



**Ergebnisse der EADT e.V. Konsensus-Konferenz
„Verbundmechanismen“**

„Verbundmechanismen“ sind ein in der prothetischen Zahnmedizin bzw. Werkstoffkunde oft diskutiertes Thema, dem sich der EADT e.V. im Rahmen der Konsensus-Konferenz 2018 annahm. Es wurden fünf verschiedene Expertengruppen gebildet und mit Gruppenleitern besetzt. Jede Gruppe – Zahnmediziner/innen, Zahntechniker/innen, Dentaltechnologe/innen und Wissenschaftlern/innen – bearbeitete ein Thema aus den Bereichen der Verbundmechanismen:

- Haftung an Legierungen
- Komposit/Hybridkeramik
- Oxidkeramik
- PAEK
- PMMA
- Silikatkeramik

Gemeinsam haben die Gruppenmitglieder ihr Thema anhand der aktuellen wissenschaftlichen Literatur diskutiert und unter Führung des Gruppenleiters einen Konsens gebildet. Ziel war, Übereinstimmungen der wissenschaftlichen Literatur zu den jeweiligen Themen zu finden, welche zugleich relevante Fragen aus dem prothetischen Arbeitsalltag beantworten.

Ziel: Die Ergebnisse der EADT e.V. Konsensus-Konferenz „Verbundmechanismen“ sollen Handlungsempfehlungen für den praktischen Arbeitsalltag geben – von der Vorbehandlung und Konditionierung der Oberfläche für die Verblendung bis hin zur intraoralen Befestigung.

Nachbereitung: Die während der Konsensus-Konferenz 2018 zusammengetragenen Ergebnisse der Literaturrecherche wurde innerhalb der vergangenen Monate aufbereitet und entsprechend der aktuellen Literaturquellen aktualisiert. Die vorliegende Ausarbeitung widmet sich der „Haftung an PAEK-Werkstoffen“.

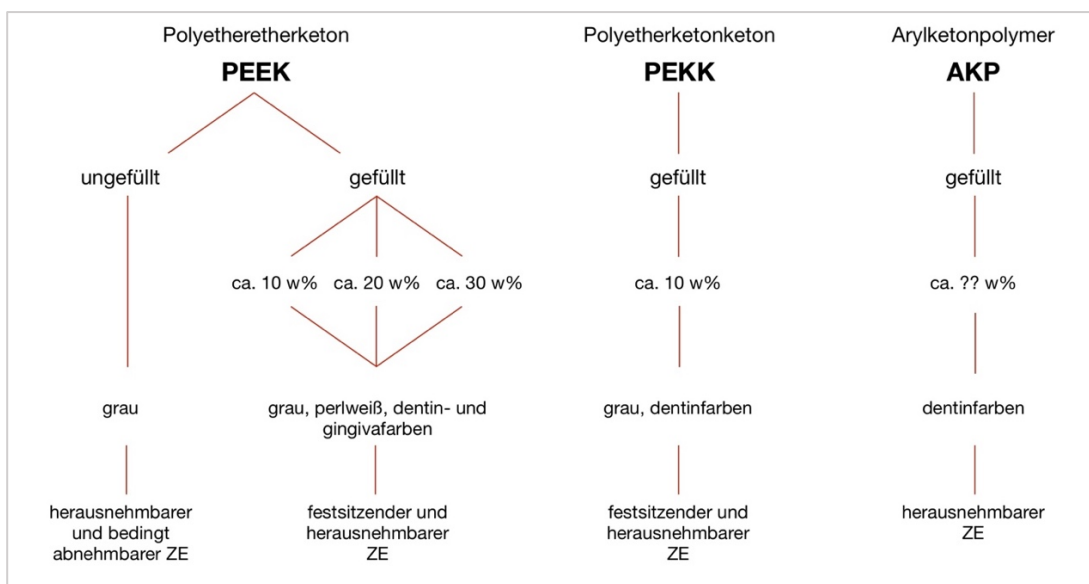
Haftung an PAEK-Werkstoffen

Aktueller Konsens basierend auf der wissenschaftlichen Datenlage (Stand Feb. 2019)

Gruppenmitglieder: Bogna Stawarczyk, Nina Lümckemann, Annett Kieschnick, Philip Wolf, Thomas Born, Alexander Prechtel

