Foto: AG Keramik

Neue Keramikwerkstoffe mit schmelzähnlichen Eigenschaften

Biomechanik spiegelt die Natur

Zahnmedizinische Restaurationswerkstoffe haben ein umfangreiches Anforderungsprofil zu erfüllen. Auf einen Nenner gebracht, muss das Material mechanisch stabil, ästhetisch anspruchsvoll, korrosionsresistent, biologisch verträglich und wirtschaftlich sein [10].

Außerdem haben Restaurationswerkstoffe als Zahnersatzmaterial einen biomimetischen Auftrag: Sie sollen biologische Strukturen nachbilden und dadurch Dentin und Schmelz ersetzen, das heißt, Eigenschaften der Natur auf die Technik übertragen. Hierbei müssen die Bauprinzipien natürlicher Organismen – wie Pulpa, Dentintubuli, Hydroxylapatit, Odontoblasten, Gingiva, Alveolarknochen – weitgehend geschont beziehungsweise erhalten werden. Um den Zahn möglichst exakt zu reproduzieren, müssen neben dem Aufbau eines natürlichen Zahns auch dessen Biomechanik, Funktion und Ästhetik in ihrem Zusammenspiel bekannt sein [15].

Ein elementarer Aspekt ist die Relation zwischen Festigkeit und Elastizität. Es zeigte sich in Bruchfestigkeits-Untersuchungen [24], dass Zähne mit festen und widerstandsfähigen, natürlichen Kronen in Relation zu plastischen oder keramischen Restaurationen sehr hoch belastbar sind. Aufgrund der mangelnden Elastizität bei Versagen der Restauration kommt es häufig zu Wurzelfrakturen, die eine sehr aufwendige Versorgung nach sich ziehen. Es ist zu hinterfragen, ob das Erreichen einer maximalen Festigkeit wirklich sinnvoll ist. Die Elastizität eines natürlichen Zahns bietet durch die Absorption von einwirkenden Kräften einen relativen Schutz [11]. Diese Eigenschaft ist auf den Dentinkern zurückzuführen. Eine zunehmende Elastizität bedingt allerdings ab einem bestimmten Punkt eine Einschränkung in der Funktion, wenn die Struktur zu flexibel wird. Folglich ist ein festes Stützgerüst nötig, das die erforderliche Stabilität besitzt. Der natürliche Schmelzmantel erfüllt diese Anforderung aufgrund seiner Härte und Festigkeit optimal.

Biomimetische Eigenschaften gefordert

Alle in der Zahnheilkunde verwendeten Materialien für konservierende und prothetische Restaurationen weisen materialspezifische Eigenschaften auf, die bisweilen auch Kompromisse erfordern. Eine Vereinigung aller Anforderungen in einem einzigen Werkstoff gibt es bisher nicht, aber es gibt Perspektiven [1]. Unverblendete Metalle scheiden für Restaurationen in ästhetisch anspruchsvollen Regionen aus; Kunststoffe verfügen in der Regel bei hohen Kaukräften nicht über die erforderliche Biegezugfestigkeit und Abrasionsbeständigkeit, außer für temporäre Versorgungen. Deshalb ist Keramik häufig die erste Wahl in Praxis und ZT-Labor. Moderne, industriell gefertigte Dentalkeramiken weisen ein äußerst homogenes Gefüge auf und sind der manuell geschichteten Sinterkeramik mechanisch überlegen.

Die Wertigkeit keramischer Werkstoffe wird weitgehend über die Biegezugfestigkeit bestimmt. Je höher die Biegezugfestigkeit, desto geeigneter für kaudruckbelastete Restaurationen oder bei Bruxismus – so die landläufige Meinung. Es sollte uns jedoch zu denken geben, dass der Mensch von Natur aus mit Zähnen ausgestattet ist, die unter dem Aspekt der Biegezugfestigkeit bescheidene physikalische Werte aufweisen. So erreicht das Dentin eine Biegezugfestigkeit von 200–350 MPa (MegaPascal), der Zahnschmelz 300–400 MPa. Diese Werte lassen sich mit konventionellen Silikatkeramiken und Adhäsivtechnik leicht erreichen. Die Belastbarkeit und die klinische Langzeitverlässlichkeit einer Keramik werden im Wesentlichen vom Weibull-Modul und von der Spannungsintensität (K2-Wert) vertreten. Der Weibull bestimmt die Materialermüdung und der K2-Wert die Bruchzähigkeit.

