



Zusammenfassung

Im Bereich der CAD/CAM-Materialien für provisorischen und festsitzenden Zahnersatz hat in den vergangenen Jahren eine stetige Entwicklung stattgefunden. Heute sind verschiedenste Werkstoffe auf Polymerbasis verfügbar, deren unterschiedliche Eigenschaften zu einer Verunsicherung bei der Indikation und bei der Verarbeitung in den Laboren und in Zahnarztpraxen führen. Die Autoren geben einen kurzen Überblick über die verschiedenen subtraktiv zu verarbeitenden polymerbasierten Werkstoffe.

Indizes

CAD/CAM-Werkstoffe, polymerbasierte Werkstoffe, Kunststoffe, Indikation, Befestigung

Polymerbasierte CAD/CAM-Werkstoffe

Überblick über aktuelle Materialien, Indikationen und Befestigung

Bogna Stawarczyk, Annett Kieschnick, Martin Rosentritt

Die gängigsten polymerbasierten CAD/CAM-Werkstoffe in der Zahnmedizin sind¹¹:

- Polymethylmethacrylate (PMMA)
- Komposite auf Dimethacrylatbasis (DMA)
- Polyaryletherketone (PAEK)
- Polycarbonate (PC)
- Polyurethane (PU)
- Polymerinfiltrierte Keramik (PCIN)

Die polymerbasierten CAD/CAM-Materialien zeigen aufgrund der industriellen Fertigung eine Qualitätssteigerung und eine verbesserte Homogenität im Vergleich zu chemisch bzw. lichterhärtenden Polymeren.¹ Bei der industriellen Fertigung der Rohlinge findet das Aushärten des Werkstoffes unter erhöhter Temperatur und hohem Druck statt. Das führt zu höheren Umsetzungsraten und verbesserten mechanischen Materialeigenschaften.

Um CAD/CAM-Werkstoffe subtraktiv bearbeiten zu können, ist es notwendig, die Situation im Patientenmund zu digitalisieren (direkt am Patientenstuhl bzw. indirekt im Labor anhand von Modellen). Auf Basis der gewonnenen Daten wird die Restauration mittels

Einleitung

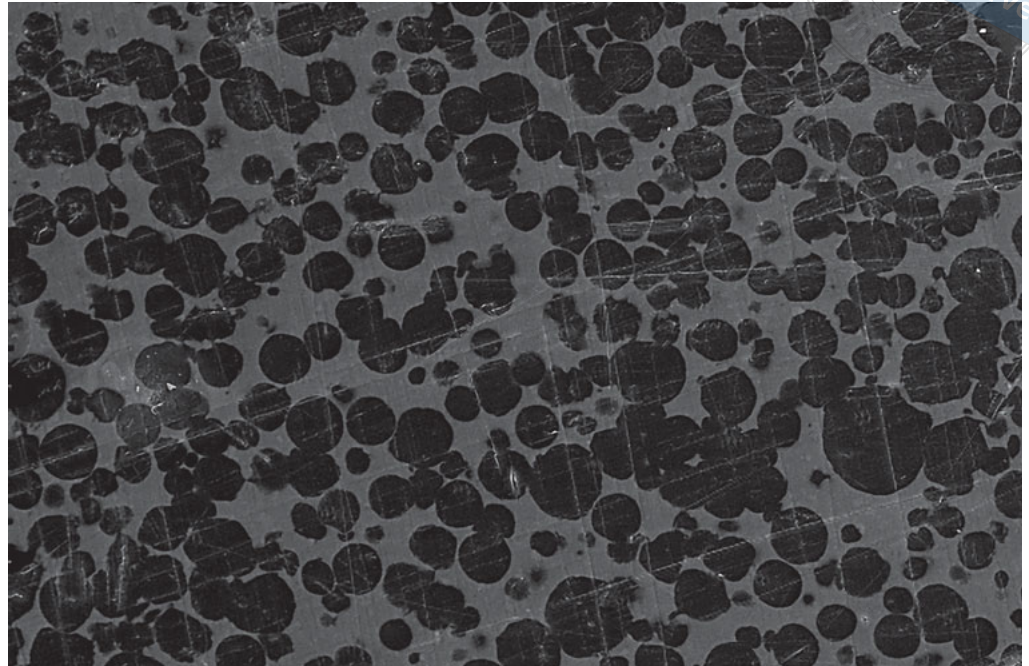


Abb. 1 Rasterelektronische Aufnahme eines Gefüges eines PMMA-basierten CAD/CAM-Werkstoffes. Zu sehen ist die Monomermatrix mit den kugelförmigen Präpolymerisaten.

