

# Intraorale Reparatur von Restaurationen aus Glaskeramik

## Werkstoffkunde und klinische Vorgehensweise.

Prof. Dr. Jürgen Manhart, München

Die intraorale Reparatur defekter Restaurationen mit begrenzten und gut zugänglichen Defekten hat in den letzten Jahren in der Zahnmedizin erheblich an Bedeutung gewonnen. Die Reparatur mit kompositbasierten Materialien weist im Vergleich zum Komplettaustausch der Versorgung den Vorteil auf, dass im Regelfall große, noch intakte Anteile der alten Restaurationen erhalten werden können. Dadurch kann intakte Zahnhartsubstanz geschont werden und das biologische Risiko für die Pulpa wird gegenüber einer Neuanfertigung der Versorgung reduziert. Reparaturen sind im Vergleich zu einem kompletten Austausch oft einfacher und deutlich schneller durchzuführen, sie können in einem Behandlungstermin abgeschlossen werden und sind bei indirekten Restaurationen zumeist auch ökonomischer.

### 1. Einleitung

#### Keramikrestaurationen

Vollkeramikrestaurationen haben aus einer Reihe von Gründen, wie günstigen optischen Eigenschaften kombiniert mit einer herausragenden Ästhetik, einer guten Verschleiß- und Farbbeständigkeit, einem inerten chemischen Verhalten und daraus resultierend einer hohen Biokompatibilität und der Möglichkeit, geschwächte Zahnhartsubstanz durch die kraftschlüssige adhäsive Befestigung mit einer verwindungssteifen Keramik wieder zu stabilisieren, in den letzten 30 Jahren – sowohl bei den Behandlern, aber auch bei den Patienten – eine sehr große Popularität erlangt.<sup>1-14</sup> Zusätzlich äußern viele Patienten den Wunsch nach ästhetischen, zahn-

farbenen Restaurationen und metallfreien Alternativen zu traditionellen prothetischen Verfahren.<sup>15</sup>

Keramiken sind definitionsgemäß nicht-metallische anorganische Werkstoffe.<sup>16</sup> Die in der Restaurativen Zahnheilkunde verwendeten Keramiken lassen sich entsprechend ihrer Zusammensetzung und Struktur in folgende Gruppen einteilen:<sup>17,18</sup>

- Silikatkeramiken (Feldspatkeramik und Glaskeramik, natürlich oder synthetisch hergestellte Feldspat-Glasmatrix mit eingelagerten Kristallen aus Leuzit oder Lithiumdisilikat)
- Glasinfiltrierte Oxidkeramiken (poröses Gerüst meist aus  $Al_2O_3$ , infiltriert mit Glasphase)
- Polykristalline Oxidkeramiken ( $Al_2O_3$  oder  $ZrO_2$ , keine Glasphase)

Die häufigsten klinischen Indikationen vollkeramischer Restaurationen umfassen Inlays, Onlays, Teilkronen, Kronen, Brücken, Veneers und mit zunehmender Bedeutung auch posteriore okklusale Kauflächenveneers (Table Tops).<sup>17,19-31</sup> Vollkeramikrestaurationen haben einen sehr hohen Qualitätsstandard erreicht und sind mittlerweile für die moderne restaurative Zahnheilkunde sowohl im ästhetisch anspruchsvollen Frontzahnbereich als auch im kaulasttragenden Seitenzahngebiet unverzichtbar geworden. In der wissenschaftlichen Literatur zeigen sich eine hohe Zuverlässigkeit und exzellente klinische Überlebensdaten vollkeramischer Restaurationen, wenn zu Beginn der Behandlung eine korrekte Indikation gestellt wird, werkstoff- bzw. patientenbedingte Limitationen beachtet werden



**Abb. 1:** Ausgangssituation: Glaskeramikteilkrone mit Fraktur im Bereich der Überkuppelung der bukkalen Stützhöcker. – **Abb. 2:** Mit einem feinkörnigen Diamantfinierer wurden gelockerte Fragmente von Zahn und Keramikgrenzfläche entfernt und die Frakturränder geglättet.



**Abb. 3:** Das Behandlungsfeld wurde sorgfältig mit Kofferdam isoliert. – **Abb. 4:** Aus der bukkalen Ansicht ist das Defektvolumen gut zu erkennen. – **Abb. 5:** Zum Schutz des anterioren Nachbarzahnes vor dem anschließenden Sandstrahlen wurde eine Metallmatrize in den Approximalraum eingebracht. – **Abb. 6:** Die Bruchflächen sind für die Aktivierung mit einem intraoralen Sandstrahler gut zugänglich.

und aus den verschiedenen Keramikarten die fallbezogen richtige Materialauswahl getroffen wird. Neben der fehlerfreien zahntechnischen Herstellung sollten eine präzise Präparations- und eine geeignete Befestigungstechnik zum Einsatz kommen.<sup>15,28,32-51</sup>

