

Aus der Klinik für Zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werkstoffkunde
(Direktor: Prof. Dr. Kern)
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**KLEBEVERBUND ZU POLYETHERKETONKETONEN – EINFLUSS
DER KONDITIONIERUNGSVERFAHREN UND
HYDROLYSEBESTÄNDIGKEIT**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

GYDE FUHRMANN

aus Flensburg

Kiel 2014

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Matthias Kern

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Helge Fischer - Brandies

Tag der mündlichen Prüfung: 14.04.2015

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 14.04.2015

gez.:

Prof. Dr. Johann Roider

(Vorsitzender der
Prüfungskommission)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung.....	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 PAEK.....	3
2.1.1 PEKK	5
2.2 Zielsetzung.....	6
3 Material und Methoden.....	7
3.1 Material.....	7
3.1.1 Scheiben aus PEKK	7
3.1.2 Scheiben aus PEEK	8
3.1.3 Plexiglastuben.....	8
3.1.4 Füllmaterial (Multicore Flow).....	9
3.1.5 Befestigungskomposit (Multilink Automix).....	10
3.1.6 Primer	11
3.1.6.1 Luxatemp - Glaze & Bond.....	11
3.1.6.2 Monobond Plus	11
3.1.7 Liquid Strip.....	12
3.1.8 Lotnummer.....	12
3.2 Methode	13
3.2.1 Schematische Darstellung des Projektdesigns	13
3.2.2 Vorbereitung der PEKK- und PEEK-Scheiben	14
3.2.3 Oberflächenkonditionierung der PEKK- und PEEK-Scheiben.....	14
3.2.4 Füllen der Plexiglastuben mit MultiCore Flow	16
3.2.5 Herstellen des Klebeverbundes mit Multilink Automix.....	17
3.2.5.1 Klebevorrichtung	17
3.2.5.2 Verklebung mit Multilink Automix	18
3.2.6 Gruppeneinteilung	19
3.2.7 Lagerung und Alterung der Prüfkörper	20
3.2.8 Auswertungsmethoden	20
3.2.8.1 Prüfung der Verbundfestigkeit	20
3.2.8.2 Prüfung der Bruchfläche	21
3.2.8.3 Versuchsauswertung mittels statistischen Verfahren	22
4 Ergebnisse.....	23

4.1	Deskriptive Statistik.....	23
4.1.1	Tabellarische Darstellung der Verbundfestigkeitswerte	23
4.1.2	Grafische Darstellung der Verbundfestigkeitswerte	24
4.2	Statistische Auswertung.....	26
4.2.1	Einfluss der Alterung auf die Verbundfestigkeit.....	27
4.2.2	Einfluss der Oberflächenkonditionierung auf die Verbundfestigkeit.....	29
4.2.3	Einfluss des Materials auf die Verbundfestigkeit	30
4.3	Lichtmikroskopische Betrachtung der Bruchmodi.....	32
5	Diskussion.....	33
5.1	Diskussion von Material und Methode	33
5.1.1	Auswahl des Materials für den Klebevorgang	33
5.1.2	Herstellung der Prüfkörper.....	34
5.1.3	Herstellung der adhäsiven Befestigung	34
5.1.4	Lagerungsbedingungen	34
5.1.5	Zugbelastungstest	35
5.2	Diskussion der Ergebnisse.....	35
5.2.1	Einfluss der Alterung auf die Verbundfestigkeit.....	35
5.2.2	Einfluss der Oberflächenkonditionierung auf die Verbundfestigkeit.....	36
5.2.3	Einfluss des Materials auf die Verbundfestigkeit	40
5.2.4	Einfluss des Bruchmusters auf die Verbundfestigkeit	42
6	Zusammenfassung/ Summary.....	43
6.1	Zusammenfassung.....	43
6.2	Summary	45
7	Literaturverzeichnis.....	47
8	Anhang.....	51
	Danksagung	79
	Lebenslauf.....	80

