

Polymerbasierte Materialien für die subtraktive CAD/CAM-Fertigung

ANNETT KIESCHNICK, MARTIN ROSENTRITT, BOGNA STAWARCZYK



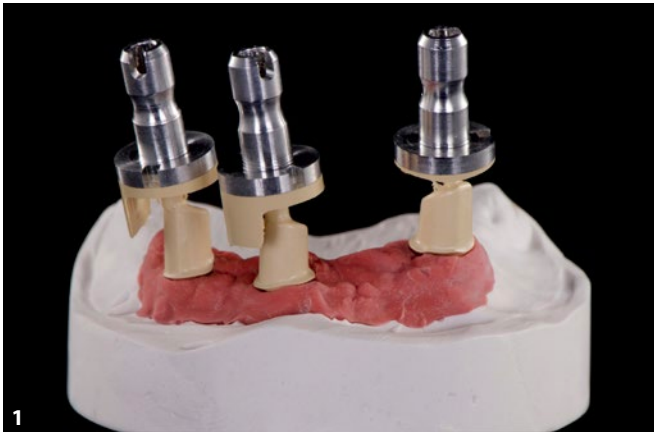


Abb. 1 und 2 Anwendungsbeispiel für PEEK: CAD/CAM-gestützt gefertigte Abutments (Hybrid-Abutments auf Klebebasen), gefräst aus einem PEEK-Material (Bild: Philipp von der Osten; PEEK: BioHPP; Fa. Bredent, Senden).

Zusammenfassung

Immer häufiger werden in der zahnärztlichen Prothetik polymerbasierte Materialien mittels subtraktiver CAD/CAM-Fertigung verarbeitet. Ob vollenatomisch oder individualisiert, ob als temporäre Versorgung, als festsitzender oder herausnehmbarer Zahnersatz oder für Hilfsstrukturen – moderne polymerbasierte Werkstoffe sind vielfältig einsetzbar. Die Autoren gehen im Artikel auf werkstoffkundliche Grundlagen ein, die der Zahnarzt und der Zahntechniker für ihren Arbeitsalltag kennen sollte.

Indizes

CAD/CAM, Werkstoffe, polymerbasierte Materialien, vollenatomisch, individualisieren

Einleitung

Die Vielfalt an dentalen Zahnersatzmaterialien bereichert die zahnärztliche Prothetik. Das entsprechende Material kann spezifisch für den jeweiligen Patientenfall gewählt werden. Bereits heute steht das prothetische Arbeitsteam vor einer großen Auswahl an CAD/CAM-Materialien. Mit der Etablierung der additiven Fertigung (3-D-Druck) und den Materialentwicklungen in diesem Bereich wird sich das Portfolio erweitern. Um die Klaviatur der modernen Werkstoffkunde zu beherrschen und die Materialvielfalt ziel führend einsetzen zu können, ist zusätzlich zur Kompetenz im Bereich der Fertigungstechnologien Fachwissen auf dem Gebiet der Werkstoffkunde erforderlich. Sowohl Zahnarzt als auch Zahntechniker sollten sich mit neuen Werkstoffen auseinandersetzen, um deren Eigenschaften zu verstehen sowie Chancen und Limitierungen zu erkennen. Materialauswahl, Präparation der Zähne, Fertigstellung sowie Eingliederung der Restauration obliegen grundlegenden Regeln, die zu einem großen Teil auf der Werkstoffkunde begründet und im Kompendium erläu-

tert sind. Für einen schnellen und leichten Zugang zur Werkstoffkunde kann beispielsweise das digitale „Werkstoffkunde-Kompendium“ (www.werkstoffkunde-kompendium.de) genutzt werden.

Zu den relativ neuen Materialien im Dentallabor gehören die polymerbasierten CAD/CAM-Werkstoffe (subtraktive Fertigung) (Abb. 1 bis 5).

Allgemeine Aspekte zu polymerbasierten CAD/CAM-Werkstoffen

Um eine Zuordnung der polymerbasierten Fräsmaterialien zu ermöglichen, ist zunächst ein Blick auf die verschiedenen CAD/CAM-Materialien für die subtraktive Fertigung hilfreich. Klar ist, dass weder Zirkonoxide und CAD/CAM-Keramiken noch metallische Legierungen den Polymeren zugeordnet werden. Hingegen gehören CAD/CAM-Komposite, CAD/CAM-PMMA und kunststoffinfiltrierte Keramiken zu den polymerbasierten CAD/CAM-Werkstoffen.

