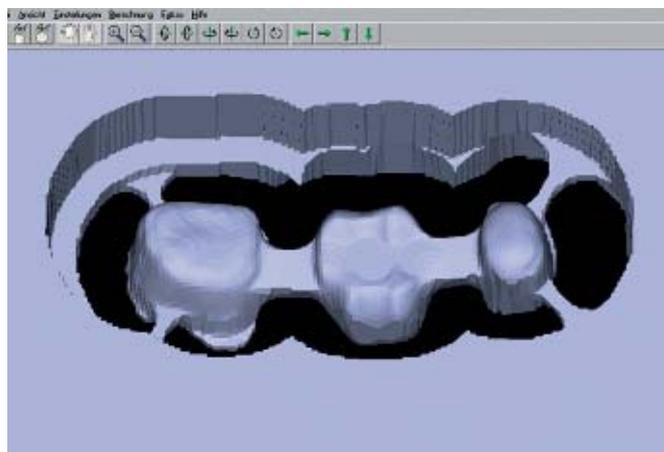


Abb. 12 Virtuelle Darstellung im CAD eines Brückengerüsts der geplanten Fräsausgabe aus einem Materialrohling.

Abb. 13 Brückengerüst nach dem Herausfräsen aus einem Rohling aus HIP Zirkonoxidkeramik.



Abb. 14 Ansicht von basal der keramisch verblendeten Seitenzahnbrücke.



Abb. 15 Vollkeramische Seitenzahnbrücke im Munde eingliedert.



war, adaptierte als erster CAD/CAM-Anbieter in der Zahntechnik die DCS Dental AG (seit 1995 DCS AG, Allschwil, Schweiz) ihre Anlage Precident an die Zirkonoxidkeramik.^{5,21} Um die positiven Werkstoffeigenschaften der Zirkonoxidkeramik für Kronen- und Brückengerüste optimal ausnutzen zu können, wurden die zahntechnischen Teile aus Zirkonoxid-HIP-Blöcken mittels gesinterten Diamantwerkzeugen herausgeschliffen (Abb. 12 bis 15).⁷ Diese Anwendung ist bis heute vom Grundprinzip so erhalten geblieben. Weitere Firmen, wie die zu dieser Zeit neu gegründete HintELs (Griesheim), gingen ebenfalls diesen Weg der sog. CAD/CAM-„Zirkonoxid-Hartbearbeitung“.²²

Mitte der 1990er Jahre wurde der Umstand genutzt, dass die Verblendkeramiken für Titan bezüglich ihres Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) auch auf die Zirkonoxidgerüste passten. Als Schwachstelle in diesem Kronen- Brückensystem stellte sich der Verbund zwischen den Titankeramiken und dem Zirkongerüst heraus. In den Anfängen wurden zum Teil auch konventionelle Opaker, die ursprünglich für das Abdecken der schwar-



- ▶ Cercon Ceram S, Degudent, Hanau
- ▶ Cercon KISS, Degudent, Hanau
- ▶ Creation Zr, Amann Girrbach, Pforzheim
- ▶ e.max Ceram, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein
- ▶ GC Initial Zr, GC International, München
- ▶ HeraCeram Zirkonia, Heraeus Kulzer, Hanau
- ▶ Lava Ceram, 3M Espe, Seefeld
- ▶ MagicCristallon, Heppe Dental, Düsseldorf
- ▶ Matchmaker ZR, Schottlander, Lüdinghausen
- ▶ NobelRondo Zr, Nobel Biocare, Köln
- ▶ OPG 3G Schichtkeramik, Jeneric/Pentron, Kusterdingen
- ▶ Satura Interaction, Elephant, Hamburg
- ▶ Vintage ZR, Shofu Dental, Ratingen
- ▶ VM 9, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen
- ▶ ZIROX, Wieland Dental + Technik, Pforzheim

Tabelle 3 Aktuelle Verblendkeramiken für Gerüste aus Zirkonoxidkeramik (die Produktnamen sind zum Teil eingetragene Warenzeichen der Hersteller).

zen Titangerüsten gedacht waren, für Zirkonoxid verwendet. Bei der Analyse von klinischen Studien zeigte sich diese Schwachstelle, die dann mit der Einführung von speziellen Verblendkeramiken für Zirkonoxid beseitigt wurde (Tabelle 3). In diesem Zusammenhang stellten ebenfalls Softwareverbesserungen für eine anatomische Gerüstgestaltung eine deutliche Verbesserung dar.