Abkürzungen

- PAEK - Polyaryletherketon
- PEEK - Polyetheretherketon
- PEKK - Polyetherketonketon
- Pre - Gruppencode für Konditionierung: Rocatec Pre, keine chemische Konditionierung
- PreLu - Gruppencode für Konditionierung: Rocatec Pre, Luxatemp - Glaze & Bond
- PreLu5 - Gruppencode für Konditionierung: Rocatec Pre, Luxatemp - Glaze & Bond
(5 Minuten Einwirkzeit)
- SoMB - Gruppencode für Konditionierung: Rocatec Soft, Monobond Plus
- SoMBLu - Gruppencode für Konditionierung: Rocatec Soft, Monobond Plus,
Luxatemp - Glaze & Bond
-

1 Einleitung

Neben vollkeramischen Systemen stellen, prospektiv gesehen, auch thermoplastische Hochleistungspolymere in der Zahnmedizin eine zunehmend bedeutendere Rolle als eine Alternative zu dem ästhetisch minderwertigen metallischen Zahnersatz (z.B. durch das Zahnfleisch schimmernde Metallränder) dar. Wie die Keramiken [1, 2] können die Hochleistungspolymere dem wachsenden Anspruch und den unterschiedlichen Wünschen [3] der Patienten auf Ästhetik gerechter werden. Ebenso werden negative Eigenschaften der Metalle wie eine hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit als auch ihre Korrosionsanfälligkeit und elektrolytische Dissoziation bei Verwendung von unterschiedlichen Legierungen vermieden [4]. Polymere setzen im Gegensatz zu den Metallen auch keine Ionen frei, die in seltenen Fällen zu Schleimhautschäden und Parodontopathien infolge der toxischen Nebenwirkungen der unedlen Elemente bei Nichtelegierungen führen können [5-7]. Die bessere und mit der von Keramik [8] vergleichbaren Biokompatibilität der Hochleistungspolymere ist ebenso als Vorteil gegenüber den Metallen anzusehen.

Die Anwendung von Metallen bzw. Metallkeramiken in der prothetischen Versorgung hat sich aufgrund guter Langzeitergebnisse und klinischer Erfahrung etabliert [9]. Dennoch erlangt die Forderung nach einer ästhetischeren Lösung und einem verträglichen Material heutzutage einen immer bedeutenderen Stellenwert bei den Patienten, wobei die Werkstoffe die funktionellen Kriterien weiterhin erfüllen müssen. Unter den Gesichtspunkten Biokompatibilität und Ästhetik sind Vollkeramik-Systeme heutzutage die erste Wahl. Ein Kritikpunkt jedoch ist die mechanische Anfälligkeit auf z.B. Frakturen im Seitenzahnbereich oder Materialabplatzungen im Bereich der Verblendungen („Chipping“) [10, 11]. Eine Alternative und Ergänzung für den Einsatz von sowohl ästhetisch als auch funktionell akzeptablem Werkstoff in der Dentalmedizin soll das aus der Familie der Polyaryletherketone (PAEK) stammende Hochleistungspolymer Polyetherketonketon (PEKK) bieten. PEKK weist neben der farblichen Gestaltung auch geeignete mechanische und physikalische Eigenschaften hinsichtlich der Gewebeverträglichkeit, Bruch-, Verschleiß- und Formfestigkeit auf. Bislang gibt es jedoch nur wenige Untersuchungen, die sich mit der Anwendung und dem Nutzen von PEKK im Dentalbereich beschäftigen [12], so dass weitere Forschungsmaßnahmen für die dentale Anwendung des PEKKs nötig sind.

Für die prospektive Anwendung im Dentalbereich ist es von großer Wichtigkeit, dass die Möglichkeit für Reparaturen am Material gegeben ist. Die Oberfläche der PAEKs sind jedoch sehr reaktionsträge (inert), so dass hierfür ein angepasstes Verbundsystem zu entwickeln ist.

Ein dem PEKK sehr ähnlicher Vertreter aus der PAEK-Familie ist das Polyetheretherketon (PEEK) [13-15]. Aktuelle Studien über PEEK beschreiben die ersten Ansätze zur Herstellung eines Klebeverbundes zur inerten PEEK-Oberfläche [16, 17]. Darauf basierend gilt es weitere Erkenntnisse und Parameter zu sammeln, die einen dauerhaften und stabilen Haftverbund zur inerten PEKK-Oberfläche ermöglichen.