### Frakturbedingte Misserfolge

Allerdings kann es während der klinischen Gebrauchsperiode jederzeit auch zum Versagen von vollkeramischen Restaurationen aus biologischen (z.B. Sekundärkaries, endodontologische bzw. parodontologische Probleme) und mechanischen/technischen (z.B. Chipping der Verblendkeramik, Komplettfraktur der Gerüst- und Verblendkeramik, Höckerfraktur des versorgten Zahnes, Retentionsverlust) Gründen kommen.<sup>52</sup> Auf Frakturen zurückzuführende Misserfolge (Komplettfrakturen und Chippingfrakturen) haben sich in den letzten Jahren aufgrund der großen und immer noch weiter steigenden Beliebtheit und der breiten Anwendung vollkeramischer Restaurationen in der Zahnheilkunde zu ei-

nem deutlichen Problem entwickelt.<sup>53</sup> Im Vergleich zu Metallrestorationen sind die Schwachstellen von keramischen Restaurationen in der Sprödigkeit, der relativ geringen Zugfestigkeit und dem potenziell daraus resultierenden Problem der Rissentstehung bzw. -ausbreitung in derartigen Werkstoffen begründet.<sup>11,28</sup> Diese Faktoren gefährden die Materialintegrität keramischer Werkstoffe unter klinischen Bedingungen, wenn Fehler in der Herstellung der Restaurationen gemacht werden oder eine unsachgemäße bzw. nicht indizierte Anwendung der Keramiken erfolgt.<sup>54</sup> Fabrikationsfehler im Herstellungsprozess und Gefügefehler (Poren, Fremdeinschlüsse, Risse etc.) in der Mikrostruktur der Keramiken werden als Hauptursachen für das katastrophale Versagen von keramischen Restaurationen angeführt.<sup>55-57</sup> An diesen Fehlstellen, die kritisch für die maximal erreichbare Festigkeit der Keramik sind, kommt es unter der Einwirkung von äußeren Belastungen zu einer Spannungsüberhöhung im Werkstoff, mit einem zum Spröbruch der Keramik führenden instabilen Risswachstum.<sup>58</sup>

Bei Patienten mit ausgeprägten Zahndefekten ist nicht nur die keramische Versorgung (z.B. Inlay) dem Risiko einer Fraktur ausgesetzt, sondern auch an die Restauration angrenzende verbliebene Zahnhartsubstanzanteile (einzelne geschwächte Höcker bzw. dünne bukkale und orale Kavitätenwände) sind gefährdet, wenn bei der Kavitätenpräparation bzw. Gestaltung der Restauration nicht korrekt vorgegangen wird.<sup>55,59</sup>

### 2. Intraorale Reparatur

Die intraorale Reparatur insuffizienter zahnärztlicher Restaurationen hat in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen und ist mittlerweile eine wertvolle Methode, um die Mundverweildauer von direkten und indirekten Restaurationen mit begrenzten und gut zugänglichen Defekten zu verlängern. Sie bietet in vielen Fällen sowohl dem Patienten als auch dem Behandler eine zeitsparende und kostengünstige Alternative zur Neuanfertigung.<sup>8,60-63</sup> Eine Reparatur ist zumeist auch zahnhartsubstanzschonender als ein kompletter Austausch

der defekten Versorgung, da deren Entfernung und die anschließend notwendigen Korrekturen an der Kavität im Regelfall immer in einer Ausweitung der Originalpräparation resultieren.<sup>63-67</sup> Im Rahmen des Reparaturvorganges werden in der Regel kompositbasierte Werkstoffe adhäsiv an den intraoral verbliebenen Restaurastrukturen und gegebenenfalls auch an weiteren an den Defekt angrenzenden Substraten, wie Schmelz, Dentin oder Anteilen von etwaigen Metallgerüsten der Originalrestauration, befestigt. Jede dieser beteiligten defektbegrenzenden Oberflächen erfordert eine geeignete, materialspezifische Vorbehandlungssequenz, um die verschiedenen Substrate für die Adhäsion des Reparaturkomposits vorzubereiten.<sup>67,68</sup>

Für die intraorale Vorbehandlung der Oberfläche von defekten glaskeramischen Restaurationen vor der Applikation einer Reparaturfüllung mit Komposit werden in der Literatur verschiedene Behandlungsprotokolle erwähnt, u. a. das Sandstrahlen mit Aluminiumoxidparti-

keln bzw. kiesel säuremodifizierten Aluminiumoxidpartikeln, ein mechanisches Anrauen der Oberfläche mit rotierenden Instrumenten oder eine chemische Konditionierung und Oberflächenmodifikation.<sup>62,69-82</sup>

Während die extraorale Vorbereitung von glaskeramischen Restaurationen (Feldspatkeramiken, leuzit- und lithiumdisilikatverstärkten Glaskeramiken) im Rahmen der primären adhäsiven Befestigung an der Zahnhartsubstanz mit kompositbasierten Materialien im Regelfall durch eine Kombination aus einer Ätzung der Keramik mit 5%iger Flusssäure – zur Modifikation der Oberflächenstruktur mit Erstellung eines porös-mikroretentiven Ätzmusters durch Herauslösung amorpher Glasanteile aus der Keramik<sup>83,84</sup> – und einer anschließende Silanisierung – zum Aufbau eines chemischen Verbundes zwischen Keramik und Komposit – eine bewährte Methode darstellt<sup>85-89</sup>, ist von einem intraoralen Gebrauch von Flusssäure strengstens abzuraten.