Eine weitere, entscheidende Kenngröße ist der Zusammenhang von Spannung und Dehnung eines festen Körpers, zum Beispiel unter Kaudruckbelastung – beschrieben durch das Elastizitäts-Modul (E-Modul). Damit ist das E-Modul ein Materialwert, der die Verformung bei linear elastischem Verhalten erfasst. Das E-Modul ist umso größer, je mehr Widerstand ein Material seiner elastischen Verformung entgegensetzt. Spannungen im Werkstoff hängen von der Last (einwirkende Kraft) und von der Geometrie der Restauration ab (Kraft pro Fläche). Werkstoffe mit niedrigem E-Modul können dazu führen, dass Spannungen im Bauteil reduziert werden [1, 13].

Demzufolge erfüllt das biologische System Zahn und Zahnhalteapparat zwar nicht die Kriterien einer hohen Biegezugfestigkeit – hat jedoch durch die resiliente Verankerung mittels Sharpey'scher Fasern und der biologischen Verbundmatrix (Schmelz, Dentin) ein niedriges E-Modul. Damit sprechen die biologischen und mechanischen Kriterien für ein Verbundsystem als Restaurationskonzept [12].

Oberflächenhart oder stoßdämpfend?

Grundsätzlich stehen uns im nichtmetallischen Bereich für die konservierende und prothetische Restauration sehr unterschiedliche Werkstoffe zur Verfügung: Polymere, ungefülltes und verstärktes PEEK (Polyetheretherketon), leuzitverstärkte Silikatkeramik, Lithiumdisilikat, Aluminiumoxid, Zirkoniumdioxid. Die Kriterien wie Härte, Biegezugfestigkeit, Weibull-Verteilung, Risszähigkeit, Elastizität und Resilienz zeigen jeweils unterschiedliche Werte. Entscheidend ist, wie wir diese Eigenschaften vom physikalischen Standpunkt aus bewerten. Trotz guter klinischer Erfahrungen beim differenzierten, indikationsbezogenen Einsatz dieser Werkstoffe stellt sich die Frage, ob es nicht angebracht ist, Resilienz in Form von Materialien mit niedrigeren E-Moduli in das starre Rekonstruktionssystem einzubringen, um Überlastungen im Zahn und in der Restauration zu vermeiden.

Auch die Erkenntnis, dass immer mehr Patienten mit Bruxismus identifiziert werden, fordert zu neuen Überlegungen heraus [4]. So zeigen neue Studien, dass Materialien mit niedrigem E-Modul (polymerhaltige Keramik) für implantatgetragene Abutments und Kronen die gleiche klinische Haltbarkeit aufweisen wie Zirkoniumdioxid [16]. Das biomimetische Konzept steht somit nicht für das Anstreben der starrsten beziehungsweise härtesten Zahnrekonstruktion, sondern für ein Verbundsystem, das die natürlichen Verhältnisse des Zahns wieder herstellt.

Web-Tipp
Hier finden Sie einen Bericht darüber, was Schlifffacetten über den Biss verraten.
bit.ly/2lXGcgG.

Neue Keramikwerkstoffe mit schmelzähnlichen Eigenschaften

Biomechanik spiegelt die

Zahnmedizinische Restaurationswerkstoffe haben ein umfangreiches Anforderungsprofil zu erfüllen. Auf einen Nenner gebracht, muss das Material mechanisch stabil, ästhetisch anspruchsvoll, korrosionsresistent, biologisch verträglich und wirtschaftlich sein [10].

Außerdem haben Restaurationswerkstoffe als Zahnersatzmaterial einen biomimetischen Auftrag: Sie sollen biologische Strukturen nachbilden und dadurch Dentin und Schmelz ersetzen, das heißt, Eigenschaften der Natur auf die Technik übertragen. Hierbei müssen die Bauprinzipien natürlicher Organismen – wie Pulpa, Dentintubuli, Hydroxylapatit, Odontoblasten, Gingiva, Alveolarknochen – weitgehend geschont beziehungsweise erhalten werden. Um den Zahn möglichst exakt zu reproduzieren, müssen neben dem Aufbau eines natürlichen Zahns auch dessen Biomechanik, Funktion und Ästhetik in ihrem Zusammenspiel bekannt sein [15].