Um die Schleifprozesse bei der CAD/CAM-Bearbeitung, die für das HIP-Zirkonoxid erforderlich sind, zeitlich zu reduzieren, suchte der Liechtensteiner Zahntechniker *Arnold Wohlwend* bei der Metoxit 1994 nach einem Weg, Zirkonoxid in einem noch nicht komplett durchgesinterten Zustand zu bearbeiten. Dies führte zur Realisierung von Zirkonoxid-Rohlingen, die in einem kreideähnlichen Zustand mit Hartmetallfräsen schnell bearbeitet werden können.²³ Bei diesem Vorgehen wurde es erforderlich, die zahntechnischen Kronen- und Brückengerüste vergrößert aus den Blöcken herauszuarbeiten, um eine spätere Sinterschrumpfung zu kompensieren. Diese Vergrößerungstechnik wurde mit Hilfe der digitalen Komponenten von Fräsanlagen gelöst. Das erste System, das die Idee der Grünlingsbearbeitung aufgriff und technisch und kommerziell umsetzte, war Cercon (Degudent, Hanau).¹⁷ In der Pilotstufe war dieses Konzept als DCM (Direct Ceramic Machining) vorgestellt worden und wurde mit dieser Bezeichnung für erste klinische Studien dokumentiert.¹⁶ Die Entwicklung des Konzeptes erfolgte in der Abteilung für Kronen- und Brückenprothetik, unter der Leitung von Prof. Dr. P. Schärer, M. S., des Zahnärztlichen Institutes Zürich und an der ETH-Zürich unter der Leitung von Prof. Dr. L. Gauckler.³

Nach 1998 entstanden bei zahlreichen Firmen weitere CAD/CAM-Systeme, die die Verwendung von Hightech-Keramiken wie Zirkonoxid-TZP als Gerüstmaterial für die Zahntechnik zum Ziel haben.^{18,22} Neben der CAD/CAM-Bearbeitung von Zirkonoxid-TZP im HIP-Zustand wurde die Bearbeitung des Materials in seiner Grünlingsphase mit anschließender Sinterung immer populärer. Erste klinische Studien mit Zirkonoxid für die Kronen- und Brückentechnik in der Zahnmedizin entstanden in den Kliniken Aachen, Göttingen, Zürich, Homburg, und Malmö. Tabelle 4 zeigt den aktuellen Stand der klinischen Studien für den Bereich Kronen- und Brückenprothetik mit Gerüsten aus Zirkonoxid und einer individuell aufgeschichteten Verblendkeramik. Hierbei ist besonders positiv zu vermerken, dass bis dato keine Gerüstfrakturen dokumentiert wurden, ein Beleg für die überragenden Materialeigenschaften der neuen Keramiken.²¹



Tabelle 4 Übersicht von klinischen Studien aus dem Bereich Kronen-Brückenprothetik mit Gerüsten aus Zirkonoxidkeramiken. Die Arbeiten wurden mit unterschiedlichen Systemen und Materialkombinationen hergestellt.

System	Brücken		Glieder		Zeit (Jahre)	Frakturrate (%)		Erstautor	Jahr
	Front	Seite	drei	mehr		Gerüst	Verbl.		
DCM		21	21	1	1	0	0	Sturzenegger ¹⁷	2000
Lava		38	38		1,5	0	2,5	Pospiech ⁹	2003
Cercon		59	44	15	1	0	3,4	Bornemann ¹	2003
Cercon		11	11		<1	0	0	Rinke ¹⁵	2003
DCM		58			3,5	0	11	Sailer ¹⁶	2003
DCS	15	50	44	21	3	0	6	Tinscher ¹⁹	2005
DCS	3	17	2	18	2	0	3	v. Steyern ²⁰	2005