2 Literaturübersicht

Die Literaturübersicht gibt einen grundlegenden Überblick über die in dieser Studie untersuchte Materialklasse (Polyaryletherketon (PAEK)) und insbesondere über das Familienmitglied Polyetherketonketon (PEKK).

2.1 PAEK

Die Familie der Polyaryletherketone gehört zu den thermoplastischen Hochleistungspolymeren. Hochleistungspolymere sind Kunststoffe mit verbesserten mechanischen und chemischen Eigenschaften sowie einer guten Wärmebeständigkeit, was sie für einen gezielten technischen Einsatz spezialisiert.

Die PAEKs sind teilkristalline Polymere und bestehen aus 1,4 Phenylen-Einheiten sowie Ether- und Ketogruppen. In *Abb. 1* sind beispielhaft zwei Vertreter der PAEK-Familie abgebildet.

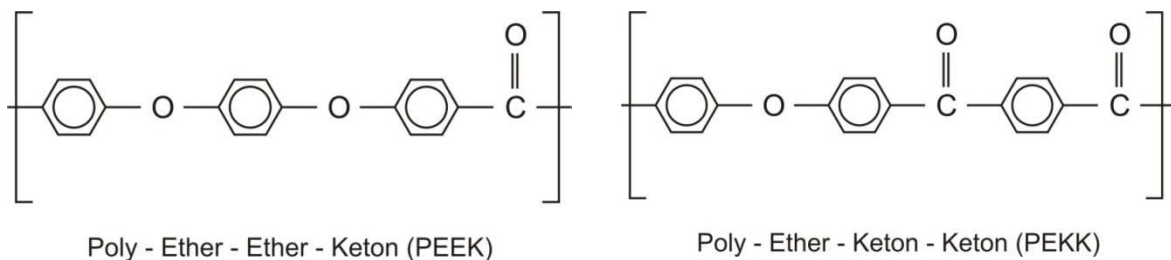


Abb. 1: Grundstruktur von PEEK und von PEKK

Die Eigenschaften der einzelnen Vertreter der PAEK-Familie ähneln sich zwar, differieren aber in Abhängigkeit des Verhältnisses von Keto- zu Ethergruppen. Je größer die Anzahl der Ketogruppen gegenüber der Anzahl der Ethergruppen ist, desto steifer ist die Polymerkette und desto höher ist die Glasübergangs- und Schmelztemperatur [18, 19, 20]. Die PAEKs sind hochtemperaturbeständig und haben eine gute Dimensionsstabilität, ihre Schmelztemperaturen liegen bei über 300 °C. Sie zeigen hohe Zug-, Biege- und Ermüdungsfestigkeiten (Zähigkeit). Hochleistungspolymere sind aufgrund ihrer Struktur aus Aromaten (s. *Abb. 1*) reaktionsträge (inert) und sehr widerstandsfähig gegenüber Veränderung durch chemische Oberflächenbehandlung. Daher weisen sie eine gute chemische und mechanische Beständigkeit auf, wodurch sie haltbarer und abrasionsfester sind. Vorteilhaft sind sowohl die geringe Wasseraufnahme als auch laut Hersteller

(Cendres+Métaux, Biel/Bienne, Schweiz) ihre Kompatibilität zu den geläufigen Sterilisationsverfahren. Zudem ist die Beimischung von materialverstärkenden Agenzien möglich (z.B. Glas- und Carbonfaser) [18, 21]. Aufgrund ihrer ausgezeichneten Eigenschaften sind die PAEKs geeignet für den industriellen Gebrauch, so dass sich ihr Anwendungsspektrum von Lebensmittel-, Elektro- und Automobilindustrie über Luftfahrt bis hin zu Instrumenten in der Medizintechnik erstreckt.