## Flusssäure

Die Einwirkung von Flusssäure auf die Oberfläche einer glaskeramischen Restauration führt durch die selektive Auflösung der amorphen Glasphase zur effektiven Ausbildung von Porositäten und Oberflächenrauigkeiten.<sup>62,87,90</sup> Die Penetration eines Kompositmaterials in dieses Ätzmuster ermöglicht nach der Polymerisation eine mikromechanische Retention mit guten Haftfestigkeiten.<sup>91</sup>

Flusssäure (Fluorwasserstoffsäure HF) ist allerdings ein starkes Kontaktgift und eine der aggressivsten anorganischen Säuren, die bei unsachgemäßer Anwendung Verätzungen mit schwerwiegenden, progressiver Gewebszerstörung, begleitet von heftigen Schmerzempfindungen, verursacht.<sup>92,93</sup> Flusssäure wirkt lokal ätzend, durchdringt aufgrund ihrer hohen Lipidlöslichkeit rasch die Haut und zerstört tiefere Gewebsschichten, ohne dass eine äußere Verletzung sichtbar sein muss.<sup>94-96</sup> Bereits bei Flusssäurekonzentrationen unter 5 % verursacht die Einwir-



**Abb. 7:** Sandstrahlgerät für den intraoralen tribochemischen Silikatisierungsvorgang. – **Abb. 8 und 9:** Die Frakturfläche der Keramikeilkronen wird mit einem intraoralen Sandstrahler tribochemisch vorbehandelt. – **Abb. 10:** Auf der Keramik ist eine Mattierung durch das aufgetroffene Strahlmittel erkennbar.

kung auf Haut und Schleimhäuten eine deutliche Rötung und einen Brennschmerz. Nicht selten stellen sich Schmerzen erst Stunden nach dem Erstkontakt mit der Noxe ein, ohne dass zunächst auffällige Veränderungen der Hautoberfläche wahrnehmbar sind.<sup>95, 96</sup>

Die Verwendung von Flusssäure für die Konditionierung der Oberfläche dentaler Glaskeramiken ist entsprechend der Gebrauchsanweisung der einzelnen Hersteller ausschließlich in der extraoralen Anwendung, unter Festlegung geeigneter Schutzmaßnahmen und Verwendung entsprechender Schutzausrüstung, freigegeben.<sup>83</sup> Es gibt zwar eine gepufferte 9%ige Flusssäure in gelartiger Konsistenz (Ultradent® Porcelain Etch, Ultradent Products), die vom Hersteller für den intraoralen Gebrauch am Patienten unter Anwendung strenger Sicherheitsbestimmungen freigegeben ist. Der Autor dieses Beitrages rät allerdings wegen der potenziell damit behafteten Risiken, die der Hersteller in seiner eigenen Gebrauchsanweisung und seinem eigenen Sicherheitsdatenblatt unmissverständlich auflistet, deutlich von einer intraoralen Anwendung ab.

Aufgrund der ernsten Gesundheitsrisiken ist die intraorale Anwendung von Flusssäure zu gefährlich und sollte daher vermieden werden, insbesondere da eine effektive und ungefährliche Alternative mit der tribochemisch unterstützten Haftvermittlung (intraorale Silikati-

sierung und nachfolgende Silanisierung) für die Reparatur von Keramikversorgungen bzw. Verblendungsabplatzungen zur Verfügung steht.<sup>62, 69, 77, 78, 83, 89, 97–102</sup>

### Tribochemische Silikatisierung

Unter Tribochemie versteht man den Aufbau von chemischen Bindungen durch den Einsatz mechanischer Energie in Form von Reiben, Mahlen oder Strahlen.<sup>102–104</sup> Bei der tribochemischen Silikatisierung wird auf die Oberfläche von für diese Prozedur geeigneten Werkstoffen eine Silikatschicht durch Bestrahlen mit kieselsäuremodifizierten Korundpartikeln (Aluminiumoxidpartikel  $Al_2O_3$ , die mit einer dünnen  $SiO_2$ -Schicht überzogen sind) aufgebracht.<sup>83, 103, 105–108</sup>

Das speziell beschichtete Strahlgut (Co-Jet™-Sand, 3M ESPE) bei der intraoralen tribochemischen Silikatisierung wird mit einem Sandstrahlgerät, das für die Druckluftversorgung an den Turbinenanschluss der zahnärztlichen Behandlungseinheit angekoppelt wird, mit einem Strahlendruck von 2–3 bar beschleunigt.<sup>109</sup> Die Wirksamkeit der tribochemischen Silikatisierung beruht auf zwei unterschiedlichen Effekten des Strahlvorgangs. Einerseits kommt es durch eine hierdurch verursachte Steigerung der Oberflächenrauigkeit zu einer Vergrößerung der Kontaktfläche des bestrahlten Werkstoffs mit verbesserter Benetzbarkeit und gleichzeitiger Ausbildung mikroretentiver Strukturen, die für eine mikromecha-

nische Verankerung kompositbasierter Befestigungsmaterialien zur Verfügung stehen.<sup>69, 110–112</sup> Der zweite Effekt beruht auf dem Aufbringen einer oberflächenaktiven Beschichtung durch das Strahlmittel. Wenn die bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 1 000 km/h beschleunigten Partikel auf die Oberfläche des zu beschichtenden Materials treffen, wird deren hohe kinetische Energie durch Impuls- und Energieübertragung in lokal (nicht makroskopisch messbar) sehr hohe Temperaturen von 1 000–1 200 °C umgewandelt und somit eine  $SiO_2$ -Schicht auf die Oberfläche aufgeschmolzen, während die Aluminiumoxidpartikel, die lediglich als Träger für die Kieselsäure ( $SiO_2$ ) dienen, vom frisch keramisierten Substrat abprallen.<sup>83, 103, 111–116</sup> Die betroffenen Oberflächen von Substrat und Strahlgut werden dabei im atomaren und molekularen Bereich so stark ange-regt, dass man von einem sogenannten Triboplasma in Mikrobereichen sprechen kann.<sup>103</sup>