Materialüberblick PAEK

Polyaryletherketon (PAEK) wird in der prothetischen Zahnmedizin seit einigen Jahren für verschiedene Indikationen im Bereich des festsitzenden und herausnehmbaren Zahnersatzes angewandt. Je nach Material erfolgt die Fertigung des Objektes in der CAD/CAM-Frästechnik (Blanks) oder dem Pressverfahren (Pellets, Granulat). Seit einiger Zeit kann PAEK auch im 3D-Druck-Verfahren (Filament-Drucker) umgesetzt werden. Die Materialgruppe der Polyaryletherketone (PAEK) wird den Hochleistungsthermoplasten zugeordnet. PAEK-Werkstoffe sind teilkristalline Polymere. Grundsätzlich unterschieden wird nach Materialmodifikationen in Polyetheretherketon (PEEK), Polyetherketonketon (PEKK) und Arylketonpolymer (AKP). Die einzelnen Materialien unterscheiden sich durch eine Variation der funktionellen Gruppen in der Polymerkette. Hierdurch werden die Eigenschaften des Werkstoffes entsprechend eingestellt. Auch die Verbundmechanismen verändern sich dadurch. Zudem differenzieren sich die Untergruppen der PAEK-Familie herstellerspezifisch in gefüllte und ungefüllte Materialien.



Allgemein: Verbund PAEK

PAEK hat eine inerte Oberfläche, was einerseits der Biokompatibilität zu Gute kommt, jedoch andererseits den zuverlässigen und dauerhaften Verbund mit anderen Materialien erschwert. Die reaktionsarme Oberfläche beruht u. a. darauf, dass PAEK kein Monomer (Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen) beinhaltet. Aufgrund der geringeren funktionellen Gruppen steht nur eine begrenzte Anzahl potenzieller Bindungsstellen zur Verfügung. Die reduzierte Oberflächenenergie von PAEK resultiert in einer geringen Benetzbarkeit, was die Verbundeigenschaften einschränkt. Für den Verbund von PAEK mit anderen Kunststoffen muss daher Oberflächenenergie (Benetzbarkeit) durch eine Gerüstvorbehandlung und -konditionierung verbessert werden.

Bei einem herausnehmbaren Zahnersatz spielt der Verbund zwischen PAEK-Gerüst und Prothesenkunststoff bzw. Verblendkomposit eine wichtige Rolle. Bei einem festsitzenden Zahnersatz sind die Verbundeigenschaften des PAEK-Gerüsts sowohl bei der Verblendung (Komposit) als auch bei der Befestigung wichtig. Basierend auf diesen Anforderungen wurden für die Konsens-Konferenz folgende Fragestellungen definiert:

1. Wie ist der Verbund zwischen PAEK und Verblendwerkstoffen (Komposit)?
2. Wie ist der Verbund zwischen PAEK und PMMA bei einer Teilprothese?
3. Wie müssen PAEK-Restaurationen befestigt werden?

Die Literaturrecherche wurde mit Hilfe der Datenbank PubMed.com vorgenommen. Insgesamt sind bei der Recherche **37 relevante Literatur-Referenzen** gefunden und in den Konsens aufgenommen worden.

Folgende Schlüsselbegriffe (einzeln als auch gepaart) wurden durchsucht:

- Polyaryletherketone (PAEK)
- Polyetheretherketone (PEEK), Polyetherketoneketone (PEKK)
- dental
- bonding
- bonding strength

- luting
- resin composite cement
- veneering
- veneering composite resin
- denture resin
- polymethylmethacrylate (PMMA)

Ergebnisse der Literaturrecherche:

- Polyaryletherketone (PAEK) 9 (1493) Treffer
- Polyetheretherketone (PEEK) 912 (3034) Treffer
- Polyetherketoneketone (PEKK) 18 (24) Treffer
- PEEK and resin cement 13 Treffer davon 11 relevant
- PEEK and veneering resin/veneering composite/veneering 29 Treffer davon 9 relevant
- PEEK and bond strength 20 Treffer davon 16 relevant
- PEEK and PMMA/polymethylmethacrylate 46 Treffer davon 0 relevant
- PEKK and veneering resin/veneering composite/veneering 1 Treffer davon 1 relevant
- PEKK and resin cement 1 Treffer davon 1 relevant
- PEKK and PMMA/polymethylmethacrylate 2 Treffer davon 0 relevant