Ein elementarer Aspekt ist die Relation zwischen Festigkeit und Elastizität. Es zeigte sich in Bruchfestigkeits-Untersuchungen [24], dass Zähne mit festen und widerstandsfähigen, natürlichen Kronen in Relation zu plastischen oder keramischen Restaurationen sehr hoch belastbar sind. Aufgrund der mangelnden Elastizität bei Versagen der Restauration kommt es häufig zu Wurzelfrakturen, die eine sehr aufwendige Versorgung nach sich ziehen. Es ist zu hinterfragen, ob das Erreichen einer maximalen Festigkeit wirklich sinnvoll ist. Die Elastizität eines natürlichen Zahns bietet durch die Absorption von einwirkenden Kräften einen relativen Schutz [11]. Diese Eigenschaft ist auf den Dentinkern zurückzuführen. Eine zunehmende Elastizität bedingt allerdings ab einem bestimmten Punkt eine Einschränkung in der Funktion, wenn die Struktur zu flexibel wird. Folglich ist ein festes Stützgerüst nötig, das die erforderliche Stabilität besitzt. Der natürliche Schmelzmantel erfüllt diese Anforderung aufgrund seiner Härte und Festigkeit optimal.

Biomimetische Eigenschaften gefordert

Alle in der Zahnheilkunde verwendeten Materialien für konservierende und prothetische Restaurationen weisen materialspezifische Eigenschaften auf, die bisweilen auch Kompromisse erfordern. Eine Vereinigung aller Anforderungen in einem einzigen Werkstoff gibt es bisher nicht, aber es gibt Perspektiven [1]. Unverblendete Metalle scheiden für Restaurationen in ästhetisch anspruchsvollen Regionen aus; Kunststoffe verfü-

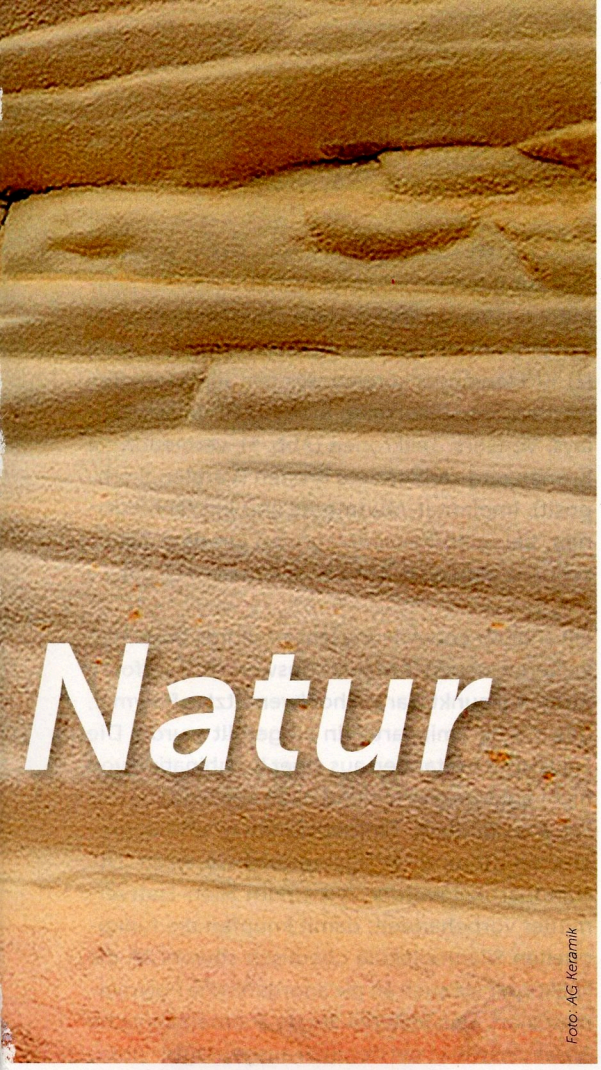

Foto: AG Keramik

gen in der Regel bei hohen Kaukräften nicht über die erforderliche Biegezugfestigkeit und Abrasionsbeständigkeit, außer für temporäre Versorgungen. Deshalb ist Keramik häufig die erste Wahl in Praxis und ZT-Labor. Moderne, industriell gefertigte Dentalkeramiken weisen ein äußerst homogenes Gefüge auf und sind der manuell geschichteten Sinterkeramik mechanisch überlegen.