Die CAD/CAM-Bearbeitung von Zirkonoxidkeramik in der Zahntechnik

In der dentalen Vollkeramik wird in jüngerer Zeit vorzugsweise Zirkonoxid-TZP für die Herstellung von Gerüststrukturen für Einzelzahnrestorationen und Brückenverbände verwendet. Dieses Material bietet aufgrund der höheren Festigkeit gegenüber Aluminiumoxid Vorteile. Die Gerüste werden per Handarbeit konventionell mit kompatiblen Keramikmassen im Schicht-/Sinterverfahren verblendet. Von Vorteil ist hierbei die Möglichkeit, die verblendeten Restaurationen mit konventionellen Zementen auf den Zahnstümpfen bzw. Implantatpfosten befestigen zu können. Die Gerüste werden mit CAD/CAM-Verfahren aus Materialrohlingen, die sich in unterschiedlichen Sinterungszuständen befinden können, herausgearbeitet (Abb. 16). Die Verarbeitung erfolgt zurzeit in der Zahntechnik in drei unterschiedlichen Sinterungsgraden:²²

1. Herausarbeiten der Gerüstkontur aus einem dichtgesinterten (mit HIP-Prozess vergüteten) Gerüstmaterial mit Diamantwerkzeugen (meist durchgesintert) und Wasserkühlung.
2. In vorgesintertem bzw. halbgesintertem Material mit Diamanten und Wasserkühlung und
3. als Grünling in einem kreideähnlichen (porösen) Zustand mit Hartmetallfräsen ohne Flüssigkeitskühlung.



Abb. 16 Die Metoxit AG stellt Materialrohlinge nach Auftrag und Spezifikation von Dentalfirmen in unterschiedlichen Konfigurationen her.



Jedes Herstellungsverfahren bietet seine systemspezifischen Vor- und Nachteile. Die Bearbeitung von komplett durchgesintertem Zirkonoxidmaterial erfordert spezielle Maschinen mit hoher Steifigkeit, längere Schleifzeiten und beinhaltet einen entsprechenden Werkzeugverbrauch. Der Einsatz von halbgesintertem Zirkonoxidmaterial kann die Schleifzeit verkürzen und den Werkzeugverbrauch erheblich reduzieren. Außerdem sind die Bearbeitungsmaschinen wesentlich geringeren Beanspruchungen ausgesetzt. Das Bearbeiten von Zirkonoxidkeramik im nicht durchgesinterten Zustand (siehe oben Gruppe 2 und 3) schließt immer eine vergrößerte Formgebung des Objektes mit anschließendem Sinterprozess in Spezialöfen und einer systemimmanenten Sinterschrumpfung ein. In der Zahntechnik ist heute dieses Vorgehen am gebräuchlichsten.

Während die Verbreitung von Produkten aus Zirkonoxid in der Zahnmedizin zunimmt, arbeitet die Metoxit AG bereits an der Entwicklung und Einführung von weiteren Generationen von Oxidkeramiken für die Medizin. Das Material ATZ (Alumina toughened zirconia) ist in diesem Zusammenhang ein Beispiel, wie die Festigkeit gegenüber Zirkonoxid nochmals unter industriellen Herstellungsmethoden gesteigert werden konnte. Dieses Material lässt sich mittels zahntechnischen CAD/CAM-Anlagen aufgrund der hohen Festigkeit nicht mehr wirtschaftlich bearbeiten. Es ist daher ausschließlich für eine industrielle Verarbeitung, z. B. für chirurgische Werkzeuge, Implantate und Wurzelstifte geeignet.

Zukünftige
Hightech-Keramiken

Qualitätssicherung ist ein wichtiges Thema in der Industrie und insbesondere in der Medizintechnik-Branche. Die Metoxit AG wurde bereits 1997 nach ISO 9001:1994 und 2004 nach ISO 9001:2000 zertifiziert. Für den Medizinbereich ist die Firma mit dem Zertifikat der ISO 13485:2003 und der europäischen Richtlinie 93/42/EWG des Anhanges II ausgestattet. Die extrem hohen Anforderungen an die Qualitätssicherung, die für orthopädisch eingesetzte Produkte selbstverständlich beachtet werden müssen, erweisen sich auch für den Bereich der dentalen Keramiken als ausgezeichnete Voraussetzung für hohe Verlässlichkeit und Anwendungssicherheit der von Metoxit hergestellten Produkte.