einer CAD-Software konstruiert und die Daten werden an die CAM-Einheit transportiert. Hier findet das maschinelle Fräsen/Formschleifen der Restauration aus dem industriell hergestellten Rohling statt.

Eine Einteilung der polymerbasierten CAD/CAM-Werkstoffe kann nach deren Indikationsbereichen erfolgen. Sie werden für Provisorien, dauerhafte Restaurationen oder Hilfsmittel, wie z. B. Modelle, Bohrschablonen oder Positionierungshilfen, verwendet.

PMMA-basierte Kunststoffe

Die Basis von PMMA-basierten Kunststoffen bildet Methylmethacrylat (MMA). Sie härten in einer radikalischen Polymerisation aus. Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften werden dem Kunststoff Präpolymerisate bzw. anorganische Füllstoffe in geringen Anteilen von bis ca. 10 Gew% beigemischt (Abb. 1). Die Festigkeit von CAD/CAM-PMMA-Kunststoffen liegt bei ca. 100 MPa und der Elastizitätsmodul bei 2–3 GPa. PMMA-Rohlinge sind als monochrome oder Multilayer-Rohlinge in mehreren Farben erhältlich. Multilayer-Rohlinge werden von zervikal nach inzisal in Schichten immer heller und transluzenter. Mithilfe der CAD-Software kann die Restauration entsprechend im Rohling positioniert und danach gefräst werden. PMMA-Kunststoffe werden in der Regel temporär für Provisorien³ oder als Schienen bzw. als Prothesenbasismaterial eingesetzt. Die Indikationsbereiche dieser Werkstoffe erstrecken sich bis zu mehrgliedrigen Brücken (mit bis zu maximal zwei Zwischengliedern).¹³

Befestigung

Häufig werden PMMA-basierte Kunststoffe als Langzeitprovisorien zur Bisserrhöhung eingesetzt. Hierbei ist eine adhäsive Befestigung empfehlenswert. Die Oberfläche der Restauration wird mit Aluminiumoxid (50 µm) bei einem Druck von 1 bar korundgestrahlt.