Die Wertigkeit keramischer Werkstoffe wird weitgehend über die Biegezugfestigkeit bestimmt. Je höher die Biegezugfestigkeit, desto geeigneter für kaudruckbelastete Restaurationen oder bei Bruxismus – so die landläufige Meinung. Es sollte uns jedoch zu denken geben, dass der Mensch von Natur aus mit Zähnen ausgestattet ist, die unter dem Aspekt der Biegezugfestigkeit bescheidene physikalische Werte aufweisen. So erreicht das Dentin eine Biegezugfestigkeit von 200–350 MPa (MegaPascal), der Zahnschmelz 300–400 MPa. Diese Werte lassen sich mit konventionellen Silikatkeramiken und Adhäsivtechnik leicht erreichen. Die Belastbarkeit und die klinische Langzeitverlässlichkeit einer Keramik werden im Wesentlichen vom Weibull-Modul und von der Spannungsintensität (K2-Wert) vertreten. Der Weibull bestimmt die Materialermüdung und der K2-Wert die Bruchzähigkeit.

Eine weitere, entscheidende Kenngröße ist der Zusammenhang von Spannung und Dehnung eines festen Körpers, zum Beispiel unter Kaudruckbelastung – beschrieben durch das Elastizitäts-Modul (E-Modul). Damit ist das E-Modul ein Materialwert, der die Verformung bei linear elastischem Verhalten erfasst. Das E-Modul ist umso größer, je mehr Widerstand ein Material seiner elastischen Verformung entgegensetzt. Spannungen im Werkstoff hängen von der Last (einwirkende Kraft) und von der Geometrie der Restauration ab (Kraft pro Fläche). Werkstoffe mit niedrigem E-Modul können dazu führen, dass Spannungen im Bauteil reduziert werden [1, 13].

Demzufolge erfüllt das biologische System Zahn und Zahnhalteapparat zwar nicht die Kriterien einer hohen Biegezugfestigkeit – hat jedoch durch die resiliente Verankerung mittels Sharpey'scher Fasern und der biologischen Verbundmatrix (Schmelz, Dentin) ein niedriges E-Modul. Damit sprechen die biologischen und mechanischen Kriterien für ein Verbundsystem als Restaurationskonzept [12].

Oberflächenhart oder stoßdämpfend?

Grundsätzlich stehen uns im nichtmetallischen Bereich für die konservierende und prothetische Restauration sehr unterschiedliche Werkstoffe zur Verfügung: Polymere, ungefülltes und verstärktes PEEK (Polyetheretherketon), leuzitverstärkte Silikatkeramik, Lithiumdisilikat, Aluminiumoxid, Zirkoniumdioxid. Die Kriterien wie Härte, Biegezugfestigkeit, Weibull-Verteilung, Risszähigkeit, Elastizität und Resilienz zeigen jeweils unterschiedliche Werte. Entscheidend ist, wie wir diese Eigenschaften vom physikalischen Standpunkt aus bewerten. Trotz guter klinischer Erfahrungen beim differenzierten, indikationsbezogenen Einsatz dieser Werkstoffe stellt sich die Frage, ob es nicht angebracht ist, Resilienz in Form von Materialien mit niedrigeren E-Moduli in das starre Rekonstruktionssystem einzubringen, um Überlastungen im Zahn und in der Restauration zu vermeiden.

Auch die Erkenntnis, dass immer mehr Patienten mit Bruxismus identifiziert werden, fordert zu neuen Überlegungen heraus [4]. So zeigen neue Studien, dass Materialien mit niedrigem E-Modul (polymerhaltige Keramik) für implantatgetragene Abutments und Kronen die gleiche klinische Haltbarkeit aufweisen wie Zirkoniumdioxid [16]. Das biomimetische Konzept steht somit nicht für das Anstreben der starrsten beziehungsweise härtesten Zahnrekonstruktion, sondern für ein Verbundsystem, das die natürlichen Verhältnisse des Zahns wieder herstellt.