Zu den polymerbasierten CAD/CAM-Werkstoffe zugehörige sind demnach Komposite, PMMA, PAEK, PC und mit

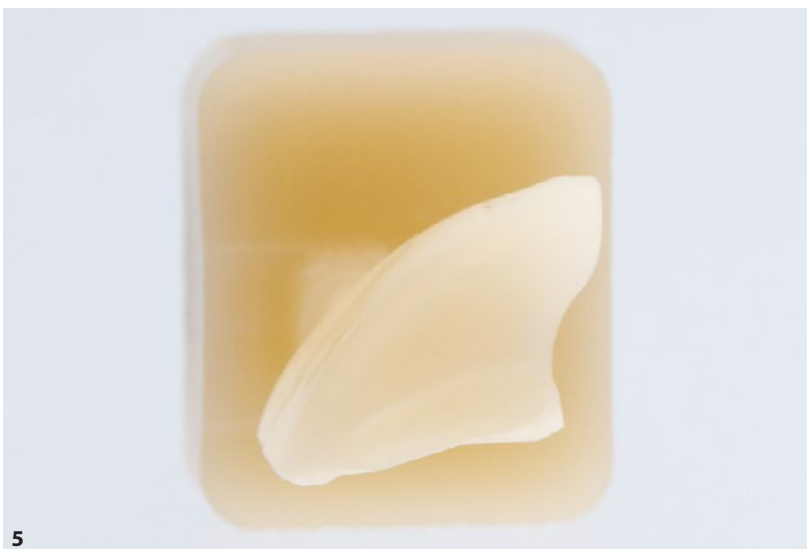
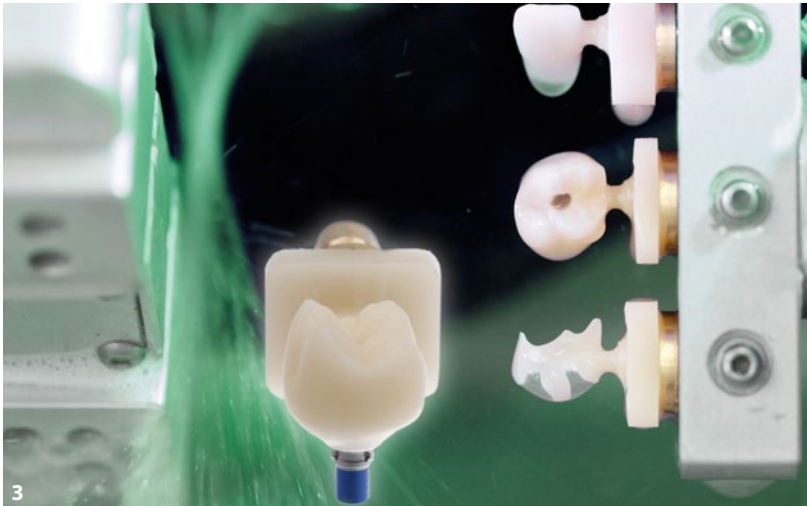


Abb. 3 bis 5 Indikationsvielfalt eines zahnfarbenen CAD/CAM-Komposites (Cerasmart; Fa. GC, Leuven, Belgien): Implantat-Abutment-Krone, Inlays, Einzelkrone (Bilder: Carsten Fischer).

Kunststoff infiltrierte keramische Netzwerke. Im Unterschied zu licht- oder chemisch härtenden polymerbasierten Materialien (z. B. Verblendkunststoff) werden CAD/CAM-Rohlinge in industrieller Umgebung und in der Regel unter optimierten Bedingungen (z. B. Polymerisation bei erhöhter Temperatur sowie höherem Druck) hergestellt. Das führt dazu, dass die Konversionsrate im Vergleich zu konventionell polymerisierten kunststoffbasierten Materialien höher ist und die mechanischen Eigenschaften – z. B. die Biegefestigkeit – verbessert sind. Hinsichtlich ihrer Indikation lassen sich polymerbasierte CAD/CAM-Materialien einteilen in Materialien für

- temporäre Restaurationen (Provisorien, Schienen),
- permanente Restaurationen (z. B. Inlays, Onlays, Kronen, Brücken mit maximal zwei Brückengliedern),
- Hilfsstrukturen (z. B. Modelle, Bohrschablonen, Positionierungshilfen, Mock-ups) und
- Prothesenbasen sowie Prothesenzähne.