Insgesamt relevante Literatur: **37**



EADT

European Association of Dental Technology

1. Verbund PAEK und Komposit (Verblendung)

PEEK sowie PEKK: verblendbar

AKP: kontraindiziert, da für **nur** Klammerprothesen indiziert

Gerüstvorbehandlung PEEK

- **Korundstrahlen des Gerüsts** (Stawarczyk et al J Biomed Mater Res B 2013, Keul et al J Adhes Dent 2014, Rosentritt et al Clin Oral Invest 2015, Stawarczyk et al Clin Oral Invest 2017, Schwitalla et al Dent Mater 2017, Bötzel et al Dent Mater 2018, Caglar et al J Prosthodont 2019, Hahnel S et al J Prosthet Dent 2018, Stawarczyk et al Clin Oral Invest 2018). **Der Strahldruck beeinflusst die Verbundfestigkeit mehr als die Korngröße** (Stawarczyk et al J Biomed Mater Res Part B 2013, Stawarczyk et al Clin Oral Invest 2017, Stawarczyk et al Clin Oral Invest 2018); **empfohlen: 3,5 bar, 50 µm** (Stawarczyk et al Clin Oral Invest 2018).
- **Eine Konditionierung mit MMA-basierten Adhäsivsystemen ist notwendig, visio.link zeigt höchste Verbundfestigkeiten zu anderen Kunststoffen** (Stawarczyk et al J Prosthet Dent 2014, Stawarczyk et al Dent Mater J 2013, Rosentritt et al Clin Oral Invest 2015, Bötzel et al Dent Mater 2018, Caglar et al J Prosthodont 2019, Stawarczyk et al Clin Oral Invest 2018)
- **Opaquer steigert den Verbund** (Rosentritt et al. Clin Oral Investig 2015)
- **digitale Verblendung führt zu höheren Gesamtstabilität, alle anderen Verblendarten (Verblendschale und Verblendkomposit) zeigten keine Unterschiede** (Taufall et al Clin Oral Investig 2016)
- **Viskosität des Komposites spielt eine untergeordnete Rolle** (Stawarczyk et al J Biomed Mater Res Part B 2013, Keul et al J Adhes Dent 2014, Stawarczyk et al Dent Mater J 2013)

Gerüstvorbehandlung PEKK

- **Korundstrahlen des Gerüsts mit 110 µm, 2 bar wird empfohlen** (Stawarczyk et al J Adhes Dent 2017)
- **Konditionierung mit MMA-haltige Adhäsivsystemen zeigt gute Verbundfestigkeiten, z. B. mit visio.link** (Stawarczyk et al J Adhes Dent 2017, Fokas G et al J Mech Behav Biomed Mater 2019, Labriaga et al J Adv Prosthodont 2018)
- **Vorbehandlung des PEKK Gerüsts mit Opaquer steigert den Verbund** (Stawarczyk et al J Adhes Dent 2017)
- **Viskosität des Verblendkomposites spielt eine Rolle im Bezug auf den Verbund. Je niedrig visköser desto höher der Verbund** (Stawarczyk et al J Adhes Dent 2017)

2. Verbund PAEK und PMMA (Teilprothesen)

PEEK, PEKK sowie AKP sind für Teilprothesen indiziert

Gerüstvorbehandlung PEEK

- Korundstrahlen des Gerüsts (Ichikawa et al Dent J 2019)

Gerüstvorbehandlung PEKK

- Korundstrahlen des Gerüsts mit 110 µm, 2 bar wird empfohlen (Stawarczyk et al J Adhes Dent 2017)
- Konditionierung mit MMA-haltige Adhäsivsystemen zeigt gute Verbundfestigkeiten, z.B. mit visio.link (Stawarczyk et al J Adhes Dent 2017)
- Vorbehandlung des PEKK Gerüsts mit Opaquer steigert den Verbund (Stawarczyk et al J Adhes Dent 2017)

Gerüstvorbehandlung AKP

- Keine wissenschaftlich publizierte Literatur gefunden

3. Befestigung PAEK

PEEK sowie PEKK: adhäsive Befestigung möglich

AKP: kontraindiziert, da für nur Klammerprothesen indiziert

Gerüstvorbehandlung PEEK

- Korundstrahlen steigert den Verbund zu Befestigungskompositen (Schmidlin et al Dent Mater 2014, Hallmann et al App Surf Sci 2012, Kern et al Dent Mater 2012)
- Es wird empfohlen, mit 50 µm Aluminiumoxidsand und 4 bar korundzustahlen (Lümkemann et al Int J Adhes Adhes 2018)
- Konditionierung mit MMA-haltige Adhäsivsystemen zeigt gute Verbundfestigkeiten, z. B. mit visio.link (Kern et al Dent Mater 2012, Stawarczyk et al Dent Mater J 2014, Stawarczyk et al Clin Oral Investig 2014, Fuhrmann et al Dent Mater 2014, Uhrenbacher et al J Prosthet Dent 2014)

