



# Werkstoff, Werkzeug, Workflow

Zirkonoxidbearbeitung im Laboralltag

ANNETT KIESCHNICK



## Zusammenfassung

Die Bearbeitung von Zirkonoxidrestorationen ist eine anspruchsvolle Aufgabe im zahntechnischen Workflow. Trotz hochentwickelter Werkstoffe und präziser CAD/CAM-Technologien bleibt die manuelle Nachbearbeitung ein kritischer Faktor. Die hier vorgestellte Analyse – eine Kooperation des Zirkonoxidexperten Dental Direkt und des Werkzeugspezialisten Komet Dental – beleuchtet das Zusammenspiel zwischen Werkstoffstruktur, Werkzeugtechnologie und Bearbeitungsparametern.

## Indizes

Zirkonoxid, Anpressdruck, Oberfläche, Politur, rotierende Werkzeuge, Werkzeugtechnologie, Drehzahl, Dental Direkt, Komet Dental

## Einleitung

Einige Mikrometer – unsichtbar für das bloße Auge und kleiner als ein menschliches Haar – so klein kann der Oberflächendefekt sein, der Jahre später zum Versagen einer Zirkonoxidrestauration führt. Was im Laboralltag wie routinierte Nachbearbeitung erscheint, ist in Wahrheit ein hochsensibler werkstoffwissenschaftlicher Prozess (Abb. 1). Die Korngröße von dentalem Zirkonoxid liegt meist unter  $0,6\ \mu\text{m}$  – Defekte in dieser Größenordnung gelten als kritisch. Selbst kleinste Mikrorisse können also die Festigkeit und Langzeitstabilität erheblich beeinträchtigen.

Neben der modernen Werkstoffentwicklung braucht es deshalb vor allem eines: definierte Bearbeitungsstrategien. Denn was nützt der beste Werkstoff, wenn bei der Nachbearbeitung Unsicherheit herrscht? Zahntechnikerinnen und Zahntechniker stehen fast täglich vor Fragen wie: Welches Werkzeug passt zu welchem Zirkonoxid? Welche Drehzahl ist geeignet? Mit wie viel Druck soll gearbeitet werden? Oft entscheiden Erfah-

rung und Bauchgefühl. Der Zeitdruck im Laboralltag verstärkt die Tendenz, auf bewährte Routinen zu setzen. Doch bei den komplexen Werkstoffen reicht das oft nicht aus. Umso wichtiger sind praktikable, wissenschaftlich fundierte Anwendungsempfehlungen – wie etwa der cubeGuide von Dental Direkt (Abb. 2).

## Zirkonoxidgenerationen im Überblick

Die Entwicklung dentaler Zirkonoxide lässt sich in Generationen unterteilen, die sich hauptsächlich durch den Anteil an Yttriumoxid (z. B. 3Y, 4Y) und Aluminiumoxid unterscheiden. Die Variation der Zusammensetzung beeinflusst die kristalline Struktur des Werkstoffs und damit die mechanischen sowie optischen Eigenschaften. Konventionelles 3Y-TZP-Zirkonoxid der ersten Generation zeichnet sich durch hohe Biegefestigkeit bei geringer Transluzenz aus. Die zweite Generation (ebenfalls ein 3Y-TZP) reduziert den Aluminiumoxidgehalt, was zu verbesserter Transluzenz bei erhaltener Festigkeit führt. 5Y-



1



2

**Abb. 1** Die Bearbeitung von Zirkonoxidrestorationen ist eine anspruchsvolle Aufgabe im zahntechnischen Workflow. Frontzahnkrone aus DD cube Y, Dental Direkt (zahntechnische Umsetzung: Benjamin Mumos). **Abb. 2** CubeGuide als Anwendungshilfe für die Zirkonoxidverarbeitung: Werkstoff-Know-how (Fa. Dental Direkt, Spenge) trifft auf Werkzeug-Expertise (Fa. Komet, Lemgo).



**Abb. 3 und 4** Bearbeitung einer monolithischen Zirkonoxidrestauration (DD cube HL) im Weißlingszustand: Ausarbeiten mit Hartmetallfräsern. **Abb. 5** Bearbeiten nach dem Sintern mit einem diamantierten Schleifkörper (DCB-ETNA-Schleifer). **Abb. 6** Ausarbeiten okklusaler Feinheiten mit einem Zr-Schleifer unter Wasserkühlung.