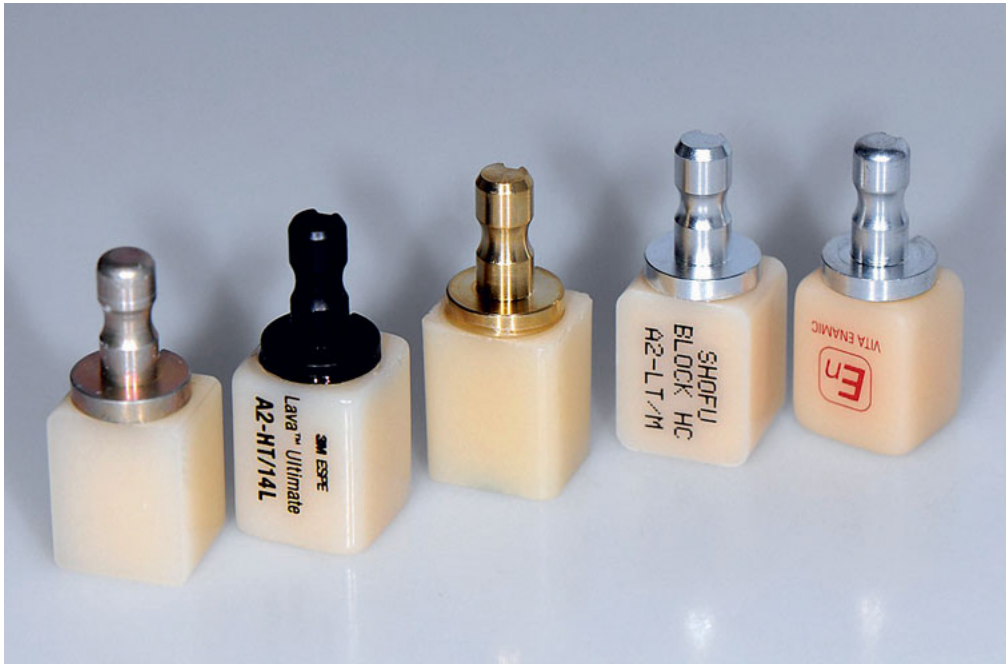


Abb. 2 CAD/CAM-Komposite verschiedener Hersteller.

Das gewählte Adhäsivsystem¹⁵ sollte neben Dimethacrylaten zusätzlich ein MMA-Monomer beinhalten, das den industriell auspolymerisierten Kunststoff anlösen kann und Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen für den Befestigungskomposit bereitstellt. Hier führen Befestigungskomposite zu höherer und stabilerer Haftung als selbstadhäsive Befestigungsmaterialien.

Die CAD/CAM-Komposite (Abb. 2) sind direkten Füllungs- und Verblendkompositen im Aufbau sehr ähnlich. Sie beinhalten einen organischen und einen anorganischen Anteil. Der organische Anteil besteht aus unterschiedlichen Monomeren, meist Dimethacrylaten, wie z. B. BisGMA, TEGDMA, UDMA. Der anorganische Anteil – meist über 70 Vol% – setzt sich aus diversen Füllstoffen zusammen (z. B. Siliziumoxid, Kieselsäure, Zirkonoxid, Präpolymerisate etc.) (Abb. 3). Um einen Verbund zwischen den Füllstoffen und den organischen Anteilen zu erzielen, müssen die Füllstoffe silanisiert werden. Silan fungiert als Haftvermittler zwischen Füllstoff und Monomeren. Durch die industrielle Polymerisation ist die Umsetzungsrate der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen im Vergleich zu Füllungs- bzw. Verblendkompositen erhöht und der Restmonomergehalt geringer. Somit zeigen diese CAD/CAM-Komposite im Vergleich zu herkömmlichen Füllungskompositen verbesserte mechanische Eigenschaften^{5,7,14}, aber einen schlechteren chemischen Verbund zum Befestigungskomposit. Unterschiede zwischen den Materialien ergeben sich besonders durch die Art und Menge der verwendeten Füllstoffe (anorganischer Anteil) und der eingesetzten Polymerbasis (organischer Anteil). Einige Hersteller vermarkten CAD/CAM-Komposite irrtümlich als Keramiken („Nano(hybrid)Keramik“), da sie einen hohen Anteil an anorganischen Füllkörpern besitzen. Die Festigkeit von

