

# Wie können die Eigenschaften von PAEK-Kompositen durch ihre Füllstoffe beeinflusst werden – und ist mehr auch immer gleich besser?

**P**olyaryletherketone (PAEK) wie Polyetheretherketon (PEEK), Polyetherketonketon (PEKK) und Polyetherketon (PEK) werden bereits vielseitig für Gerüste von Kronen, Brücken und Suprakonstruktionen von Implantaten verwendet. Für monolithische Versorgungen ist jedoch eine gezielte Verbesserung der mechanischen Eigenschaften notwendig, da die Abrasionsbeständigkeit und die Festigkeit klassischer PAEK-Materialien noch nicht ausreichen, um einer dauerhaften Belastung Stand zu halten.

## Die Rolle der Füllstoffe als „performance enhancer“

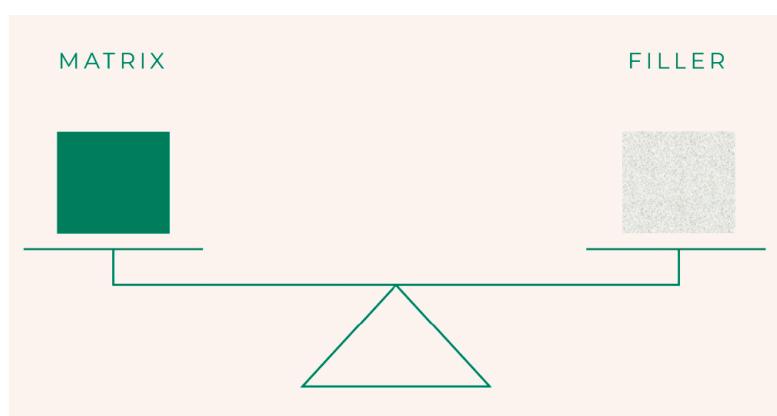
Füllstoffe spielen eine zentrale Rolle für die Optimierung der mechanischen Eigenschaften von PAEK-Kompositen. Durch gezielte Zugabe und Auswahl von Füllstoffen wie Siliziumdioxid, Quarz, keramischen Bestandteilen oder natürlichen Mineralen wird eine gezielte Optimierung der mechanischen Eigenschaften möglich. Die Optimierungen betreffen insbesondere die Biegefestigkeit, den Elastizitätsmodul und die Härte. Je nach Art und Anteil des Füllstoffs lassen sich Festigkeit und Biokompatibilität steigern; feinkörnige Füllstoffe werden besonders für Homogenität und Abrasionsbeständigkeit empfohlen, gröbere Partikel können Festigkeit und Steifigkeit verbessern.

## Warum ist die Zugabe von Füllstoffen eine Herausforderung?

Allein die Zugabe von Füllstoffen führt nicht dazu, dass die Eigenschaften sich direkt verbessern. Neben der Variation an Füllstoffarten und deren Partikel muss eine perfekte Balance zwis-

schen Füllstoffanteil und Matrix gefunden werden. Die Partikel müssen homogen in der Matrix verteilt sind und mit geeigneten Vorbehandlungen fest mit der Matrix verbunden werden. Insbesondere konnte durch die Silanisierung eine erhöhte Festigkeit, Elastizitätsmodul und Oberflächenhärte erzielt werden, indem der Verbund zwischen Füllstoff und Polymer verbessert wird. Gleichzeitig versprechen höhere Werte nicht immer eine Verbesserung der Abrasionsbeständigkeit gegenüber des Antagonisten und es muss immer als Referenz das natürliche Vorbild der Zahnhartsubstanz berücksichtigt werden.

Wie hoch der Anteil sein muss, ist jedoch nicht eindeutig geklärt (Abbildung ▶1). Untersuchungen zeigen bereits ab 10 Gew.-% eine erhöhte Festigkeit und Härte. Anteile von 40 Gew.-% zeigten noch höhere Werte. Andere berichten jedoch, dass zu hohe Anteile die positiven Effekte wieder umkehren und diese sich schwer verarbeiten lassen.