Für temporäre Restaurationen kommt in der Regel PMMA (Polymethylenmethacrylat) zur Anwendung. Zudem können transluzente oder zahnfarbene Polycarbonate (z. B. für Funktionsschienen) einer temporäreren Anwendung zugeordnet werden. Bei den permanenten Restaurationen ist zu unterscheiden zwischen polymerbasierten Werkstoffen wie Kompositen (Abb. 6 bis 9) oder polymerinfiltrierten keramischen Netzwerken (PICN, polymer-infiltrated ceramic-network). Auch wenn hier umgangssprachlich von Nano- oder Hybridkeramiken gesprochen wird, sind in der Regel polymerbasierte Werkstoffe gemeint. Diese Werkstoffe werden nicht im Keramikofen gebrannt; denn sie würden sie bei hohen Temperaturen schmelzen oder die Polymerma-



Abb. 6 bis 9 Temporäre Frontzahnkronen, hergestellt aus einem CAD/CAM-Komposit (Cerasmart) mit individueller Charakterisierung (Bilder: Carsten Fischer).

trix würde zerstört werden. Zu den polymerbasierten CAD/CAM-Werkstoffen für herausnehmbare sowie festsitzende Restaurationen gehören die Thermoplaste aus der Familie der Polyaryletherketone (PAEK). Im Dentalbereich werden Polyetheretherketone (PEEK), Polyetherketonketone (PEKK) sowie Arylketonpolymer (AKP) verwendet.

Einteilung der verschiedenen polymerbasierten Werkstoffe

Polymerbasierte CAD/CAM-Komposite setzen sich zusammen aus organischen und anorganischen Bestandteilen und können grob in vier Gruppen gegliedert werden:

- PMMA-Kunststoffe
- Komposite (Methacrylate und anorganische Füllstoffe)
- Polymer (TEGDMA, UDMA) infiltriertes keramisches Netzwerk
- Thermoplaste (Polyaryletherketone (PAEK), Polycarbonat (PC))

Die einzelnen Werkstoffe unterscheiden sich in wichtigen Materialkennwerten, über die der Anwender für einen indikationsgerechten Einsatz und eine materialspezifische Verarbeitung entsprechendes Wissen besitzen sollte.

PMMA-Kunststoffe

PMMA-Werkstoffe basieren auf Methylmethacrylat-(MA)-Monomeren, auch als Monomethacrylate bezeichnet, die in einer radikalischen Polymerisation zu einem Polymer aushärten. Oft werden den Monomethacrylaten Präpolymerisate beigemischt, um die mechanischen Eigenschaften zu optimieren. Grundsätzlich ähnelt das industrielle Herstellungsverfahren von CAD/CAM-PMMA dem der Fertigung von Prothesenzähnen. Die Polymerisation unter Druck und bei erhöhter Temperatur führt jedoch zu verbesserten mechanischen Eigenschaften:

- E-Modul (GPa): 2 bis 3
- Biegefestigkeit (MPa): 90 bis 150



Indikationen: PMMA-Material für die CAD/CAM-gestützte Herstellung wird in der Regel für temporäre Restaurationen verwendet. Im Gegensatz zu Provisorien, die aus Kartuschenmaterialien oder Pulver-Flüssigkeitssystemen gefertigt werden, ist bei CAD/CAM-Provisorien eine bessere Materialhomogenität zu erwarten. Als provisorisches Brückenmaterial sind Restaurationen aus PMMA bis zu zwei Zwischengliedern zugelassen. Mit entsprechenden PMMA-Materialien können auch Prothesenbasen sowie Prothesenzähne im Labor gefertigt werden.