Qualitätssicherung in der
Produktion

Die Metoxit AG verfügt über ein großes Maß an Know-how auf dem Gebiet von Oxidkeramiken für den medizinischen Einsatz. Aus dieser Materialgruppe gewinnt speziell das Zirkonoxid-TZP, insbesondere in der HIP-Form, seit Mitte der 1990er Jahre an Attraktivität für die restaurative Zahnmedizin. Trotz der aus medizinischer Sicht relativ kurzen klinischen Beobachtungsphase rechtfertigen die bisherigen Ergebnisse den Einsatz, wobei die langjährige Verwendung von Zirkonoxid in der Orthopädie (erfolgreich seit 1985 eingesetzt) eine vorzügliche Referenz abgibt. Die Schweizer Firma ist an der Zusammenarbeit mit Partnern aus der Dentalindustrie interessiert, sowohl für die Herstellung von Medizinprodukten in Form von Fertigteilen als auch als Halbzeuglieferant. Die Metoxit AG hat als Zulieferer ohne Direktvertrieb an den Kunden Zahnarzt und Zahntechniker seit ihrer Gründung 1978 an diesem Prinzip festgehalten. In den meisten Fällen realisiert der Verbraucher nicht, in welcher Produktion der von ihm eingesetzte Werkstoff seinen Ursprung hat. Einige Anbieter von keramischen Hochleistungsprodukten benennen die Metoxit AG als Qualitätsherkunft, um sich von anderen Anbietern abzusetzen sowie zur Dokumentation von Kompetenz und Qualität der Produkte. Wichtig ist dies vor allem im Zusammenhang mit

Diskussion



Vorkommnissen im Jahre 2001, als ein Mitbewerber sich auf Grund von fehlerhaften Produkten aus der Produktion von medizinisch eingesetzten Keramik-Produkten zurückziehen musste. Der Anwender und nicht zuletzt die Patienten müssen sich auf eine standardisierte Qualität in der Herstellung der keramischen Werkstoffe und Produkte verlassen können. Die langjährige Entwicklungsarbeit und Erfahrung der Metoxit AG auf dem Gebiet der Medizinprodukte sind durch zahlreiche Publikationen dokumentiert.^{11-14,21}

Danksagung Der Autor bedankt sich recht herzlich für die Unterstützung bei der Erstellung dieses Manuskriptes bei dem Geschäftsführer der Metoxit AG Dr. W. Weber und dem Mitglied des Verwaltungsrates der Metoxit AG Dr. W. Rieger. Außerdem danke ich Herrn A. Wohlwend für die „historischen“ Abbildungen 6 bis 10 aus seinem Bildarchiv.