TZP-Zirkonoxid der dritten Generation enthält 5 Mol.-% Yttrium mit bis zu 53 % kubischer Phase, resultierend in höherer Transluzenz, aber reduzierter mechanischer Festigkeit. Die vierte Generation mit 4Y-TZP-Materialien bildet einen „Kompromiss“ zwischen beiden Eigenschaften. Die oft als fünfte Generation bezeichneten Hybridlayer kombinieren verschiedene Y-Zirkonoxid-Typen in einem Rohling. Beispielsweise sorgt bei DD cubeY HL (Fa. Dental Direkt, Spenge) ein 5Y-TZP im Inzisalbereich für eine hohe Transluzenz, während 3Y-TZP im Bodybereich die notwendige Stabilität gewährleistet.

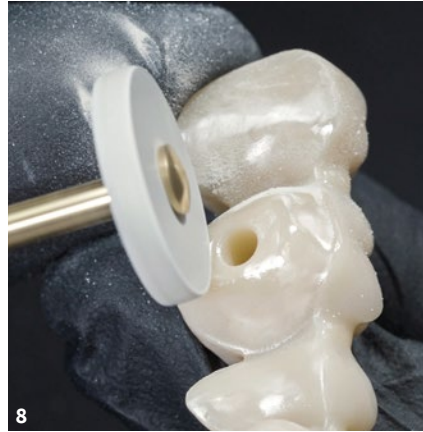
### Materialschäden durch unsachgemäße Bearbeitung

Während moderne Zirkonoxide nahezu ausgereift scheinen, stehen Zahntechniker vor der Herausforderung, die komplexen Werkstoffe optimal zu bearbeiten. Termindruck, Variantenvielfalt und die Vielzahl verfügbarer Werkzeuge erschweren die Umsetzung materialspezifischer Parameter. Scheinbar geringfügige Abweichungen bei der Oberflächenbearbeitung können jedoch zu irreversiblen Materialschäden führen. Lokale Überhitzung, zu hoher Anpressdruck oder falsche Werkzeuge begünstigen die

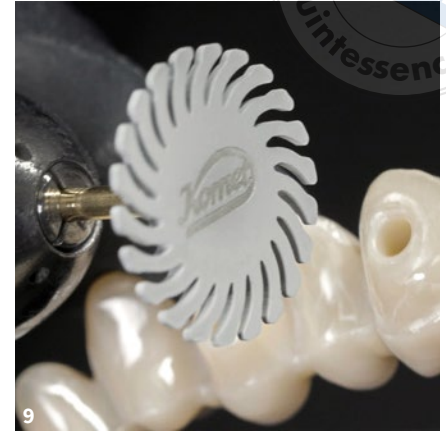
ses Risiko. Christina Voß, Leiterin F & E bei Dental Direkt, erklärt: „Gesintertes Zirkonoxid zeigt eine reduzierte Toleranz gegenüber Bearbeitungsfehlern. Bereits feine Parameterabweichungen können zu kritischen Oberflächendefekten führen und die Langzeitstabilität kompromittieren.“ Diese Sensibilität zeigt sich in verschiedenen Szenarien: Aggressive Bearbeitung und übermäßige Hitze kann Phasenumwandlungen auslösen und zu hoher Anpressdruck induziert Mikrorisse. Alle diese Defekte beeinträchtigen die Oberflächenintegrität und erhöhen nach dem „Weakest Link“-Prinzip die Versagenswahrscheinlichkeit (Abb. 3 bis 6).



7



8



9

**Abb. 7 und 8** Politur der Restauration (DD cubeY HL) mit zweistufigem Poliersystem für Vollkeramiken (ETNA)– erst rot (Vorpolitur), dann grau (Hochglanzpolitur). **Abb. 9** Spiralpolierer zur Vor- und Hochglanzpolitur: Die flexible Form passt sich der Oberflächenkontur an.



### „Weakest Link“-Prinzip

Wie bei einer Kette bestimmt der schwächste Punkt die Festigkeit des Ganzen. Bereits ein einziger kritischer Defekt – z. B. ein Mikroriss – kann langfristig zum Versagen der Restauration führen. Besonders kritisch sind Bereiche mit hohen mechanischen Belastungen: Brückenverbinder, Kronenränder und Kontaktpunkte. Hier können selbst kleine, zunächst unkritische Risse durch Feuchtigkeit und Kaubelastung weiterwachsen und Jahre später Frakturen auslösen. Die Konsequenz: Nicht nur die finale Politur, sondern jeder Bearbeitungsschritt entscheidet über die Langzeitstabilität.