Gerüstvorbehandlung PEKK

- Phosphatprimer (mit MDP) hat keinen signifikanten Einfluss auf die Haftfestigkeit zu PEKK (Sakihara et al Odontology 2018)
- Silikatisieren und Adhäsivsysteme auf MMA-basis steigern den Verbund (Fuhrmann et al Dent Mater 2014, Lee et al J Adv Prosthodont 2017)

Wissenswertes

- Vorverhandlung mit Schwefelsäure steigert den Verbund , ist aber zu gefährlich im praktischen Umgang (Schmidlin et al Dent Mater 2010, Stawarczyk et al J Biomater Res Part B 2013, Stawarczyk et al J Prosthet Dent 2014, Sproesser et al J Adhes Dent 2014, Sproesser et al Int J Adhes Adhes 2014, Uhrenbacher et al J Prosthet Dent 2014, Zhou et al Dent Mater 2014, Rosentritt et al Clin Oral Invest 2015, Silthampitag et al Dent Mater J 2016, Rocha et al Braz Dent J 2016, Chajjareenont et al Dent Mater J 2018, Sakihara et al Odontology 2018, Fokas G et al J Mech Behav Biomed Mater 2019)
- Vorverhandlung mit Plasma steigert nicht den Verbund aber die Benetzbarkeit (Schmidlin et al Dent Mater 2016, Stawarczyk et al J Adhes Dent 2017, Schwitalla et al Dent Mater 2017, Bötzel et al Dent Mater 2018)
- Polymerisationslampe (UV-Strahlen) sollte auf das Adhäsiv abgestimmt sein (Herstellerhinweis) (Lümkemann et al Materials 2017)
- UV-Strahlen können Materialqualität (PEEK ungefüllt, gefüllt) beeinflussen (Lümkemann et al Dent Mater 2017)

Ein sofortiger und kontinuierlicher Arbeitsablauf in Bezug auf Vorbehandlung, Konditionierung und Verblendung von PAEK-Oberflächen sind für gute Haftungseigenschaften wichtig (Stawarczyk et al Clin Oral Invest 2018).

EADT e.V. Konsens-Konferenz, Stand 19. März 2019 Verbundmechanismen PAEK

Zusammenfassung/Handlungsempfehlungen nach derzeitigem Stand der Literatur

Die Oberflächenvorbehandlung von PAEK-basierten Werkstoffen mittels Korundstrahlen führt zu einer Reinigung sowie Vergrößerung der Oberfläche durch Mikroretentionen und steigert somit die Benetzbarkeit. Für den adhäsiven Verbund ist ein MMA-haltiges Adhäsivsystem notwendig. Zur Zeit zeigt visio.link die höchsten Verbundfestigkeiten. Die Verwendung von Opaquer steigert den Verbund zusätzlich. Um dem Anwender eine sichere Vorgehensweise empfehlen zu können, sind weitere wissenschaftliche Untersuchungen, insbesondere für das Material AKP erforderlich.