- Literatur**
1. Bornemann, G., Rinke, S., Huels, A.: Prospective clinical trial with conventionally luted zirconia-based fixed partial dentures - 18-month results. *J Dent Res* 82, 117 (2003).
 2. Fett, T., Hartlieb, W., Keller, K., Knecht, B., Munz, D., Rieger, W.: Subcritical crack growth in high-grade alumina. *J Nuclear Materials* 184, 39-46 (1991).
 3. Gauckler, L., Kocher, P., Lüthy, H., Schärer, P.: Verfahren zur Herstellung von Zahnkronen und/oder Zahnbrücken. Patentanmeldung Nr.: EP 0 943 295 A1 (1998).
 4. Glauser, R., Sailer, I., Wohlwend, A., Studer, S., Schibli, M., Schärer, P.: Experimental zirconia abutments for implant-supported single-tooth restorations in esthetically demanding regions: 4-years results of a prospective clinical study. *Int J Prosthodont* 17, 285-290 (2004).
 5. Graber, G., Besimo, C.: Das DCS-Hochleistungskeramiksystem. Ein neuer Weg zur computergestützten Herstellung von metallfreien Zirkonoxid-Kronen und -Brücken. *Quintessenz Zahntech* 20, 57-64 (1994).
 6. Keith, O., Kusy, R.P., Whitley, J.Q.: Zirconia brackets: an evaluation of morphology and coefficients of friction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 106, 605-614 (1994).
 7. Luthardt, R., Rieger, W., Musil, R.: Grinding of zirconia-TZP in dentistry - CAD/CAM-technology for the manufacturing of fixed dentures. In: Sedel, L., Rey, C. (Hrsg.): *Bioceramics 10. Proceedings of the 10th international symposium on ceramics in medicine*, Oct. 5-8. Elsevier Science, Oxford, UK 1997, S. 437-440.
 8. Meyenberg, K.H., Lüthy, H., Schärer, P.: Zirconia posts: A new all-ceramic concept for non-vital abutment teeth. *J Esthet Dent* 7, 73-80 (1995).
 9. Pospiech, P.: Clinical evaluation of zirconia-based all-ceramic posterior bridges: two-year results. abstract No. 0817, 81st IADR meeting, S-Göteborg, June, (2003).
 10. Raigrodski, A.J.: Contemporary all-ceramic fixed partial dentures: a review. *Dent Clin N Am* 48, 531-544 (2004).
 11. Rieger, W.: Experience on Zirconia Ceramic Femoral Heads. 6th World Biomaterials Congress, Hawaii, USA, May 2000.
 12. Rieger, W.: Medical applications of ceramics. In: Kistorz, G. (Hrsg.): *High-Tech Ceramics*. Academic Press, London, UK 1989, S. 191-228.
 13. Rieger, W.: Aluminium- und Zirkonoxid-Keramik in der Medizin. *Industrie Diamanten Rundschau* 2, 2-6 (1993).
 14. Rieger, W.: Ceramics in orthopedics-30 years of evolution and experience. In: Rieker, C., Oberholzer, S., Wyss, U. (Hrsg.): *World Tribology Forum in Arthroplasty*. Hans Huber, Bern 2001,
 15. Rinke, S., Jenatschke, R.A.: Clinical performance of all-ceramic cantilever fixed partial dentures-baseline report. *J Dent Res* 82, abstract No. 818 (2003).
 16. Sailer, I., Lüthy, H., Feher, M., Schumacher, M., Schärer, P., Hämmerle, C.: 3-Year clinical results of zirconia posterior fixed partial dentures made by direct ceramic machining (DCM). *J Dent Res* 82, abstract No. 74 (2003).
 17. Sturzenegger, B., Feher, A., Lüthy, H., Schumacher, M., Loeffel, O., Filser, F., Kocher, P., Gauckler, L., Schärer, P.: Klinische Studie von Zirkonoxidbrücken im Seitenzahnggebiet hergestellt mit dem DCM-System. *Acta Med Dent Helv* 12, 131-139 (2000).
 18. Tinschert, J., Natt, G., Hassenpflug, S., Spiekermann, H.: Status of current CAD/CAM technology in dental medicine. *Int J Comput Dent* 7, 25-45 (2004).
 19. Tinschert, J., Natt, G., Latzke, P., Schulze, K., Heussen, N., Spiekermann, H.: Vollkeramische Brücken aus DC-Zirkon - Ein klinisches Konzept mit Erfolg? *DZZ* 60, 435-445 (2005).



20. von Steyern, P., Carlson, P., Nilner, K.: All-ceramic fixed partial dentures designed according to the DC-Zirkon technique. A 2-year clinical study. *J Oral Rehabil* 32, 180-187 (2005).
21. Weber, W., Rieger, W.: ZrO₂-TZP in dentistry: - Material, properties and applications. In: Key engineering materials. Proceedings of the 13th Int. Symp. on Ceramics in Medicine. Bologna, Italy 22.-26. Nov. 2000. Trans Tech Publications, Switzerland, 2001, S. 929-932.
22. Witkowski, S.: (CAD-)/CAM in Dental Technology. *Quintessence Dental Technology - Yearbook USA 2005*, Quintessence Publ., Chicago 28, 169-184 (2005).
23. Wohlwend, A.: Verfahren zur Herstellung zahnprothetischen Rekonstruktionen. Patentanmeldung Nr.: D 195 11 396.9 (1995).
24. Wohlwend, A., Studer, S., Schärer, P.: Das Zirkonoxidabutment - ein neues vollkeramisches Konzept zur ästhetischen Verbesserung der Suprastruktur in der Implantologie. *Quintessenz Zahntech* 22, 364-381 (1996).

Siegbert Witkowski, ZTM, Laborleiter
Universitätsklinikum Freiburg, Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,
Abteilung für Zahnärztliche Prothetik (Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. J. R. Strub)
Hugstetter Straße 55, 79106 Freiburg
E-Mail: siegbert.witkowski@uniklinik-freiburg.de

Adresse des Verfassers