### Klinische Relevanz und systematisches Vorgehen im Laboralltag

Laboranalytische Erkenntnisse zur Bearbeitungsstrategie haben nur dann Wert, wenn sie sich in der klinischen Langzeit-

bewährung niederschlagen. Prof. Dr. Martin Rosentritt (Universitätsklinikum Regensburg) betont: „Die Oberflächenqualität keramischer Materialien hat einen besonderen Einfluss auf deren Eigenschaften. Vereinfacht gilt, je glatter die Oberfläche, desto eher erzielt der Werkstoff seine optimale Festigkeit.“ Ein strategisches Vorgehen bei der Bearbeitung von Zirkonoxid ist entscheidend, um die mechanischen und die ästhetischen Eigenschaften der Restauration zu sichern.

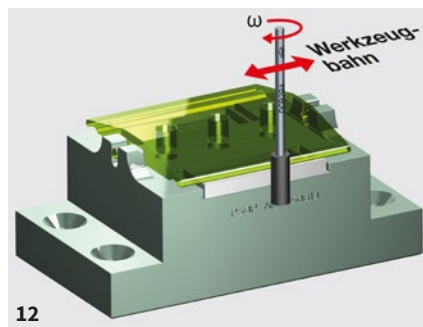
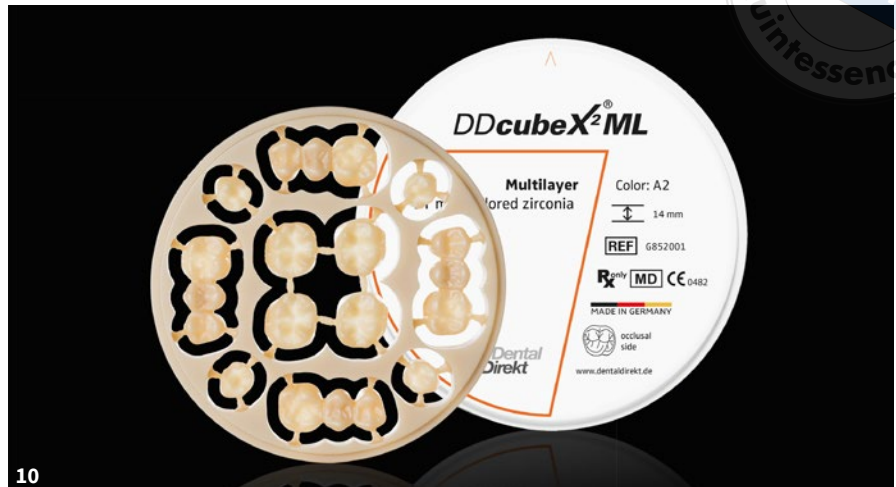
Um das gefräste Gerüst möglichst wenig nacharbeiten zu müssen, sollte bereits das CAD-Design in Form, Geometrie etc. exakt konstruiert sein. Werden nachher doch Bearbeitungsschritte mit höherem Abtrag notwendig – Charakterisieren der Textur oder Separieren – sollten weitestgehend am Weißling erfolgen. In diesem Zustand ist Zirkonoxid etwas toleranter, wobei gerade auch im Weißling die hohe Sensibilität des Werkstoffs gegenüber einer Bearbeitung zu beachten ist. Zudem können im Weißzustand angelegte Strukturen authentischer wirken. Nach dem Sintern konzentriert sich die Bearbeitung auf minimale Korrekturen und auf die systematische Politur. Glatte und polierte Oberflächen erhöhen nicht

nur die Biegefestigkeit, sondern minimieren das Risiko von Antagonistenverschleiß. Außerdem wird die Plaqueakkumulation bei höheren Oberflächenrauheiten begünstigt. Glatte Oberflächen erhöhen den Tragekomfort mit, da Rauheiten intraoral taktile wahrnehmbar sind, und verbessern die Biokompatibilität der Restauration (Abb. 7 bis 9).