Bei der tribochemischen Silikatisierung handelt es sich im Gegensatz zu thermischen Silikatisierungsverfahren um eine Kalsilikatisierung, da die mechanische Energie in Form von kinetischer Energie auf das Substrat übertragen und die Silikatschicht makroskopisch ohne Temperaturerhöhung aufgetragen wird.<sup>102, 103</sup> Dadurch wird jegliche Form von thermischer Belastung und damit eventuell assoziierter Verziehungen des bestrahlten keramischen oder metallischen Werk-



**Abb. 11:** Ein Universaladhäsiv mit Reparaturkomponente wird im Self-Etch-Verfahren auf sämtliche zu konditionierenden Frakturflächen (Keramik, Zahnhartsubstanz) aufgetragen. – **Abb. 12:** Ausdünnen des Adhäsivs und Verdunsten des Lösungsmittels mit trockener, ölfreier Druckluft.



**Abb. 13:** Lichthärtung des Haftvermittlers für 10 s. – **Abb. 14:** Nach dem Schritt der Haftvermittlung resultiert eine glänzende und überall gleichmäßig von Adhäsiv benetzte Defektoberfläche. – **Abb. 15:** Ein fließfähiges Ormocer-Komposit wird an die Innenwinkel und -kanten der Frakturstelle aufgetragen. – **Abb. 16:** Das fließfähige Ormocer adaptiert sich perfekt und blasenfrei an die umgebenden Strukturen.

stücks vermieden.<sup>72, 103, 113, 115</sup> Es lassen sich sämtliche auf dem Markt befindlichen Keramiken, alle Metalle und alle harten Kunststoffe bzw. Komposite mit einer aufgestrahlten Silikatschicht versehen.<sup>103</sup>

Anhand von rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen kann man erkennen, dass durch die tribochemische Silikatisierung keine komplett lückenlose Beschichtung durch das Strahlmittel erfolgt, sondern die bestrahlte Oberfläche mit inselförmigen Aufschmelzungen von Siliziumdioxid partiell überzogen wird;<sup>111, 112</sup> das SiO<sub>2</sub> wird beim Strahlprozess bis zu 15 µm in die Oberfläche des Zielmaterials implantiert.<sup>103</sup> Gemäß der Gebrauchsanweisung des CoJet™-Systems muss die tribochemisch vorbehandelte Werkstückoberfläche nach dem Strahlvorgang mit trockener, ölfreier

Druckluft von Strahlmittelresten gereinigt werden, eine Kontamination mit Feuchtigkeit verschlechtert den Haftverbund.<sup>109</sup> Das Reinigen der tribochemisch silikatisierten Oberfläche mit dem Druckluft-Wasser-Spray führt zu einer Beeinträchtigung der Beschichtung.<sup>112</sup> Nach der Silikatisierung muss die beschichtete Oberfläche noch silanisiert werden, um einen kovalenten chemischen Verbund zwischen der anorganischen silikatischen Oberfläche und den organischen Einheiten des Reparaturkompositsystems herstellen zu können.<sup>83, 103, 117</sup> Die tribochemische Silikatisierung hat sich als langzeitstabil und hydrolyseunempfindlich bewährt.<sup>72, 118–120</sup>

Die tribochemische Silikatisierung mit dem CoJet™-System (3M ESPE) wird vom Hersteller als zuverlässige Alternative

zur Flusssäure für die Vorbehandlung von Glaskeramik angegeben.<sup>121</sup> In einer Laborstudie zeigten tribochemisch silikatisierte und nachfolgend silanisierte Probestkörper einzelner Glaskeramiksyste me höhere Haftfestigkeiten zum Reparaturkomposit als Vergleichsgruppen, die mit Flusssäure und Silan vorbehandelt wurden.<sup>69</sup> In einer weiteren In-vitro-Studie zur Simulation der intraoralen Keramikreparatur mit Reparaturkavitäten in glaskeramischen Inlays, die mit Kompositfüllungen versorgt wurden, zeigte die Vorbehandlung der Keramikoberfläche durch eine tribochemische Silikatisierung exzellente Werte sowohl in der Randqualität als auch in der Retention der Reparaturfüllungen, vergleichbar zur Keramikätzung mit Flusssäure.<sup>71, 122</sup> Das universell einsetzbare Verfahren der tribochemischen Silikatisierung erscheint

für die intraorale Reparatur von Glaskeramikrestaurationen im Vergleich zur Flusssäureätzung unter Sicherheitsaspekten allerdings besser geeignet.<sup>73</sup>