Web-Tipp
Hier finden Sie einen Bericht darüber, was Schlifffacetten über den Biss verraten.
bit.ly/2lXGcgG.

„Multitalent" mit biomechanischem Verhalten

Den Vorteilen vieler Keramikwerkstoffe mit ihrem hohen ästhetischen Potenzial, der hohen Druckfestigkeit und der langjährigen klinischen Bewährung stehen typische Eigenschaften wie Sprödigkeit, Empfindlichkeit gegen Zugspannungen und Anfälligkeit gegen Oberflächenbeschädigungen gegenüber. Dies geht einher mit E-Modul-Werten über 50 GPa (GigaPascal). Polymere und Kompositmaterialien weisen hingegen ein niedriges E-Modul aus, meist unter 15 GPa – sind also elastischer und absorbieren Kaukräfte stärker aufgrund der elastischen Verformung. Mit der Entwicklung von Hybrid- und Verbundwerkstoffen wurden die Vorteile der beiden Materialklassen Keramik und Kunststoff zu einem „Multitalent" verschmolzen. Im Mittelpunkt stand das Ziel, unter weitgehender Beibehaltung der Vorteile keramischer Materialien die E-Moduli in den Korridor von Dentin und Schmelz zu verlegen. Damit sollte die Attrition „parallel" mit der natürlichen Zahnhartsubstanz einhergehen [18]. Andererseits sollte die Biegezugfestigkeit im höherwertigen Belastungsbereich liegen, um auch für Seitenzahnrestaurationen qualifiziert zu sein.

Eine neue Erfahrung bot die Resilienz-Fähigkeit der polymerhaltigen Keramik. Dadurch, dass sich der Körper unter Druck linear verformt, ohne Stabilität zu verlieren, scheint der Werkstoff für Molarenrestaurationen geeignet zu sein, hohe Kaukräfte zu absorbieren. Waren bisher verblendete, implantatgetragene Kronen auf ZrO_2-Gerüst einem erheblichen Chippingrisiko ausgesetzt – ausgelöst durch die fehlende Eigenbeweglichkeit und die verminderte Taktilität der osseointegrierten Implantatpfeiler –, zeigen In-vitro-Tests mit polymerhaltigen Keramiken eine „stoßdämpfende" Wirkung und wahrscheinlich eine Eignung für diese Indikation [16, 17].

Materialkenndaten und Indikationen

Die Hybridkeramik enthält eine duale Keramik-Polymer-Struktur, bestehend aus einem gitterähnlichen Keramiknetzwerk aus Feldspatkeramik (*Enamic*, Vita Zahnfabrik). In die poröse Keramikstruktur wird werkseitig ein Polymernetzwerk infiltriert, das thermisch ausgehärtet wird. Das Polymernetzwerk bildet mit der silanisierten Keramik einen adhäsiven, interpenetrierenden Verbund. Das Elastizitätsmodul von 30 GigaPascal (GPa) liegt zwischen Dentin und Schmelz. Mit 160 MPa Biegezugfestigkeit kann der Werkstoff hohe Kaukräfte kompensieren [19]. Die Schichtstärke kann okklusal auf 1,0 mm, approximal auf 0,8 mm reduziert werden. Hierbei nehmen die Wandstärke und die Oberflächenrauigkeit Einfluss auf die Transluzenz der Restauration [2]. Kronenränder können sehr fein ausgeschliffen werden. Herstellerseitig indiziert für Inlays, Onlays, Veneers, Teilkronen **(Abb. 1)**, verblendfreie Kronen und verblendete Kronen (Verblendkomposit), Implantat-Abutments und Implantatkronen, belegten Kausimulationen ein dem Zahnschmelz ähnliches Abrasionsverhalten [7, 19].