### Untersuchung: Einfluss der Bearbeitungsparameter auf das Zirkonoxid

Dental Direkt und Komet Dental analysierten für eine Studie den Einfluss verschiedener Bearbeitungsparameter auf die mechanischen Eigenschaften von Zirkonoxid (DD cubeX<sup>2</sup> ML). Gewählt wurde bewusst ein 5Y-TZP-Material, da es aufgrund der geringeren Festigkeit und somit geringen Fehlertoleranz die kritischsten Bedingungen repräsentiert (Abb. 10).

Zum Einsatz kamen DCB-Keramikschleifer (Diamond Coated Burs) für Trockenbearbeitung und ZR-Schleifer, die speziell für die Nassbearbeitung von Zirkonoxid entwickelt wurden (beide Fa. Komet Dental, Lemgo). Die Bearbeitung



**Abb. 10** Untersuchung verschiedener Bearbeitungsparameter und deren Einfluss auf das Zirkonoxid (5Y-TZP). **Abb. 11** 3-Punkt-Biegeprüfung (DIN EN ISO6872:2019) mit Universalprüfmaschine. **Abb. 12 und 13** CAD-Modell der Spannvorrichtung für die maschinelle Bearbeitung der Prüfkörper.

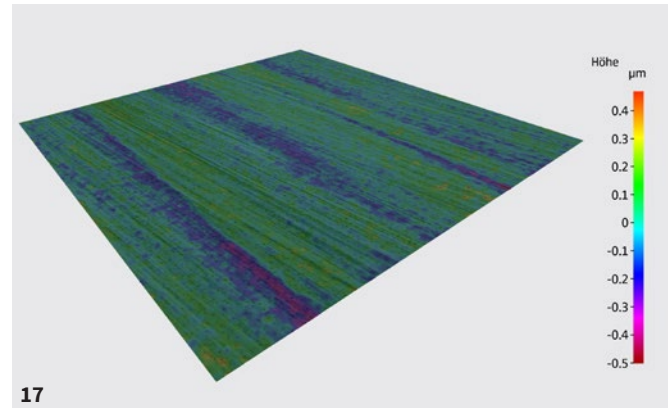
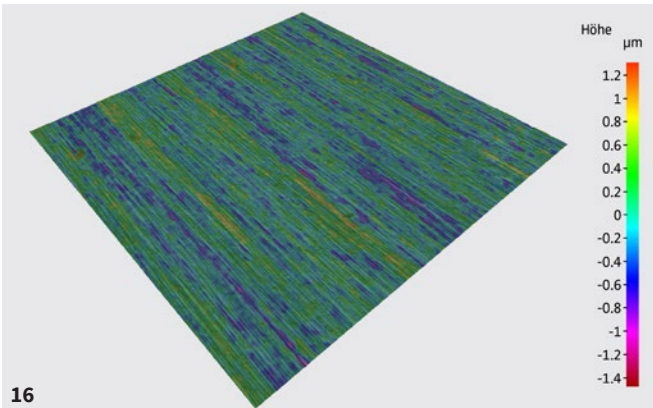
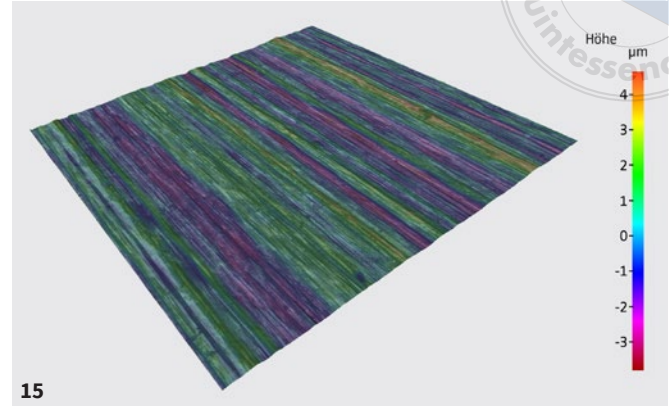
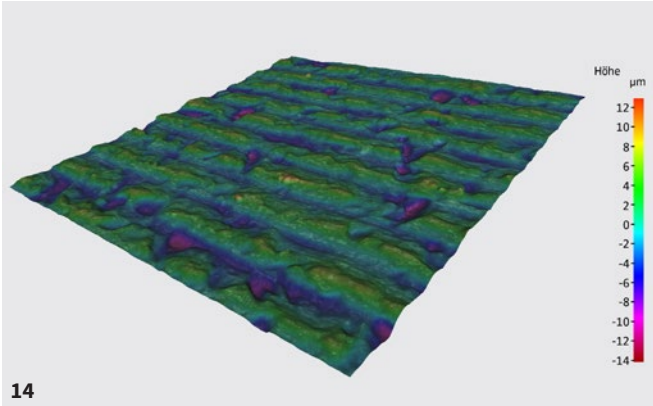
erfolgte in der Studie maschinell mittels Roboterarm an standardisierten Prüfkörpern. Eine spezielle Spannvorrichtung ermöglichte kontrollierbare Bedingungen und die kontinuierliche Erfassung der Anpresskraft während der Bearbeitung der zugbeanspruchten Seite. Die Oberflächentopografie wurde mittels konfokaler Mikroskopie detailliert analysiert. Die Vorversuche identifizierten moderate Anpresskräfte von etwa 2 N als optimal für die Materialbearbeitung. Unter Berücksichtigung der idealen Abtragsleistung und Standzeit wurden für die Trockenbearbeitung (DCB-Keramikschleifer) 12.000 U/min, für die Nassbearbeitung mittels Turbine (ZR-Schleifer) 160.000 U/min und für Keramikpolierer 6.000 U/min als ideal ermittelt (Abb. 11 bis 13).