### Sandstrahlen mit Aluminiumoxid

Eine weitere Methode für die Aktivierung der Glaskeramikoberflächen vor dem Auftragen des Silanhaftvermittlers, Adhäsivsystems und Reparaturkomposits stellt das intraorale Sandstrahlen mit Aluminiumoxidpartikeln (Korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 27  $\mu\text{m}$  oder 50  $\mu\text{m}$  Korngröße) dar.<sup>62,71,79,80,123–128</sup> Im Gegensatz zur tribochemischen Silikatisierung (CoJet™) findet hierbei allerdings nur eine Reinigung und Kontaktflächenvergrößerung durch Anrauen der Oberfläche mit gleichzeitiger Ausbildung mikroretentiver Strukturen, die für eine mikromechanische Verankerung kompositbasierter Materialien zur Verfügung stehen, statt.<sup>110,111,129</sup> Durch das Sandstrahlen kommt es auch zu einer Verbesserung der Benetzbarkeit der zu reparierenden alloplastischen Oberfläche.<sup>53,130</sup> Eine mit 50  $\mu\text{m}$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  sandgestrahlte Keramikoberfläche weist günstigere Bedingungen für die Anhaftung kompositbasierter Materialien auf als eine mechanische Vorbehandlung mit rotierenden grobkörnigen Diamantinstrumenten.<sup>131</sup>

### Angesäuertes Phosphatfluorid

Angesäuertes Phosphatfluorid (APF = Acidulated Phosphate Fluoride), eine

Zubereitung aus Natriumfluorid und Phosphorsäure,<sup>83,132,133</sup> wurde als sichere Alternative zur Flusssäure für die intraorale Ätzung von Keramikoberflächen, mit geringer Verätzungsgefahr für die angrenzenden Weichgewebe, erwogen.<sup>62,123,134–142</sup> APF ist vor allem im angloamerikanischen Raum als Intensivfluoridierungspräparat im Einsatz.<sup>135,143</sup> Allerdings konnte sich diese Methode wegen ihrer geringen Effizienz mit notwendigen Einwirkzeiten von bis zu 10 min und den in der Tiefenwirkung auf die unmittelbare Kontaktfläche begrenzten Veränderungen der Keramikmorphologie (nur flache Ätzmuster mit eher glatten, wenig rauen Strukturmodifikationen der Keramikoberfläche) nicht als klinisches Standardverfahren zur intraoralen Konditionierung von Keramiken etablieren.<sup>62,83,84,86,135,136,144–150</sup>

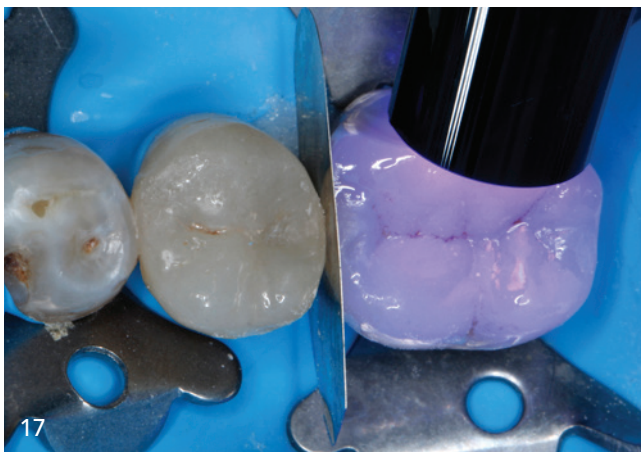
### Anrauen mit Steinchen oder Diamanten

Alternativ wird in der Praxis auch das mikromechanische Anrauen der glaskeramischen Oberflächen mit rotierenden Werkzeugen, wie Diamantschleifkörpern oder grünen Siliziumkarbid-Steinchen (Korborundum  $\text{SiC}$ ) vor dem Auftragen der Reparaturkomponenten verwendet.<sup>62,81,82,100,117,123,151–157</sup> Unter klinischen Bedingungen ist es allerdings in vielen Fällen – v. a. beim Vorliegen von Defektstrukturen mit schmalen, spitz auslaufenden oder unterminierenden Anteilen – praktisch unmöglich, sämtliche im

Rahmen des Reparaturvorganges vorzubehandelnden Oberflächen mit rotierenden Instrumenten vollständig und zuverlässig zu aktivieren, insbesondere ohne dabei die Integrität eigentlich nicht betroffener Zahnanteile oder der Nachbarzähne zu gefährden. Im Gegensatz hierzu ist der durch das Strahlmittel ermöglichte gute Zugang zu diesen ansonsten schlecht zugänglichen Arealen, neben der hohen Effektivität, einer der Hauptvorteile der Vorbehandlung mit einem intraoralen Sandstrahlgerät.<sup>63,71,77</sup> Das Anrauen der Keramikoberfläche mit einem rotierenden Diamantschleifer vor dem konsekutiven Auftragen eines Silans, Adhäsivs und Reparaturkomposits resultiert in signifikant schlechteren Verbundfestigkeiten im Vergleich zur Flusssäureätzung oder tribochemischen Silikatisierung.<sup>82,120</sup>