▶1 Herausforderung – die Balance zwischen Matrix und Füllstoffen

## Wie wirken sich nun die Füllstoffe auf die Eigenschaften aus?

In einer neuen Untersuchung wurde der Einfluss unterschiedlicher Füllstoffe, deren Gehalt und chemische Oberflächenbehandlung auf die mechanischen Eigenschaften von PAEK-Kompositen geprüft und die Abrasionsbeständigkeit durch ausgewählte experimentelle Zusammensetzungen getestet. Grundlage waren Prüfkörper zu je gleichen Anteilen aus PEEK und PEK, die zunächst anhand von 7 Gruppen mit je 20 Gew.-% getestet wurden. Neben Kieselsäure, Calciumsilikat, Feldspat und Magnesiumsilikathydrat, gab es eine Gruppe ohne Füllstoffe und zwei am Markt etablierte Vergleichsgruppen mit BioHPP und BioHPP plus (bredent). Zusätzlich wurde mit Calciumsilikat der unterschiedliche Gehalt von 20, 25 und 30 Gew.-% untersucht. Der Einfluss der Silanisierung wurde bei Calciumsilikat mit Alkylen und Aminosilan, bei Feldspat mit Methyl- und

Vinylsilan untersucht. Die Auswertung erfolgte durch die Betrachtung von Biegefestigkeit, Elastizitätsmodul und Shore-D-Härte. Auf Grundlage der Ergebnisse wurden für die Abrasions- und Belastungsversuche drei experimentelle Komposite entwickelt (Abbildung ▶2):

PAEKi:

35 Gew.-% PEEK, 35 Gew.-% PEK, 30 Gew.-% Calciumsilikat (große Partikelverteilung)

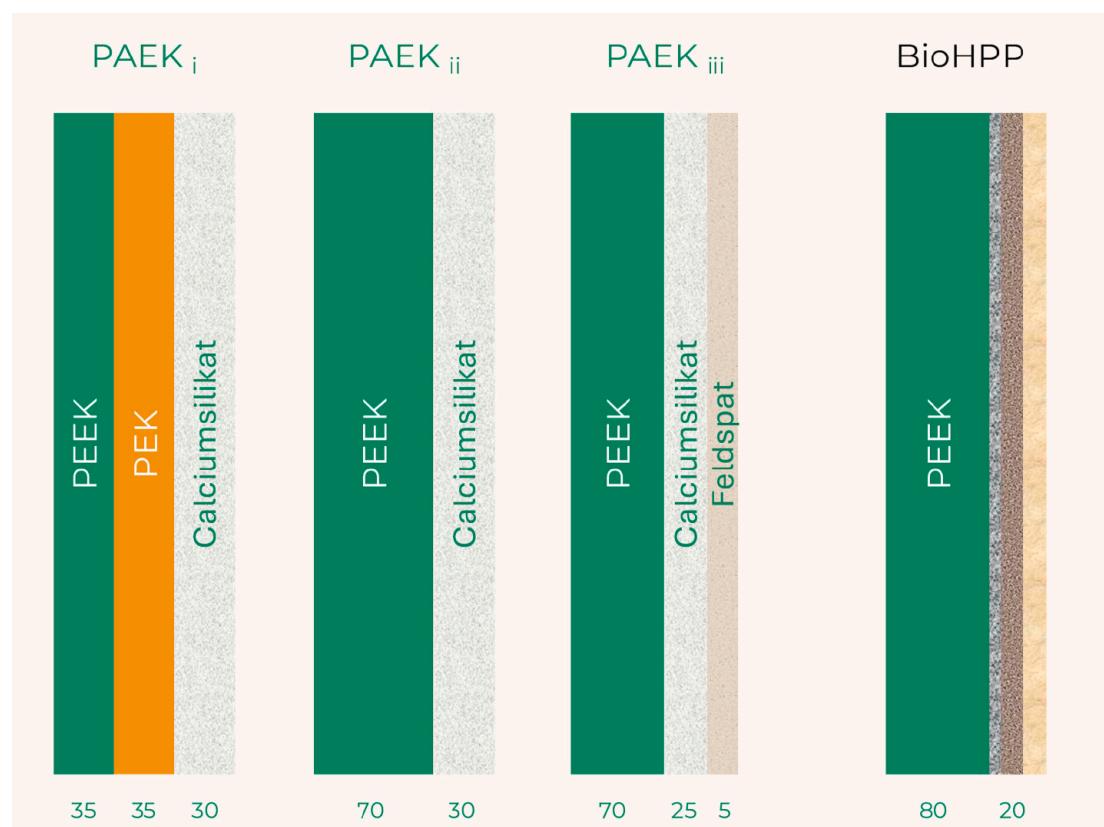
PAEKii:

70 Gew.-% PEEK, 30 Gew.-% Calciumsilikat (enge Partikelverteilung)

PAEKiii:

70 Gew.-% PEEK, 25 Gew.-% Calciumsilikat, 5 Gew.-% Feldspat (sehr feine Partikelgröße)

Als Referenz diente BioHPP aus PEEK mit 20 Gew.-% keramischem Füllstoffen.



▶2 Verteilung der Matrix und Füllstoffe [Gew.-%]

Die Ergebnisse zeigen: Die Zugabe von Füllstoffen verbesserte bei allen Gruppen die mechanischen Eigenschaften. Calciumsilikat und Magnesiumsilikathydrat sorgten für die höchsten Werte bei Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul. Mit steigendem Füllstoffgehalt – besonders bei 30 Gew.-% Calciumsilikatanteil – war eine deutliche Zunahme von Festigkeit, Steifigkeit und Shore-D-Härte nachzuweisen. Die Shore-D-Härte erreichte je nach Materialzusammensetzung Werte von 86 bis 89. Ergänzend wurde belegt, dass die Erhöhung des Füllstoffanteils bevorzugt den E-Modul steigert, während der Effekt auf die Biegefestigkeit geringer ist.

Die Silanisierung sind ein zusätzlicher Verstärkungsfaktor für die mechanischen Kennwerte und verbessern insbesondere die Festigkeit und Härte der Komposite. Der Einfluss feiner Partikelgrößen (Feldspat im Bereich 1 µm) zeigte

Vorteile für die Materialhomogenität und die Oberflächenhärte.

Die vorgestellten Untersuchungen legen dar, dass PAEK-Komposite durch gezielte Variation von Füllstoffart, Füllstoffgehalt und Silanisierung in ihren mechanischen Eigenschaften gezielt gesteigert werden können. Besonders Calciumsilikat und Magnesiumsilikathydrat in moderaten Anteilen und mit geeigneter Oberflächenmodifikation erwiesen sich als eine vielversprechende Möglichkeit zur Steigerung von Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul. Diese Eigenschaften müssen jedoch durch eine intelligente Auswahl der Füllstoffe und Modifikatoren für eine verbesserte Abrasionsbeständigkeit erarbeitet werden. Um den monolithischen Einsatz zu erreichen, sind weitere Untersuchungen mit weiteren Stoffen und Variationen durchzuführen. Jedoch sind demonstriert die vorliegenden Ergebnisse die Leistungsfähigkeit der PAEK Komposite. 

Die präsentierten Ergebnisse sind aus folgender Untersuchung zusammengefasst: Schmeiser F, Schramm W, Mayinger F, Baumert U, Stawarczyk B. **Effect of Filler Type, Content, and Silanization on the Flexural Strength, Elastic Modulus, Shore D Hardness, and Two-Body Wear of PAEK Compounds.** Materials (Basel). 2025;18(12):2736. Published 2025 Jun 11. doi:10.3390/ma18122736