CAD/CAM-Komposite

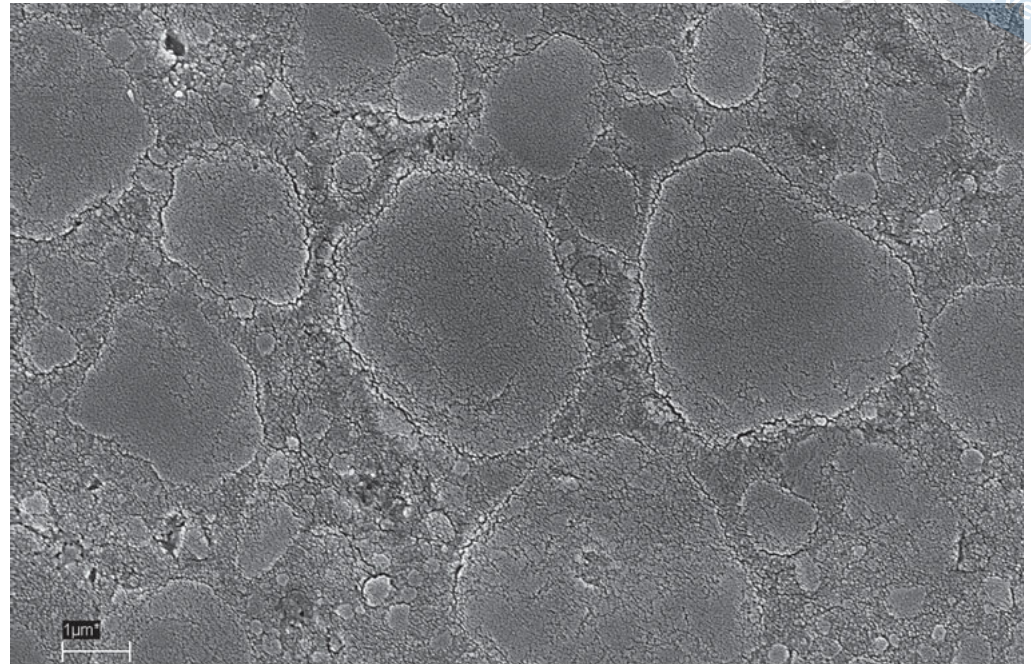


Abb. 3 Rasterelektronische Aufnahme eines Gefüges eines CAD/CAM-Komposits. Zu sehen ist die Monomermatrix mit unterschiedlich großen anorganischen Füllstoffpartikeln.

CAD/CAM-Kompositen liegt bei ca. 100 MPa und der Elastizitätsmodul bei 10–18 GPa. Die Komposit-Rohlinge sind als monochrome Rohlinge in mehreren Farben erhältlich. CAD/CAM-Komposite werden für permanente festsitzende Einzelzahnrestaurationen eingesetzt.

Befestigung Komposite können in der Regel nicht oder nur unzureichend geätzt werden und sollten vor der Befestigung mit geringem Druck (< 1 bar) und kleinem Strahlgut (50 μm) korundgestrahlt werden. Die CAD/CAM-Komposite müssen zur Befestigung mit einem mit dem Komposit abgestimmten Adhäsiv (beinhaltet meist MMA, Dimethacrylate, MDP und Silan) konditioniert werden.^{8,9}

Polyaryletherketone (PAEK) Die am häufigsten eingesetzten CAD/CAM-Thermoplaste sind Polyaryletherketone. Zu dieser Hauptgruppe zählen Polyetheretherketone (PEEK), Polyetherketoneketone (PEKK) und Arylketonpolymere (AKP) (Abb. 4). Die mechanischen Eigenschaften dieser Polymere werden überwiegend durch die Anzahl an Keton- und Ethergruppen sowie die Dotierung mit weiteren Bestandteilen (wie z. B. Titanoxid) bestimmt. Je höher der Dotierungsgrad sowie die Anzahl der Ketongruppen, desto steifer ist das Polymer. Umgesetzt werden kann PAEK über die Press- oder Frästechnologie. CAD/CAM-gefräste Restaurationen zeigen bessere mechanische Eigenschaften.

PEEK ist als mit Titanoxid gefülltes (10 bis ca. 30 Gew%) oder reines ungefülltes Material erhältlich. Es gehört zu dem meist verbreiteten PAEK-Werkstoff in der Zahnmedizin und wird von mehreren Firmen vertrieben. Es ist in grau sowie zahnfarben und gingivafarben erhältlich.



Abb. 4 Unterschiedlich eingefärbte PAEK-Werkstoffe.

PEKK wird zurzeit nur von einer Firma (Cendres Metaux, Biel, Schweiz) vertrieben und ist mit 10 Gew% Titanoxid dotiert. Die Rohlinge sind in grauen und zahnfarbenen Tönen auf dem Markt.¹²

Auf der IDS 2017 wurde der Rohling AKP zum ersten Mal von der Firma Solvay (Düsseldorf) vorgestellt. Das Material ist mit Oxiden gefüllt und hat eine zahnähnliche Farbe. Leider ist die Datenlage zu dem Werkstoff sehr gering.