Ein anderer Entwicklungsansatz wurde bei einem weiteren, neuen Restaurationswerkstoff verfolgt. Ausgangspunkt war ein hochvernetztes Polymer, das mit Keramikpartikeln aufgefüllt wurde. Die Füllkörper bestanden aus einer Kombination von nicht agglomerierten und nicht aggregierten Siliziumoxidfüllern, Zirkonoxidfüllern und aggregierten Zirkonoxid/Siliziumoxid-Clustern. Die Nanopartikel wurden mit einem Silan-Haftvermittler vorbehandelt; damit knüpfen die funktionellen Silanmoleküle chemisch sowohl an die Füllkörper als auch an die anorganische Polymermatrix an. Das Material zeigte schmelzähnliche Abrasionswerte bei deutlich ausgeprägter Antagonistenschonung im Vergleich zur Keramik [6]. Das E-Modul entsprach mit 15 GPa dem Dentin; die Biegezugfestigkeit mit 204 MPa war doppelt so hoch wie bei der klassischen Feldspatkeramik.

Die Resilienz von -1,7 MPa zeigte, dass eingeleitete Kaukräfte vom E-Modul absorbiert werden [3]. Eine Einschränkung ist, dass mit dieser Verbundkeramik bislang kein schichtweiser Farbverlauf verwirklicht werden kann, um Farb- und Transparenzübergänge zu simulieren. Untersuchungen zeigten, dass Restaurationswände feiner und ohne das Risiko von Kantenausbrüchen ausgeschliffen werden können [9]. Die Konditionierung erfordert das Abstrahlen der Restauration mit Korund (Al_2O_3), Silanisierung und die adhäsive Befestigung [23]. Nanoresin-Verbundkeramik (*Lava Ultimate*, 3M Espe) ist indiziert für Inlays, Onlays, Veneers, Teilkronen **(Abb. 2)**. Die Abrasion ist schmelzähnlich [5, 22]. Die Befestigungstechnik für Kronen wird noch reevaluiert [8, 14].

Silikatkeramik mit Zirkonverstärkung

Transluzenz und Festigkeit wurden in den neuen Lithiumsilikat-Glaskeramiken (ZLS) optimiert. Die Kombination von dispers verteilten, feinen Lithiumsilikat- und Phosphatkristallen sowie amorph in der Glasphase gelöstem Zirkoniumdioxid hat eine höhere Glasphase im Vergleich zum reinen Lithiumdisilikat zur Folge. Nach Herstelleranga-

IDS

AG Keramik
ag-keramik.de
Passage Halle 10,
Halle 11, V4

Abb. 1: FZ-Krone aus Hybridkeramik Regio 11, 21 mit individualisierter Textur und natürlicher Transparenz. Eine ineffiziente Metallkrone wurde ersetzt, ein Diastema geschlossen. Foto: Devigus

Abb. 2: Einprobe einer Teilkrone, Cerec-gefertigt aus Nano-Resin-Keramik (Lava Ultimate) vor der Politur. Die Befestigung erfolgt mit RelyX Ultimate in Kombination mit Scotchbond Universal. Foto: Ernst

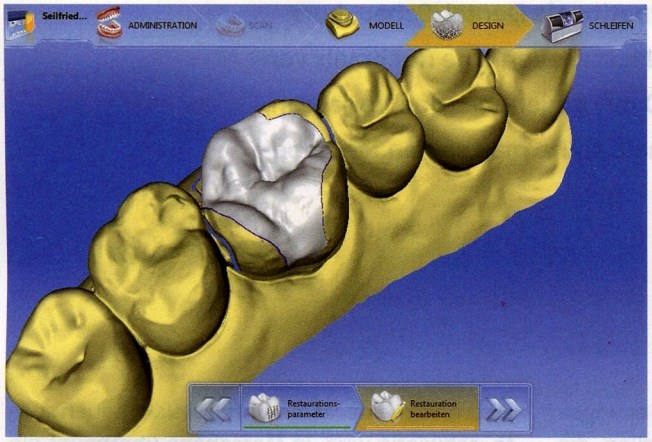

Abb. 3: Virtuelle Konstruktion für ein Onlay Regio 26 aus zirkonverstärktem Lithiumsilikat (Celtra Duo). Die reduzierte Restzahnstärke macht eine selektive Höckerüberkuppelung distovestibulär erforderlich.