### *Oberflächenqualität und mechanische Eigenschaften*

Die systematische Analyse der Oberflächentopografie offenbarte signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Bearbeitungszuständen. Gesinterte, noch nicht finalisierte Zirkonoxidkeramiken zeigten im „As-Fired-Zustand“ (direkt nach dem Sintern) eine raue Oberfläche mit deutlich erkennbaren Fräswerkzeugspuren und potenziell rissauslösenden Oberflächenfehlern (Sa 1,041–2,602  $\mu\text{m}$ ; Rautiefe bis 22,982  $\mu\text{m}$ ). Die zweistufige Politur mit den Komet-Polierern zeigte eine Reduzierung der Oberflächenrauigkeit (Sa = 0,242  $\mu\text{m}$ ) und eine minimierte maximale Rautiefe (2,679  $\mu\text{m}$ ). Die verbesserte Oberflächenqualität korreliert

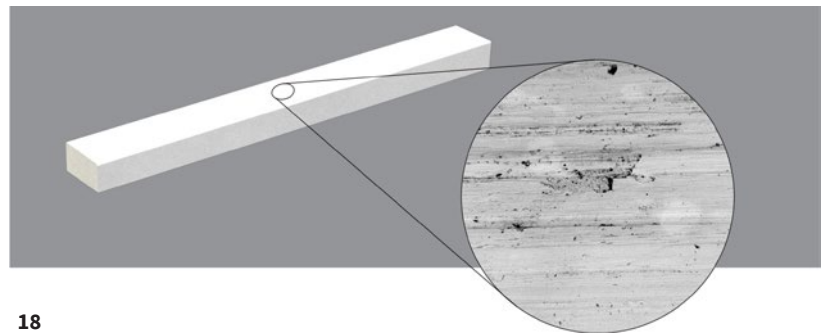
mit einer reduzierten Anzahl möglicher rissauslösender Oberflächenfehler. Das bedeutet für den klinischen Alltag: Sind nach der Politur Korrekturen an der Restauration notwendig, können diese mit DCB-ETNA-Schleifern erfolgen, wobei die Oberfläche zunächst wieder aufgeraut wird. Die anschließende Repolitur mit dem zweistufigen ETNA-Poliersystem stellt die finale Oberflächenqualität wieder her (Abb. 14 bis 18).

Deutlich abweichende Prozessparameter, v. a. höhere Anpresskräfte (7–10 N), führten zu sichtbaren und mikroskopischen Defekten. REM-Bilder zeigten die strukturellen Schäden bei überhöhter Krafteinwirkung. Diese Oberflächendefekte können unter Beanspruchung kritische Versagensstellen bilden.