Komposite

Komposite bestehen aus organischen (Polymer) und anorganischen (Füllstoffe) Bestandteilen. Sowohl die Art der verwendeten Monomere als auch die Art, Form und Größe der anorganischen Bestandteile – der sogenannten Füllstoffe – beeinflussen die Eigenschaften der Komposite. Wie bei CAD/CAM-PMMA bewirkt auch bei Kompositen die industrielle Fertigung eine Optimierung der mechanischen Materialeigenschaften. Da der Füllstoffanteil gegenüber den PMMA-Materialien höher ist, haben Komposite einen höheren E-Modul und einen spröderen Charakter. Als Füll-

stoffe verwendet werden anorganische Partikel in verschiedenen Größen und Formen (z. B. SiO₂, ZrO₂, Füllstoffcluster).

- E-Modul (GPa): 9 bis 15
- Biegefestigkeit (MPa): 90 bis 180

Indikationen: festsitzender Zahnersatz wie Kronen, Inlays, Onlay.

Polymerinfiltriertes keramisches Netzwerk (PICN)

Obwohl in der Bezeichnung das Wort „Keramik“ enthalten ist, werden diese Materialien den Polymeren zugeordnet. Die Basis dieses Werkstoffs ist eine keramische Schwammstruktur, also ein lockeres Netzwerk, in dem die keramischen Bestandteile (z. B. Siliziumoxid) zusammen gesintert sind. In die porösen Zwischenräume des Schwamms wird eine Polymermischung aus TEGDMA und UDMA infiltriert und abschließend unter Druck und Wärme polymerisiert. Der keramische Anteil beträgt 86 Gew.-% und der Anteil der organischen Komponente etwa 14 Gew.-%.

- E-Modul (GPa): 30
- Biegefestigkeit (MPa): 150 MPa

Indikationen: festsitzender Zahnersatz wie Kronen, Inlays, Onlay.

Thermoplaste: Polyaryletherketone (PAEK)

Bei PAEK handelt es sich um teilkristalline, thermoplastische Polymere. Thermoplaste sind Kunststoffe, die sich bei einer bestimmten Temperatur formen lassen. PAEK-Materialien weisen einen Schmelzpunkt bei ca. 360 °C auf und sind bis zu dieser Temperatur formstabil. Zu der Familie der PAEK-Materialien gehören die Polyetheretherketone (PEEK), Polyetherketonketone (PEKK) und Arylketonpolymere (AKP). PEEK liegt in mehreren Modifikationen vor und wird von diversen Herstellern angeboten. Ungefülltes PEEK ist für herausnehmbare Prothetik indiziert. Das mit Oxiden, meist Titanoxid, gefüllte PEEK kann zusätzlich in der festsitzenden Prothetik eingesetzt werden (Abb. 10 bis 14). PEKK ist bis zu 20 Gew.-% mit Titanoxid gefüllt und ist sowohl für herausnehmbare als auch für festsitzende Restaurationen zugelassen. AKP ist erst seit kurzem auf dem Markt erhältlich und für teilprothetische Restaurationen freigegeben.

- E-Modul (GPa): 2,8 bis 4,5
- Biegefestigkeit (MPa): 140 bis 250

Indikationen: festsitzende sowie herausnehmbare Restaurationen.



Abb. 10 und 11 Gefrästes PEEK-Gerüst (BioHPP; Fa. Bredent, Senden) für eine zu verschraubende Implantatbrücke (Bild: Philipp von der Osten).



12



13



14

Abb. 12 Mit Komposit (crea.lign, Fa. Bredent) verblendetes PEEK-Gerüst (Bild: Philipp von der Osten). **Abb. 13 und 14** Fertiggestellte implantatgetragene Restauration – PEEK-Gerüst mit Komposit verblendet (Bild: Philipp von der Osten).

Thermoplaste: Polycarbonate (PC)

Bei Polycarbonaten handelt es sich um Polyester der Kohlensäure, hergestellt durch die Polykondensation von Phosgen und Diolen. Daher können diese Materialien verarbeitungsbedingt Bisphenol A enthalten, was bei manchen Patienten zu Unverträglichkeiten führen kann. Polycarbonate sind überwiegend amorpher Struktur und weisen zusätzlich zur hohen Transluzenz und zur zahnfarbenen Optik eine gute Wärmeformbeständigkeit auf.