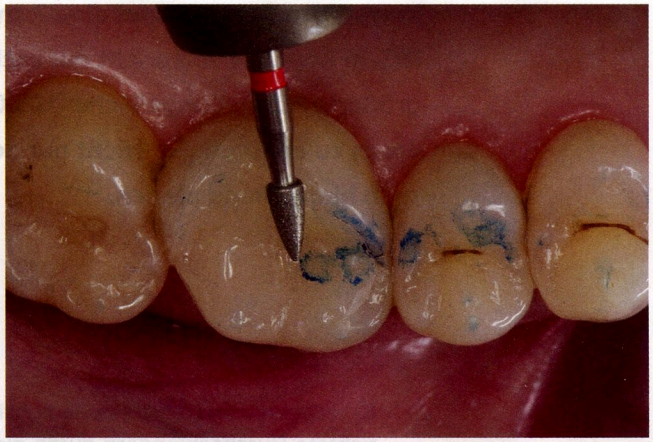

Abb. 4: Okklusale Adjustierung des Onlays mit Finierdiamant nach adhäsiver Befestigung mit Etch&Rinse und dualhärtendem Bonding (Prime& Bond XP + SCA, Dentsply). Fotos: Rinke

ben (*Celtra Duo,* Celtra Press, Dentsply-Sirona; *Suprinity,* Vita Zahnfabrik) ist dies die Grundlage für günstigere, optische Eigenschaften im Bereich von 500-700 nm (Nanometer), die im Lichtleitverhalten noch näher an den Zahnschmelz herankommt und den „Chamäleoneffekt" ermöglicht. Mit der ZrO_2-Zugabe wird eine Biegebruchfestigkeit von 350-420 MPa erreicht, vergleichbar mit Lithiumdisilikat. Das E-Modul mit 70 GPa liegt etwa auf Schmelz-Niveau [20, 21].

Mit den ZLS-Keramiken stehen effiziente Verfahren zur Herstellung monolithischer Kronen zur Verfügung, mit denen sich aufgrund der guten, lichtoptischen Eigenschaften in den meisten Fällen leichter ästhetische Ergebnisse erzielen lassen als dies mit monolitischen ZrO_2-Restaurationen möglich ist [8]. Berücksichtigt werden muss jedoch, dass ZLS-Restaurationen eine höhere Mindestmaterialstärke erfordern (1,0–1,5 mm) als solche aus ZrO_2. Indikationen sind: Inlays, Onlays, Teilkronen, Veneers, Frontzahn- und Seitenzahn-Kronen **(Abb. 3 und 4)** und laut Herstellerangaben auch Implantat-Suprakonstruktionen. Mittel- und langfristige Daten zur klinischen Bewährung von ZLS-Keramiken stehen noch aus.

Auf einen Blick

Die „neuen Werkstoffe" haben es verstanden, den Brückenschlag zwischen den Antipoden Elastizität und Festigkeit zu schaffen, die Verformbarkeit unter Druck mit der mechanischen Stabilität zu vereinen, ohne risikobehaftete Kompromisse eingehen zu müssen. E-Moduli und Abrasivität liegen im Korridor von Schmelz und Dentin. Damit kann die Attrition „parallel" zur natürlichen Zahnhartsubstanz einhergehen. Zirkoniumdioxidverstärktes Lithiumsilikat bietet mehr Festigkeit ohne ästhetische Kompromisse. Obwohl für die neuen Werkstoffe noch keine universitären Langzeitstudien vorliegen, erlauben klinische Ergebnisse aus der Praxis gute Prognosen für den Dauereinsatz.

Manfred Kern, AG Keramik, Ettlingen

Das Literaturverzeichnis kann beim Verfasser angefordert werden: kern.ag-keramik@t-online.de

„Biomechanik spiegelt die Natur“

DZW Kompakt No 1/2017

Literatur:

[1] Arnetzl G: Neue Materialien, neue Perspektiven. Zahntech Mag 2015; 19(1): 18-25

[2] Awad D, Stawarczyk B, Liebermann A, Ilie N: Translucency of esthetic dental restorative CAD/CAM materials and composite resins with respect to thickness and surface roughness. J Prosthet Dent 2015; 113(6): 534-540

[3] Awada A, Nathanson D: Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. J Prosthet Dent 2015; pii S0022-3919, Epub ahead of print

[4] Beier US, Kapferer I, Dumfahrt H: Clinical long-term evaluation and failure characteristics of 1,335 all-ceramic restorations. Int J Prosthodont 2012; 25: 70-78