### Die entscheidende Rolle der Politur

Die 3-Punkt-Biegefestigkeitstests (DIN EN ISO 6872:2019) demonstrierten die Bedeutung der Politur. Das zentrale Ergebnis: Die Politur ist der entscheidende Faktor für hohe Festigkeitswerte – unabhängig von der vorherigen Bearbeitung. Der Vergleich von ausschließlich polierten Proben mit solchen, die vor der Politur trocken oder nass beschliffen wurden, zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Materialfestigkeit. Alexander Pries, Produktentwickler General Dentistry bei Komet Dental, resümiert: „Umfangreiche kollaborative Tests belegen, dass die ETNA-Schleifer auch bei hochtranslucenten 5Y-TZP-Materialien sicher eingesetzt werden können. In Kombination mit den speziell abgestimmten ETNA-Polierern ermöglichen diese Schleifer eine präzise und effiziente



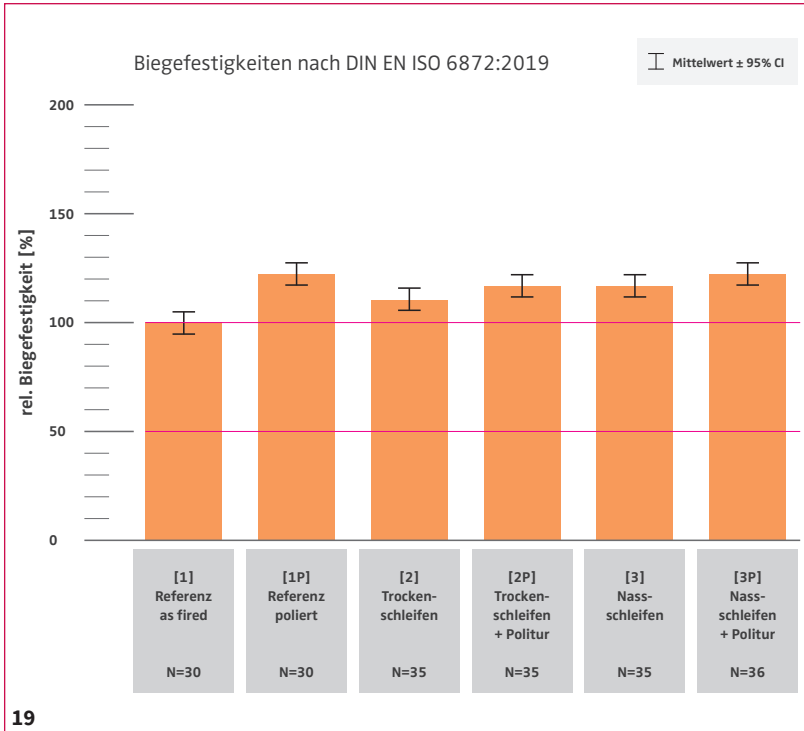
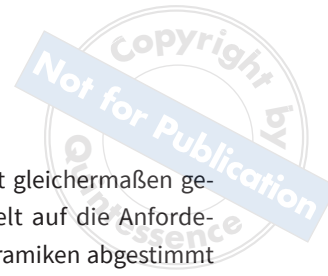
18

**Abb. 14** Oberflächentopografie (DD cubeX<sup>2</sup> ML) im unbearbeiteten Zustand (Sa = 2,602 µm, Sq = 3,237 µm, Sz = 22,982 µm).\* **Abb. 15** Oberflächentopografie nach der Bearbeitung mit Komet-DCB-Schleifern (DCB-ETNA-Schleifer; Sa = 1,078 µm, Sq = 1,323 µm, Sz = 8,474 µm).\* **Abb. 16** Oberflächentopografie nach zweistufiger Politur (As-Fired-Oberfläche; Sa = 0,242 µm, Sq = 0,303 µm, Sz = 2,679 µm).\* **Abb. 17** Oberflächentopografie nach Aufrauen mit DCB-ETNA-Schleifern und 2-stufiger Politur mit ETNA-Polierern (Sa = 0,076 µm, Sq = 0,096 µm, Sz = 0,959 µm).\* **Abb. 18** REM-Aufnahme einer Probe, die mit höheren Anpresskräften bearbeitet wurde (7–10 N).

\*Sa: arithmetischer Mittelwert der Höhen der ausgewählten Fläche; Sq: quadratischer Mittelwert der Höhe der ausgewählten Fläche; Sz: maximale Höhe der ausgewählten Fläche.

nen. In Kombination mit den speziell abgestimmten ETNA-Polierern ermöglichen diese Schleifer eine präzise und effiziente

Nachbearbeitung von Zirkonoxidrestorationen.“ Für notwendige Anpassungen sind die speziellen Nass- und Trocken-



schleifer von Komet gleichermaßen geeignet, da sie gezielt auf die Anforderungen dentaler Keramiken abgestimmt wurden (Abb. 19).