Für alle PAEK-Werkstoffe gilt, dass sie sehr opak und nicht transluzent sind.² PAEK-Werkstoffe zeigen Festigkeitswerte bis ca. 160 MPa und einen Elastizitätsmodul zwischen 3,5 bis ca. 5 GPa. Die Indikationsbereiche von ungefülltem PEEK liegen in der herausnehmbaren Prothetik. Gefülltes PEEK und PEKK wird für festsitzenden und herausnehmbaren Zahnersatz verwendet. AKP ist für die Klammerprothetik indiziert.

Indikationen

Da PAEK-Werkstoffe monomerfrei sind, ist ein Verbund mit weiteren Kunststoffen nur schwer möglich. Zur Steigerung der Benetzbarkeit sollte die Oberfläche mit Aluminiumoxidpulver (50 µm, 2,5 bar) korundgestrahlt werden.⁶ Ein Adhäsivsystem, das neben Dimethacrylaten zusätzliche MMA-Monomere enthält, steigert die Hafteigenschaften zu Kompositen (Verblendkomposite bzw. Befestigungskomposite) und muss daher für einen optimalen Verbund zwingend verwendet werden.^{4,16} Die zusätzliche Anwendung eines Opakers erhöht die Verbundfestigkeiten zu Kompositen.¹² Der Verbund zwischen PAEK- und PMMA-Kunststoff (Prothesenbasiskunststoff für herausnehmbare bzw. Totalprothetik) zeigt zuverlässige Ergebnisse.

Befestigung

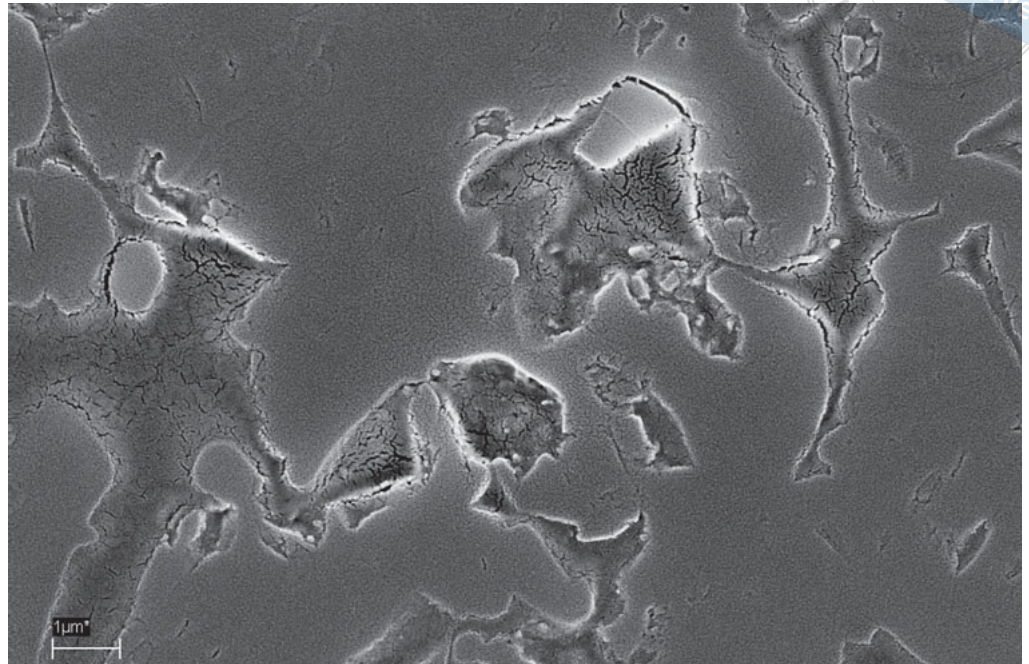


Abb. 5 Eine rasterelektronische Aufnahme eines Gefüges einer CAD/CAM-Hybridkeramik. Zu sehen ist die keramische Matrix mit infiltrierten Polymeranteilen.