### Silan

Nach dem Sandstrahlen oder Ätzen der glaskeramischen Oberfläche ist die konsekutive Applikation eines Silans entscheidend für den Aufbau kovalenter chemischer Bindungen des organischen Reparaturkomposits an die anorganische Keramik mit langfristig stabilen Haftfestigkeiten.<sup>78,79,83,84,123,146,154,158–162</sup> Das in der Zahnmedizin verwendete 3-Methacryloxypropyltrimethoxysilan ist ein bifunktionelles Molekül mit zwei unterschiedlichen Arten von reaktiven Gruppen.<sup>83,84</sup> Es fördert die Benetzung der Glaskeramikoberfläche mit einem Komposit und



**Abb. 17:** Lichthärtung des niedrigviskosen Ormocers für 20 s. – **Abb. 18:** Das restliche Defektvolumen wird mit einem seitenzahntauglichem normalviskösen Ormocerkomposit aufgefüllt.



**Abb. 19:** Mit einem Modellierinstrument wird das Füllungsmaterial sorgfältig an die okklusale Kante der Keramikteilkrone adaptiert. – **Abb. 20:** Lichthärtung des Ormocers für 20 s. – **Abb. 21 und 22:** Vor der Abnahme des Kofferdams wird die Reparaturfüllung auf Imperfektionen kontrolliert.

wirkt als Haftvermittler zwischen der anorganischen Keramikoberfläche und dem organischen Komposit.<sup>163</sup> Dabei kommt es in einem Silanisierungsprozess auf der einen Seite durch eine Kondensationsreaktion von hydrolysierten Alkoxygruppen des Silans mit Silanol-Gruppen (Si-OH) an der Keramikoberfläche<sup>164</sup> zur Ausbildung einer Siloxanbindung (Si-O-Si-Bindung)<sup>67, 165</sup> und auf der anderen Seite zu einer Kopolymerisation des eine C=C-Doppelbindung enthaltenden Methacrylatrests des Silanmoleküls mit den Methacrylatgruppen der Monomere eines Adhäsivs bzw. Komposits.<sup>67, 83, 144, 166, 167</sup> Die Stabilität der Keramik-Komposit-Verbindzone wird hauptsächlich durch die Mikrostruktur der Keramik und die Ober-

flächenbehandlung der Keramik bestimmt.<sup>146</sup>

### Universaladhäsive

Seit einigen Jahren Zeit sind alternativ zu den klassischen Etch-and-Rinse-Adhäsiven und den Self-Etch-Adhäsiven auch neuartige Universaladhäsive mit multifunktionalen Monomeren erhältlich. Diese speziellen Haftvermittler sind mit allen gebräuchlichen Konditionierungstechniken der Zahnhartsubstanzen und sämtlichen derzeit angewendeten Adhäsivstrategien kompatibel („Multi-mode“-Adhäsive): der phosphorsäurefreien Self-Etch-Technik und den beiden phosphorsäurebasierten Etch-and-Rinse-

Konditionierungstechniken (selektive Schmelzätzung bzw. komplette Total-Etch-Vorbehandlung von Schmelz und Dentin mit Phosphorsäure).<sup>67, 168-178</sup> Einige dieser Universaladhäsive sollen aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung auch als Primer für Keramiken, Komposite und Metalle geeignet sein.<sup>179, 180</sup> Bezüglich der Wirksamkeit als Haftvermittler für alloplastische Materialien müssen sich die Universaladhäsive allerdings mit den etablierten Spezial- und Universalprimern sowohl in ihren initialen Haftwerten als auch in deren Langzeitbeständigkeit messen lassen.<sup>82, 178, 180, 181</sup>

Materialspezifische Spezial- und Universalprimer sind zum Aufbau der Adhäsiv-

sion an Glaskeramiken und Edelmetalllegierungen aufgrund der höheren und stabileren Haftwerte gegenüber Universaladhäsiven zu bevorzugen.<sup>180, 182, 183</sup> Dies gilt vor allem bei der primären adhäsiven Befestigung indirekter zahnärztlicher Restaurationen, da hier extraoral die jeweilige Werkstückoberfläche isoliert und ohne Gefahr der Kreuzkontamination noch nicht benachbarter dentaler Strukturen durch den passenden Spezialprimer vorbehandelt werden kann, ebenso wie intraoral die Zahnhartsubstanzen mit einem Adhäsiv in der Etch-and-Rinse-Technik oder der Self-Etch-Technik ohne Beeinflussung noch nicht vorhandener alloplastischer Restaurationen separat vorbereitet werden können.