### Bearbeitungsempfehlungen für den Laboralltag

Die detaillierten Ergebnisse werkstoffkundlicher Analysen bilden eine wertvolle Basis. Doch der Laboralltag fordert praktikable Lösungen, die wissenschaftliche Erkenntnisse und praktische Anforderungen optimal vereinen. Für hochtransluzente 5Y-TZP-Materialien wie DD cubeX<sup>2</sup> ML hat sich eine konservative Bearbeitungsstrategie bewährt. Idealerweise erfolgt nach dem Sintern lediglich eine abschließende Politur. Sind Korrekturen notwendig, sollten diese mit DCB-ETNA-Schleifern bei Einhaltung der 2-N-Anpresskraft erfolgen und mit einer zweistufigen Repolitur abgeschlossen werden. Nun ist die Kraftdosierung (Anpressdruck: die Kraft, mit der ein rotierendes Instrument auf die Materialoberfläche einwirkt) für Zahntechniker im Arbeitsalltag schwer kontrollierbar und hinterlässt den Eindruck, hier muss trotz ausgefeilter wissenschaftlicher Erkenntnisse zu Oberflächenrauheit und Bearbeitungsparametern nach Bauchgefühl gearbeitet werden. Der Widerspruch zwischen Messwerten aus dem Entwicklungslabor und einer eher „gefühlsbasierten“ Umsetzung im Dentallabor zeigt auf, wo noch Entwicklungsbedarf besteht.



**Abb. 19** Relative Biegefestigkeiten (DD cubeX<sup>2</sup> ML) nach den verschiedenen Bearbeitungsschritten unter Einhaltung der werkzeugspezifischen optimalen Parameter; Anpresskräfte 2 N; Trockenschleifen mit Komet-DCB-Schleifer (12.000 U/min); Nassschleifen mit Komet-ZR-Schleifer (160.000 U/min); Komet-Keramikpolierer (6.000 U/min). **Abb. 20** Von der Molekularebene bis zum finalen Glanz – erst wenn alle Parameter stimmen, offenbart modernes Zirkonoxid sein wahres Potenzial: Die Qualität der Zahntechnik liegt nicht nur in immer besseren Werkstoffen, sondern vor allem in der korrekten Bearbeitung.

### Tipps

Ein Anpressdruck von 2 N entspricht etwa dem Gewicht eines 200-Gramm-Gegenstands in der Hand (z. B. ein kleiner Apfel oder eine Tafel Schokolade). Grundsätzlich gilt: behutsam arbeiten und mehrere leichte Durchgänge statt einen mit zu hohem Druck wählen.

## Fazit

Die systematische Analyse der Werkstoff-Werkzeug-Interaktion unterstreicht, wie wichtig im Laboralltag kontrollierte Bearbeitungsparameter sind. Entscheidend bleibt jedoch die praktische Umsetzung im Dentallabor. Während die Forschung hochpräzise Parameter definiert, basiert deren Umsetzung im Laboralltag oftmals eher auf Bauchgefühl und Erfahrung. Parameter wie Drehzahlen sind steuerbar, doch bleibt die Kraftdosierung dem individuellen Gespür des Zahntechnikers überlassen – ein Widerspruch zu den exakten wissenschaftlichen Anforderungen. Hier sind innovative Ansätze gefragt, um die Lücke zwischen Wissenschaft und Laboralltag zu schließen (Abb. 20).

Neben kontinuierlicher Werkstoff- und Werkzeugentwicklung ist die Etablierung materialspezifischer Bearbeitungsstrategien wichtig. Denn nur wenn hochtechnologische Werkstoffe im Dentallabor sicher, effizient und reproduzierbar bearbeitet werden können, lässt sich ihr volles Potenzial ausschöpfen. Die Kooperation zwischen Dental Direkt und Komet Dental zeigt, wie durch die Verbindung von Werkstoffkompetenz und Werkzeugtechnologie konkrete Lösungen für den zahntechnischen Alltag entstehen.



### **Annett Kieschnick**

Freie Fachjournalistin  
Korrespondenzadresse:  
Parkstr. 26  
13585 Berlin  
E-Mail: [ak@annettkieschnick.de](mailto:ak@annettkieschnick.de)