Polycarbonate

Eine weitere Gruppe der Thermoplaste bilden Polycarbonate. Aufgrund seiner elastischen Eigenschaften wird dieses Material häufig für Schienen verwendet. Polycarbonate weisen eine hohe Transluzenz auf und sind in Zahnfarben erhältlich. Sie sind wärmeformbeständig, können jedoch im Kontakt mit UV-Licht altern. UV-Licht im Wellenlängenbereich von 340 nm führt dazu, dass das Material spröde wird und sich verfärbt. Eine chemische Bindung zwischen Polycarbonaten und weiteren Kunststoffen (Verblend- bzw. Befestigungskompositen) ist aufgrund der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung nur eingeschränkt möglich. Hierzu gibt es keine wissenschaftliche Datenlage. Polycarbonate werden überwiegend für temporäre Versorgungen sowie Schienen eingesetzt.

Polyurethane (PU)

Polyurethane (PU) werden häufig für das Herstellen von Modellen verwendet. Sie entstehen bei der Reaktion von Dialkoholen mit Polyisocyanaten.

Polymerinfiltrierte Keramiken (PICN)

Polymerinfiltrierte Keramik (PICN) ist keine Keramik. Hier handelt es sich um eine schwammige Grundsubstanz aus Glaskeramik, die mit Monomeren wie TEGDMA und UDMA infiltriert ist (Abb. 5).¹⁰ Somit bestehen ca. 86 Gew% aus Keramik und der Rest des Werkstoffes aus Kunststoff. PICN kann nicht keramisch verblendet werden, da bei Temperaturen über 250 °C der Kunststoffanteil irreversibel zerstört würde. Zum heutigen Zeitpunkt wird dieser Werkstoff (VITA Enamic) nur von einer Firma (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) vertrieben (Abb. 6). Polymerinfiltrierte Keramik zeigt Festigkeitswerte von bis ca. 120 MPa. Der Elastizitätsmodul liegt bei ca. 30 GPa. Die Indikation dieses Werkstoffes sind Einzelzahnrestaurationen.



Abb. 6 CAD/CAM-Hybridkeramik mit den abgestimmten Oberflächenpolierern.

Kronen aus PICN können sowohl adhäsiv befestigt als auch zementiert werden. Vor der Befestigung sollte die Restauration mit Flusssäure für 60 Sekunden geätzt werden. Die adhäsive Befestigung kann analog zu einer glaskeramischen Restauration vorgenommen werden.

Befestigung

Aufgrund der hohen Auswahl an polymerbasierten CAD/CAM-Werkstoffen ist es für den Anwender nicht immer einfach, die richtige Entscheidung bezüglich des Materials zu treffen. Die werkstoffkundlichen Grundlagen erleichtern die Auswahl des Materials für die infrage kommenden Indikationsbereiche. Die Präparationsrichtlinien, die Ver- und Bearbeitung des Werkstoffes sowie das Wissen um die jeweils richtige Befestigungsstrategie sind für den langfristigen klinischen Erfolg entscheidend. Zahntechniker und Zahnärzte müssen das werkstoffkundliche Wissen haben, um die Werkstoffe richtig einzusetzen und um patientenorientiert zu arbeiten. Ohne Werkstoffkunde gäbe es keine Werkstoffe und ohne Werkstoffe wäre eine Herstellung des Zahnersatzes unmöglich.

Fazit

Im digitalen Werkstoffkunde-Kompendium „Moderne dentale Materialien im praktischen Alltag“ gehen die Autoren ausführlich auf alle relevanten Bereiche der Werkstoffkunde sowie die Verarbeitung der Materialien in Praxis und Labor ein. Derzeit sind zwei E-Books erhältlich – „Zirkonoxid“ und „Dentale Keramiken“. Am dritten E-Book „Polymerbasierte CAD/CAM-Werkstoffe“ arbeiten die Autoren derzeit und planen, Ende 2018 damit auf den Markt zu gehen. Weitere Informationen unter www.werkstoffkunde-kompendium.de.