In einer intraoralen Reparatursituation ist die Ausgangslage aber deutlich komplizierter, da zumeist mehrere unmittelbar aneinandergrenzende natürliche und alloplastische Materialien für die Adhäsion kompositbasierter Reparaturmaterialien vorbereitet werden müssen.<sup>67</sup> Dabei ist zu beachten, dass die Vorbereitung der strukturell grundsätzlich verschiedenen Substratoberflächen für die Aufnahme eines kompositbasierten Reparaturmaterials unterschiedliche Konditionierungsmaßnahmen mit unterschiedlichen Haftvermittlergruppen erfordert. Die Verbundfestigkeit kann dabei geschwächt werden, wenn der chemische Wirkstoff, der für die Vorbehandlung des einen Substrates erforderlich ist, unbeabsichtigt auf eine benachbarte Materialoberfläche gerät und dort zu einer Kreuzkontamination führt.<sup>67, 184–188</sup> Das Reparaturprotokoll wird durch die Anzahl und die Art der verschiedenen natürlichen und künstlichen Materialoberflächen bestimmt.<sup>73</sup> Eine Reparatur ist einfacher, je weniger unterschiedliche Substrate vorhanden sind, die intraoral für die Adhäsion vorbehandelt werden müssen.<sup>73</sup>

Einige der Universaladhäsive enthalten auch Reparaturkomponenten in ihrer Formulierung, z. B. ein Silan für einen chemischen Haftverbund zu Glaskeramiken und/oder 10-Methacryloyloxydecyl-dihydrogenphosphat (10-MDP) für eine chemische Ankoppelung an Oxidkeramiken und Metalle, ohne dass hierfür ein

separater Primer mit einem weiteren Vorbehandlungsschritt an der Restaurationsoberfläche erforderlich ist.<sup>68, 173, 178, 180, 189–193</sup> Dies ist vor allem bei der intraoralen Reparatur defekter zahnärztlicher Restaurationen sehr vorteilhaft, speziell in komplexen klinischen Situationen, wenn unterschiedliche dentale Gewebe (Schmelz, Dentin) und konservierend-prothetische Restaurationsmaterialien (verblendete oder monolithische glaskeramische Restaurationen, Verblendkeramiken, Zirkonoxidgerüste, Metallgerüste, Anteile alter Kompositrestaurationen oder -verblendungen) adhäsiv vorbehandelt werden müssen. Dadurch reduzieren sich die potenziellen Fehlermöglichkeiten, weil die Gefahr einer falschen Reihenfolge der Substratvorbereitung (durch tribochemische Silikatisierung bzw. Sandstrahlen auf Restaurationseite und Phosphorsäureätzung bzw. Selbstkonditionierung durch das Adhäsiv auf Zahnseite) und das Risiko eines ungenauen Auftrags der unterschiedlichen Primer und Adhäsive, mit der Gefahr einer Kreuzkontamination, sinken bzw. ausgeschlossen werden, speziell wenn das Universaladhäsiv nach dem Partikelstrahlen der alloplastischen Materialien im Self-Etch-Modus appliziert wird.

Somit erscheinen die Universaladhäsive bei der intraoralen Reparatur bzw. Korrektur defekter zahnärztlicher Versorgung als guter Kompromiss zwischen Einfachheit im Reparaturprotokoll einerseits und Effektivität des Verfahrens andererseits. Die Langzeitbewährung, vor allem unterstützt durch verlässliche Daten aus klinischen Studien, steht derzeit allerdings noch aus.

### 3. Klinischer Fall

Ein 74-jähriger Patient stellte sich in unserer Sprechstunde mit einem Defekt an einem ersten Molaren im Unterkiefer vor. An einer Glaskeramikteilkrone war der bukkale Bereich der Überkuppelung beider Stützhöcker größtenteils frakturiert (Abb. 1). Als Hauptgründe für das Versagen von Keramikinlays, -onlays und -teilkronen werden Frakturen der Restaurationen, Frakturen angrenzender Zahnbereiche, postoperative Hypersensi-

bilitäten und die Ausbildung von Sekundärkaries angeführt.<sup>43, 194–204</sup>

Der betroffene Zahn reagierte während der klinischen Untersuchung auf den Kälte-test ohne Verzögerung sensibel und war nicht perkussionsempfindlich. Nach der Aufklärung über mögliche Behandlungsalternativen und deren Kosten entschied sich der Patient für eine Reparaturfüllung mit einem plastischen Ormocer-Komposit in der Adhäsivtechnik zum Ersatz des frakturierten Keramikanteils.

Zu Beginn der Behandlung wurde der Zahn mit fluoridfreier Prophylaxepaste und einem Gummikelch gründlich von externen Auflagerungen gesäubert. Anschließend wurde die Frakturfläche mit einem Finierdiamanten vorsichtig gereinigt und die Zahnhartsubstanz im Defektbereich leicht angefrischt. Gelockerte Fragmente von Zahn und Keramikgrenzfläche wurden mit dem feinkörnigen rotierenden Instrument entfernt und die Frakturränder geglättet (Abb. 2). Die passende Farbe für das Restaurationskomposit wurde am noch feuchten Zahn mit Farbwahlmustern ermittelt.

Das Behandlungsfeld wurde sorgfältig mit Kofferdam isoliert (Abb. 3 und 4). Danach wurde eine Metallmatrize im mesialen Approximalraum appliziert (Abb. 5). Die Matrize soll den Nachbarzahn vor dem anschließenden Sandstrahlen im Rahmen der Bruchflächenkonditionierung schützen (Abb. 6). Mit einem intraoralen Sandstahlgerät (Abb. 7) erfolgte die tribochemische Konditionierung der Frakturfläche der Glaskeramikteilkrone (Abb. 8 und 9). Dabei müssen alle zu bearbeitenden Oberflächen sauber und trocken sein, Feuchtigkeit oder Ölreste führen zu einer unzureichenden Haftung. Die sandgestrahlten Keramikanteile zeigen eine matte Oberfläche (Abb. 10). Anschließend wurde das Behandlungsgebiet mit trockener, ölfreier Druckluft gründlich von Strahlmittelresten gesäubert.