Literatur

- Bötel F, Zimmermann T, Sutel M, Müller WD, Schwitalla AD. Influence of different low-pressure plasma process parameters on shear bond strength between veneering composites and PEEK materials. *Dent Mater* 2018;34:e246-e54.
- Caglar I, Ates SM, Yesil Duymus Z. An In Vitro Evaluation of the Effect of Various Adhesives and Surface Treatments on Bond Strength of Resin Cement to Polyetheretherketone. *J Prosthodont* 2019;28:e342-e49.
- Chaijareenont P, Prakhamsai S, Silthampitag P, Takahashi H, Arksornnukit M. Effects of different sulfuric acid etching concentrations on PEEK surface bonding to resin composite. *Dent Mater J* 2018;37:385-92.
- Dawson JH, Hyde B, Hurst M, Harris BT, Lin WS. Polyetheretherketone (PEEK), a framework material for complete fixed and removable dental prostheses: A clinical report. *J Prosthet Dent* 2018;119:867-72.
- Fokas G, Guo CY, Tsoi JKH. The effects of surface treatments on tensile bond strength of polyether-ketone-ketone (PEKK) to veneering resin. *J Mech Behav Biomed Mater* 2019;93:1-8.
- Fuhrmann G, Steiner M, Freitag-Wolf S, Kern M. Resin bonding to three types of polyaryletherketones (PAEKs) - Durability and influence of surface conditioning. *Dent Mater* 2014;30:357-363
- Hahnel S, Scherl C, Rosentritt M. Interim rehabilitation of occlusal vertical dimension using a double-crown-retained removable dental prosthesis with polyetheretherketone framework. *J Prosthet Dent* 2018;119:315-18.
- Hallmann L, Mehl A, Sereno N, Hämmerle CHF. The improvements of adhesive properties of PEEK through different pre-treatments. *Appl Surf Sci* 2012;258:7213-7218
- Henriques B, Fabris D, Mesquita-Guimaraes J, Sousa AC, Hammes N, Souza JCM, et al. Influence of laser structuring of PEEK, PEEK-GF30 and PEEK-CF30 surfaces on the shear bond strength to a resin cement. *J Mech Behav Biomed Mater* 2018;84:225-34.
- Ichikawa T, Kurahashi K, Liu L, Matsuda T, Ishida Y. Use of a Polyetheretherketone Clasp Retainer for Removable Partial Denture: A Case Report. *Dent J* 2019;7:1-6.
- Kern M, Lehmann F. Influence of surface conditioning on bonding to polyetheretherketone (PEEK). *Dent Mater* 2012;28:1280-1283
- Keul C, Liebermann A, Schmidlin PR, Roos M, Sener B, Stawarczyk B. Influence of PEEK Surface Modification on Surface Properties and Bond Strength to Veneering Resin Composites. *J Adhes Dent* 2014;16:383-392
- Labriaga W, Song SY, Park JH, Ryu JJ, Lee JY, Shin SW. Effect of non-thermal plasma on the shear bond strength of resin cements to Polyetheretherketone (PEEK). *J Adv Prosthodont* 2018;10:408-14.
- Lee KS, Shin MS, Lee JY, Ryu JJ, Shin SW. Shear bond strength of composite resin to high performance polymer PEEK according to surface treatments and bonding materials. *J Adv Prosthodont* 2017;9:350-357
- Lümkemann N, Eichberger M, Stawarczyk B. Bonding to Different PEEK Compositions: The impact of Dental Light Curing Units. *Materials* 2017;10:1-10
- Lümkemann N, Eichberger M, Stawarczyk B. Different PEEK qualities irradiated with light of different wavelength: Impact on Martens hardness. *Dent Mater* 2017;33:968-975
- Lümkemann N, Strickrock M, Eichberger M, Zylla IM, Stawarczyk B. Impact of air-abrasion pressure and adhesive systems on bonding parameters for polyetheretherketone dental restorations. 2018;80:30-38
- Rocha RFV, Anami LC, Bastos Campos TM, Mqrques de Melo R, Othavio de Assuncao e Souza R, Bottino MA. Bonding of the Polymer Polyetheretherketone (PEEK) to Human Dentin: Effect of Surface Treatments. *Braz Dent J* 2016;27:693-699
- Rosentritt M, Preis V, Behr M, Sereno N, Kolbeck C. Shear bond strength between veneering composite and PEEK after different surface modifications. *Clin Oral Invest* 2015;19:739-744
- Sakihara M, Taira Y, Sawase T. Effects of sulfuric and vinyl sulfonic acid etchants on bond strength of resin composite to polyetheretherketone. *Odontology* 2018.
- Schmidlin PR, Eichberger M, Stawarczyk B. Glyncine: A potential coupling agent to bond to helium plasma treated PEEK? *Dent Mater* 2016;32:305-310
- Schmidlin PR, Stawarczyk B, Wieland M, Attin T, Hämmerle CHF, Fischer J. Effect of different surface pre-treatments and luting materials on shear bond strength to PEEK. *Dent Mater* 2010;26:553-559