- E-Modul (GPa): 2 bis 3
- Biegefestigkeit (MPa): 70 bis 120

Indikationen: Verwendet werden Polycarbonate aufgrund ihrer Elastizität hauptsächlich für eine Schienentherapie, z. B. zum Anheben der Bisshöhe (VDO, Vertikaldimension der Okklusion) (Abb. 15 bis 17).

Hinweise zur Verarbeitung

Die im Artikel fokussierten polymerbasierten CAD/CAM-Materialien werden subtraktiv direkt aus dem Endmaterial verarbeitet. Im Gegensatz zu Zirkonoxid oder beispielsweise Lithiumdisilikat muss nicht im Sinter-/Brennofen finalisiert werden. Das gefräste bzw. geschliffene Objekt ist nach dem Ausarbeiten und Polieren einsetzbar. Optional können Restaurationen aus bestimmten Werkstoffen (z. B. Komposit, PICN, PMMA) individualisiert werden (z. B. Verblendung, Maltechnik).

CAD-Konstruktion

Bei der Konstruktion der Restaurationen ist auf ausreichende materialspezifische Wandstärken und Verbinderhöhen zu achten.



CAM-Fertigung

- PMMA- und PC-Werkstoffe werden aus dem industriell gefertigten Rohling gefräst und gefüllte Materialien, wie beispielsweise PICN, geschliffen.
- Die Temperaturentwicklung beim CAD/CAM-Prozess führt zu „schmierenden“ Eigenschaften der Polymere, die dann die rotierenden Werkzeuge zusetzen. Daher sollte entsprechende Kühlflüssigkeit verwendet werden.
- Beim Schleifen bzw. Fräsen fallen Stäube sowie Späne an. Die Fertigungseinheit sollte aus diesem Grund zwischendurch gereinigt werden. Für einzelne Werkstoffe sollten verschiedene Spültanks vorgehalten oder das Schleifmedium ausgetauscht werden.

Manuelles Ausarbeiten

Eine unsachgemäße manuelle Bearbeitung kann zu Rissbildungen und Oberflächenbeschädigungen führen. Es sollten feine Diamanten (< 80 µm) sowie keine abgenutzten oder verschmutzten Werkzeuge verwendet und der Anpressdruck geringgehalten werden. Es ist empfohlen, unter Wasserkühlung zu arbeiten.

Politur

- Rauheiten auf der Oberfläche führen zu einer Exposition der anorganischen Füllkörper. Die Folge kann eine erhöhte Abrasion der Antagonisten sein. Zudem steigern Rauigkeiten das Risiko von Plaqueanlagerungen oder Frakturen.
- Für eine optimale Politur werden verschiedene Protokolle vorgeschlagen; in der Regel handelt es sich um 2- oder 3-Stufen-Systeme, die in korrekter Reihenfolge verwendet werden.

Maltechnik/Verblendung

- Für die Maltechnik stehen lichthärtende Materialien auf Methacrylatbasis zur Verfügung (Abb. 18 und 19).
- Zum Verblenden dienen restaurative Komposite, spezielle Verblendkomposite oder PMMA-Kunststoffe. Zudem gibt es die Möglichkeit, entsprechende Verblendschalen (konfektioniert oder individuell hergestellt) aufzukleben. Auch eine digital hergestellte und entsprechend adhäsiv verklebte Verblendung ist bei poly-



Abb. 15 CAD/CAM-gefräste Schiene aus zahnfarbenen Polycarbonat (Snap-on-Schiene) zum Aufbau der Vertikaldimension der Okklusion (Bild: Jacqueline Riebschläger). **Abb. 16 und 17** Partielle Schiene, gefräst aus zahnfarbenen Polycarbonat (Snap-on-Schiene) zum Ausgleich der Okklusionsebene im Vorfeld einer prothetischen Sanierung (Bild: Jacqueline Riebschläger).



Abb. 18 und 19 Individualisieren von Implantat-Abutmentkronen aus einem CAD/CAM-Komposit mit spezieller lichthärtender Malfarbe (Bilder: Carsten Fischer).

merbasierten CAD/CAM-Materialien möglich.