- Literatur*
1. Beuer F, Stawarczyk B, Güth JF, Schweiger J, Tholey MJ, Kirsten A. Übersichts Hochleistungspolymer. Dental dialogue 2013;14:84–100.
 2. Bodden L, Lümekemann N, Köhler V, Eichberger M, Stawarczyk B. Impact of the heating and quenching process on the mechanical, optical and thermodynamic properties of polyetheretherketone (PEEK) films. Dent Mater 2017;33:1439–1444.
 3. Edelhoff D, Schraml D, Eichberger M, Stawarczyk B. Comparison of fracture loads of CAD/CAM and conventionally fabricated PMMA-based temporary fixed dental prostheses after different aging regimes. Int J Comp Dent 2016;19:101–112.
 4. Fiebig M, Stawarczyk B. Überblick über den Verbund von Polyetheretherketon zu Verblend- und Befestigungskunststoffen. Dental dialogue 2015;16:98–105.
 5. Hampe R, Lümekemann N, Sener B, Stawarczyk B. The effect of artificial aging on Martens hardness and indentation modulus of different dental CAD/CAM restorative materials. J Mech Behav Biomed Mater 2018;86:191–198.
 6. Lümekemann N, Strickstroch M, Eichberger M, Zylla IM, Stawarczyk B. Cementation of PEEK-restorations: impact of air-abrasion pressure and adhesive systems on bonding parameters for polyetheretherketone dental restorations. Int J Adhes Adhes 2018;80:30–38.
 7. Pfeilschifter M, Preis V, Behr M, Rosentritt M. Edge strength of CAD/CAM materials. J Dent 2018;74:95–100.
 8. Reymus M, Eichberger M, Stawarczyk B. Neue CAD/CAM-Hochleistungspolymer – Revolution in der Zahnmedizin? Zusammenfassung der wissenschaftlichen Datenlage. Quintessenz Zahntech 2016;43:908–920.
 9. Reymus M, Roos M, Eichberger M, Edelhoff D, Hickel R, Stawarczyk B. Bonding to new CAD/CAM resin composites: Influence of air abrasion and conditioning agents as pretreatment strategy. Clin Oral Investig 2018; doi: 10.1007/s00784-018-2461-7 [epub ahead of print].
 10. Rosentritt M, Hahnel S, Kieschnick A, Stawarczyk B. Aktuelle Übersicht zahnfarbener Materialien. Quintessenz Zahntech 2018;44:680–687.
 11. Rosentritt M, Kieschnick A, Stawarczyk B. Werkstoffkunde-Kompendium „Polymerbasierte CAD/CAM-Werkstoffe“: Moderne dentale Materialien im praktischen Arbeitsalltag. Berlin: Annett Kieschnick Dentale Fachkommunikation, 2018.
 12. Silla M, Eichberger M, Stawarczyk B. Polyetherketonketon (PEKK) als Restaurationswerkstoff in der modernen Zahnmedizin: eine Literaturübersicht. Quintessenz Zahntech 2016;42:176–190.
 13. Stawarczyk B, Ender A, Trottmann A, Özcan M, Fischer J, Hämmerle CHF. Load-bearing capacity of CAD/CAM milled polymeric three-unit fixed dental prostheses: effect of aging regimens. Clin Oral Investig 2012;16:1669–1677.
 14. Stawarczyk B, Liebermann A, Eichberger M, Güth JF. Evaluation of mechanical and optical behavior of current esthetic dental restorative CAD/CAM composites. J Mech Behav Biomed Mater 2016;55:1–11.
 15. Stawarczyk B, Rosentritt M. Glossar der Verbundmechanismen und Oberflächenvorbehandlung. Quintessenz Zahntech 2017;43:1405–1407.
 16. Stawarczyk B, Tauffall S, Roos M, Schmidlin PR, Lümekemann N. Bonding of composite resin to PEEK: The influence of adhesive systems and air-abrasion parameters. Clin Oral Investig 2018;22:763–771.



PD Dr. Dipl.-Ing. (FH) Bogna Stawarczyk, MSc
Klinikum der Universität München
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Goethestraße 70
80336 München
E-Mail: bogna.stawarczyk@med.uni-muenchen.de



Annett Kieschnick
Freie Fachjournalistin
Helmholtzstraße 27
10587 Berlin



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