- Schwitalla A, Bötel F, Zimmermann T, Sütel M, Müller WD. The impact of argon/oxygen low-pressure plasma on shear bond strength between a veneering composite and different PEEK materials. *Dent Mater* 2017;33:990-994
- Silthampitag P, Chaijareenont P, Tattakorn K, Banjongprasert C, Takahashi H, Arksonnukit M. Effect of surface pretreatment on resin composite bonding to PEEK. *Dent Mater J* 2016;35:668-674
- Song CH, Choi JW, Jeon YC, Jeong CM, Lee SH, Kang ES, et al. Comparison of the Microtensile Bond Strength of a Polyetherketoneketone (PEKK) Tooth Post Cemented with Various Surface Treatments and Various Resin Cements. *Materials (Basel)* 2018;11.
- Sproesser O, Schmidlin PR, Uhrenbacher J, Eichberger M, Roos M, Stawarczyk B. Work of adhesion between resin composite cements and PEEK as a function of etching duration with sulfuric acid and its correlation with bond strength values. *Int J Adhes Adhes* 2014;54:184-190
- Sproesser O, Schmidlin PR, Uhrenbacher J, Roos M, Gernet W, Stawarczyk B. Effect of Sulfuric Acid Etching of Polyetheretherketone on Shear Bond Strength to Resin Cements. *J Adhes Dent* 2014;16:465-472
- Stawarczyk B, Bähr N, Beuer F, Wimmer T, Eichberger M, Gernet W, Jahn D, Schmidlin PR. Influence of plasma pretreatment on shear bond strength of self adhesive resin cements to polyetheretherketone. *Clin Oral Invest* 2014;18:163-170
- Stawarczyk B, Beuer F, Wimmer T, Jahn D, Sener B, Roos M, Schmidlin PR. Polyetheretherkeonte - A suitable materials for fixed dental prostheses? *J Biomater Res B* 2013;101B:1209-1216
- Stawarczyk B, Jordan P, Schmidlin PR, Roos M, Eichberger M, Gernet W, Keul C. PEEK surface treatment effect on tensile bond strength to veneering resin. *J Prosthet Dent* 2014;112:1278-1288
- Stawarczyk B, Keul C, Beuer F, Roos M, Schmidlin PR. Tensile bond strength of veneering resins to PEEK: Impact of different adhesives. *Dent Mater J* 2013;32:441-448
- Stawarczyk B, Silla M, Roos M, Eichberger M, Lümkmann N. Bonding Behaviour of Polyetheretherketone to Methylmethacrylate- and Dimethacrylate-based Polymers. *J Adhes Dent* 2017;19:331-338
- Stawarczyk B, Taufall S, Roos M, Schmidlin PR, Lümkmann N. Bonding of composite resins to PEEK: the influence of adhesive systems and air-abrasion parameters. *Clin Oral Invest* 2018;22:763-771
- Stawarczyk B, Thrun H, Eichberger M, Roos M, Edelhoff D, Schweiger J, Schmidlin PR. Effect of different surface pretreatments and adhesives on the load-bearing capacity of veneered 3-unit PEEK FDPs. *J Prosthet Dent* 2015;114:666-673
- Taufall S, Eichberger M, Schmidlin PR, Stawarczyk B. Fracture load and failure types of different veneered polyetheretherketone fixed dental prostheses. *Clin Oral Invest* 2016;20:2493-2500
- Tsuka H, Morita K, Kato K, Kimura H, Abekura H, Hirata I, et al. Effect of laser groove treatment on shear bond strength of resin-based luting agent to polyetheretherketone (PEEK). *J Prosthodont Res* 2019;63:52-57
- Uhrenbacher J, Patrick PR, Keul C, Eichberger M, Roos M, Gernet W, Stawarczyk B. The effect of surface modification on the retention strength of polyetheretherketone crowns adhesively bonded to dentin abutments. *J Prosthet Dent* 2014;112:1489-1497
- Zhou L, Qian Y, Zhu Y, Liu H, Gan K, Guo J. The effect of different surface treatments on the bond strength of PEEK composite materials. 2014;30:e209-e215



European Association of Dental Technology

Der EADT e.V. hat sich der Fachkompetenz auf wissenschaftlichem Niveau und den daraus resultierenden praktischen Nutzen für die prothetische Zahnheilkunde verschrieben. Im Fokus steht die Schnittstelle zwischen Praxis, Labor, Universität, Dentaltechnologie und Wissenschaft. Der EADT e.V. forciert Fachkompetenz auf wissenschaftlichem Niveau. Daraus resultiert ein hoher praktischer Nutzen für die prothetische Zahnheilkunde. Ziel ist es, Zahnärzten und Zahntechnikern für ihre Arbeit evidenzbasierte Grundlagen an die Hand zu geben – basierend auf aktuellen Forschungsergebnissen und verfahrenstechnischen Kompetenzen.

EADT e.V.
Schumannstraße 1
10117 Berlin
Telefon: + 49 30 / 398 799 10
E-Mail: service@eadt.de
www.eadt.de