Ein modernes Universaladhäsiv mit multifunktionalen Monomeren wurde im Self-Etch-Verfahren in großzügiger Menge gleichzeitig auf sämtliche zu konditionierenden Frakturflächen an der Keramik





**Abb. 23:** Endsituation: Die ausgearbeitete und polierte Reparaturrestauration komplettiert die frakturierte Keramikteilkrone und stellt die Funktion wieder her.

und der angrenzenden Zahnhartsubstanz (Schmelz und Dentin) aufgetragen und sorgfältig für 20 s mit einem Microbrush einmassiert (Abb. 11). Nach dem vorsichtigen Ausdünnen des Adhäsivs und dem Verdunsten des Lösungsmittels mit trockener, ölfreier Druckluft (Abb. 12) wurde der Haftvermittler für 10 s lichtpolymerisiert (Abb. 13). Es resultierte eine glänzende und überall gleichmäßig von Adhäsiv benetzte Defektoberfläche (Abb. 14). Dies sollte sorgfältig kontrolliert werden, da matt erscheinende Oberflächen ein Indiz dafür sind, dass nicht ausreichend Adhäsiv auf diese Stellen aufgetragen wurde. Werden bei der visuellen Kontrolle derartige Areale gefunden, so wird dort selektiv nochmals Haftvermittler aufgetragen.

Im Anschluss wurde ein fließfähiges Ormocer-Komposit an die Innenwinkel und -kanten der Frakturstelle aufgetragen (Abb. 15). Aufgrund der exzellenten Anfließigenschaften garantiert das niedrigvisköse Material eine gute, blasenfreie Adaptation der ersten Reparaturschicht an die umgebenden Strukturen. Der positive Effekt niedrigvisköser, fließfähiger

Kompositmaterialien auf die interne Kavitätenadaptation (Abb. 16) und auf die Integrität des adhäsiven Interfaces ist in der Literatur dokumentiert.<sup>205</sup> Das fließfähige Ormocer wurde für 20 s mit einer lichtstarken Polymerisationslampe ausgehärtet (Abb. 17). Nachfolgend wurde das restliche Defektvolumen mit seitenzahntauglichem normalviskösem Ormocer-Komposit aufgefüllt und damit der frakturierte Keramikanteil wieder rekonstruiert (Abb. 18). Das Füllungsmaterial wurde hierfür mit einem Modellierinstrument sorgfältig an die okklusale Kante der Keramikteilkrone adaptiert (Abb. 19). Das Komposit wurde wiederum für 20 s lichtgehärtet (Abb. 20). Nach der Kontrolle der Reparaturrestauration auf Imperfektionen wurde der Kofferdam abgenommen (Abb. 21 und 22).

Die Reparaturrestauration wurde sorgfältig mit rotierenden Instrumenten und abrasiven Scheibchen ausgearbeitet, die statische und dynamische Okklusion adjustiert und anschließend das Füllungsmaterial poliert. Abbildung 23 zeigt die fertige direkte Reparaturrestauration am ersten Unterkiefermolaren. Bei der intra-

oralen Adjustierung der statischen und dynamischen Okklusion des restaurierten Zahnes wurde darauf geachtet, die Reparaturfüllung völlig außer Kontakt zu nehmen, eine Abstützung erfolgte lediglich auf der Keramikteilkrone.

#### 4. Schlussbemerkungen

Die intraorale Reparatur insuffizienter direkter und indirekter zahnärztlicher Restaurationen mit begrenzten und gut zugänglichen Defekten verzeichnet heutzutage sowohl bei Zahnärzten als auch bei Patienten zunehmend Akzeptanz.<sup>180, 206, 207</sup> Während eine Reparatur in der Vergangenheit mit dem zahnärztlichen Selbstverständnis an eine qualitätsorientierte Behandlung kaum vereinbar schien und in diesem Zusammenhang eher als „Pfusch“ oder inakzeptables „Anflicken“ gesehen wurde,<sup>63, 73, 207, 208</sup> hat sich in Bezug auf diese Thematik in den letzten Jahren ein deutlicher Bewusstseinswandel vollzogen und werden Reparaturkonzepte immer mehr in das zahnärztliche Behandlungsspektrum integriert.<sup>209</sup> Reparaturfüllungen werden heute als wertvolle Methode zur Verlängerung der klinischen Verweildauer von defekten direkten und indirekten Versorgungen und zum Schutz vor unnötiger Entfernung gesunder Zahnhartsubstanz, die beim kompletten Austausch von Restaurationen praktisch unvermeidlich ist, angesehen.<sup>54, 60, 65, 67, 73, 117, 210</sup>

#### Literatur

Literatur kann bei der Redaktion angefordert bzw. über den QR-Code abgerufen werden.



#### PROF. DR. JÜRGEN MANHART

Poliklinik für Zahnerhaltung  
und Parodontologie  
Klinikum der Universität München  
Goethestraße 70  
80336 München  
E-Mail: manhart@manhart.com  
Facebook: prof.manhart  
Instagram: prof.manhart