- Vor dem Verblenden wird das Gerüst im Ultraschallbad mit den entsprechenden Reinigungslösungen gereinigt. Achtung: Polymerbasierte CAD/CAM-Werkstoffe sollten nicht in Kontakt mit aceton- bzw. ethanolhaltigen Reinigungslösungen kommen. Eine Reinigung mit Alkohol kann die Oberfläche des Kunststoffes angreifen, was zur Änderung der optischen und mechanischen Eigenschaften führt.
- Bei allen polymerbasierten CAD/CAM-Kunststoffen spielt zusätzlich zum mechanischen Verbund der chemische Verbund eine entscheidende Rolle. Hier unterscheiden sich je nach Material die Vorgehensweisen (genaue Vorgaben s. Werkstoffkunde-Kompendium).

Befestigung

- Restaurationen aus Komposit werden adhäsiv im Mund befestigt. Nur Kronen aus einem polymerinfiltrierten keramischen Netzwerk, können laut Herstellerangaben mit selbstätzen-

den Befestigungsmaterialien eingegliedert werden.

- Temporäre Restaurationen aus PMMA-basierten Werkstoffen werden mit temporären Zementen befestigt bzw. bei Langzeitprovisorien adhäsiv befestigt.
- Bei einer Einprobe sind wasserlösliche Try-in-Pasten den silikonhaltigen Substanzen vorzuziehen, da ein effektives Entfernen von Silikonölen meist schwierig ist. Vor der definitiven Befestigung ist auf eine ausreichende Reinigung der Restauration (Ultraschall, Luft) zu achten.
- Achtung: keine Reinigung der Restauration mit Alkohol.
- Die Innenfläche der Restaurationen aus polymerbasierten CAD/CAM-Werkstoffen muss vor dem Einsetzen in den Mund mechanisch aufgeraut und chemisch konditioniert werden. Hier unterscheiden sich je nach Material die Vorgehensweisen (Details s. Werkstoffkunde-Kompendium).

Fazit

Grundsätzlich können mit den entsprechenden polymerbasierten CAD/CAM-

Materialien funktionell-ästhetische, langzeitstabile Restaurationen (z. B. Komposit für Veneers, Inlays, Onlays, Kronen) hergestellt werden. Zudem kommt den polymerbasierten Materialien in der temporären (z. B. PMMA für Provisorien) sowie therapeutischen Phase (z. B. Polycarbonat für Funktionsschienen) eine wichtige Rolle zu. Die Vielfalt ist groß. Polymerbasierte CAD/CAM-Fräsmaterialien begegnen dem Zahnarzt und dem Zahntechniker immer häufiger. Dies bedeutet zugleich, sich mit den Materialien auseinanderzusetzen und sie in ihren Eigenschaften zu kennen. Misserfolge sind meist auf fehlerhafte Verarbeitung zurückzuführen, sei es bei der Konstruktion, dem Verblenden oder der Befestigung. PMMA, PICN, PAEK, Komposit – die Materialien unterscheiden sich in wichtigen Punkten und müssen dementsprechend behandelt werden.

Ausführliche Informationen für den praktischen Arbeitsalltag sind im digitalen Werkstoffkunde-Kompendium (Teil 3: Polymerbasierte CAD/CAM-Materialien; www.werkstoffkunde-kompendium.de) zu erfahren (erhältlich für iOS- und MacOS-Endgeräte als interaktive Vollversion sowie als PDF für alle anderen Lesegeräte).

Zusätzlich zu zahlreichen praktischen Hinweisen rund um die Verarbeitung in Praxis und Labor gibt es aussagekräftige Grafiken, fotografisch dokumentierte

Fallbeispiele, Hintergrundinformationen, ein umfangreiches Glossar, Lernkontrollen (Fragespiele) sowie ein Produkt-Supplement.



QR-Code zur iBook-Reihe
Werkstoffkunde-
Kompendium



Annett Kieschnick
Freie Fachjournalistin
Helmholtzstraße 27
10587 Berlin
E-Mail: ak@annettkieschnick.de



Prof. Dr. Dipl. Ing. (FH) Martin Rosentritt
UKR Universitätsklinikum Regensburg
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Franz-Josef-Strauss Allee 11
93042 Regensburg



**PD Dr. Dipl. Ing. (FH) Bogna Stawarczyk,
M. Sc.**
Klinikum der Universität München
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Goethestraße 70
80336 München