[5] Bonfante EA, Suzuki M, Lorenzoni FC, Sena LA, Hirate R, Bonfante G, Coelho PG: Probability of survival of implant-supported metal ceramic and CAD/CAM resin nano-ceramic crowns. Dent Mater 2015; 31(8): 168-177

[6] Ernst CP: Adhäsive Teilkronen im erosiv-parafunktional geschädigtem Gebiss. ZMK 2013; 29(1): 50-53

[7] Frankenberger R, Hartmann VE, Krech M, Krämer N, Reich S, Braun A, Roggendorf M: Adhesive luting of new CAD/CAM materials. Int J Comp Dent 2015; 18(1): 9-20

[8] Fasbinder DJ, Neiva GF, Dennison JB, Heys D, Heys R: One year evaluation of CAD/CAM nano-ceramic and leucite-reinforced onlays. Referat IADR convention March 20, 2014

[9] Fasbinder DJ: Treatment concept with CAD/CAM-fabricated high-density polymer temporary restorations. J Esthet Restor Dent 2012; 24: 319-320

[10] Fischer J: Für jede Indikation das richtige Material. Quintessenz ZT 2014; 40(11): 1430-1432

[11] Gordon J: Structures - Why things don´t fall down. Strain energy and modern fracture mechanics. Da Capo Press, New York 1978; 70-109

[12] Kern M, Beuer F, Frankenberger R, Kohal RJ, Kunzelmann KH, Mehl A, Pospiech P, Reiss B: Neue Werkstoffe und Verarbeitungssysteme – aus: Vollkeramik auf einen Blick, 6. Auflage 2015; ISBN 978-3-9817012-0-3: p 100-107

[13] Koller M, Arnetzl GV, Holly L, Arnetzl G: Lava ultimate resin nano ceramic for CAD/CAM: customization case study. Int J Comp Dent 2012; 15: 159-164

[14] Lawson NC, Burgess JO: Gloss und stain restistance of ceramic-polymer CAD/CAM restoratives. J Esthet Restor Dent 2015; doi 10.1111, Epub ahead of print

[15] Magne P, Belser UC: Adhäsiv befestigte Keramikrestaurationen. Quintessenz Verlag Berlin 2002; 23-52.

[16] Magne P, Silva M, Oderich E, Boff LL, Enciso R: Damping behavior of implant-supported Restorations. Clin Oral Implants Res 2013; 24: 143-148

[17] Menini M, Conserva E, Tealdo T, Bevilacqua M, Pera F, Signori A, Pera P: Shock absorption capacity of restorative materials for dental implant prostheses – an in vitro study. Int J Prosthodont 2013; 26: 549-556

[18] Mörmann W: Ein neuer Keramik-Polymer-Hybridwerkstoff für CAD/CAM. Zahntech Mag 2013; 17: 130-131

[19] Mörmann WH, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A: Wear characteristics of current aesthetic dental restoratives CAD/CAM Materials – two-body, gloss retention, roughness and martens hardness: J Behav Biomed Mater 2013; 20: 113-125

[20] Rinke S, Schäfer S, Schmidt AK: Einsatzmöglichkeiten zirkonoxidverstärkter Lithiumsilikat-Keramiken. Quintessenz Zahntech 2014; 40(5): 536-546

[21] Rinke S, Schäfer S: Zirkonoxidverstärkte Silikatkeramik in der Anwendung. Digital Dentistry 2014; 2: 22-27

[22] Rusin RP, Rolf C, Boehmer RA, Christen WE, Russel VA, Normann CF: Schlagfestigkeit eines neuen Resin-Nanokeramik CAD/CAM-Materials. Dent Mater 2012; 28 Suppl 1

[23] Spitznagel FA, Horvath SD, Guess PC, Blatz MB: Resin bond to indirect composite and new ceramic-polymer materials: a review of the literature. J Esthet Restor Dent 2014; 26(6): 382-393

[24] Stokes AN, Hood JA: Impact fracture patterns of intact and restored human maxillary central incisors. Int J Prosthodont 1988; 1(2): 208-210

Redaktion:
Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V.
Manfred Kern, Schriftführung
eMail: kern.ag-keramik@t-online.de www.ag-keramik.de

März 2017