Der bekannteste Vertreter der PAEKs ist das Polyetheretherketon (PEEK) [20], das sich im medizinischen Bereich neben seinen Hochleistungspolymer-Eigenschaften auch aufgrund seiner guten Biokompatibilität als Implantatmaterial etabliert hat und als ein adäquater Materialersatz zum Titan gilt [13-15, 22, 23]. In der Zahnmedizin ist der Einsatz von PEEK bisher nur auf provisorische Abutements in der Implantologie beschränkt [13-15], wobei es aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften auch als Kronen- und Brückenmaterial geeignet ist [24-26]. Die inerte Oberfläche des PEEKs (s. o.) ist einerseits günstig, da eine Reaktion mit anderen Restaurationsmaterialien und den intraoralen Bedingungen kaum zu erwarten ist [24, 26]. Andererseits ist es für den Einsatz in der Zahnmedizin von großer Wichtigkeit, ein reparaturfähiges Material zu einzusetzen. Durch gezielte mechanische und chemische Konditionierung muss die inerte Oberfläche daher aktiviert und aufnahmefähig gemacht werden, damit mittels eines adhäsiven Verbundes ein Materialantrag für Reparaturzwecke stattfinden kann. Ein solcher Haftverbund spielt ebenso für die Herstellung von Verblendungen eines PEEK-Gerüsts wie auch für das adhäsive Einsetzen von PEEK-Restorationen eine große Rolle.

Eine Studie über die Verbundfestigkeit von unterschiedlich vorbehandelten PEEK-Scheiben ergab, dass ein Haftverbund zu PEEK nur mittels eines adhäsiven Verbundes nicht aber mittels des getesteten Zementes (RelyX Unicem) möglich war [25]. Weitere Studien zeigten, dass sich für einen adäquaten adhäsiven Verbund zu PEEK die Verwendung eines auf multifunktionellen Methacrylaten basierenden Primers (z.B. Luxatemp – Glaze & Bond oder Visio.link) gegenüber den anderen getesteten Primern durchsetzte, da er sich durch einen starken und langfristigen Klebeverbund auszeichnete [17, 27]. In einer weiteren Studie wurde festgestellt, dass die mechanische Vorbehandlung der PEEK-Oberfläche mit Korundstrahlung (auch in Kombination mit chemischer Ätzung) einen bedeutenden Einfluss auf die Oberflächenaktivierung von PEEK hat und die Ausbildung eines adhäsiven Klebeverbundes über funktionelle Gruppen fördert [28]. Ebenso wird durch das Aufrauen eine Oberflächenvergrößerung geschaffen, die die mikromechanische Verankerung des Klebeverbundes verbessert und die Verbundfestigkeit steigert. Diese Studien liefern Anhaltspunkte und Voraussetzungen für das Herstellen eines geeigneten Haftverbundes zur reaktionsträgen PEEK-Oberfläche im Dentalbereich und geben die Zielrichtung auf diesem

Forschungsgebiet an. Klärungsbedarf gibt es bezüglich der Langzeitbeständigkeit des Klebeverbundes, da bislang nur eine einzige Studie [27] bekannt ist, die das Langzeitverhalten des Klebeverbundes zu PEEK geprüft hat.

2.1.1 PEKK

Das PEKK (Polyetherketonketon) gehört zur PAEK-Familie (s.o.) und ähnelt sich sehr mit dem erwähnten Familienmitglied PEEK. PEKK weist ebenso wie das PEEK gute biokompatible Eigenschaften auf [29, 30] und bietet gemäß des Hersteller aufgrund seiner zusätzlichen Ketogruppe vergleichsweise zu PEEK vorteilhaftere chemische und mechanische Eigenschaften [31]. So ermöglichen die bis zu 80 % höhere Druckfestigkeit und die höheren Glas- und Schmelztemperaturen ein noch größeres Anwendungsspektrum im Gegensatz zum PEEK: Beispielsweise soll sich amorphes PEKK für herausnehmbaren Zahnersatz und kristallines PEKK für festsitzenden Zahnersatz eignen. Nicht zuletzt durch die Möglichkeit einer gezielten anwendungsspezifischen Herstellung und Compounding stellt die Verwendung von PEKK eine interessante Option für die Zukunft im Dentalbereich dar. Derzeit liegen wenige Untersuchungen vor, so dass hoher Forschungsbedarf besteht [12].

Als dentaler Werkstoff ist das Vorhandensein von Eigenschaften zur Nachbearbeitung zwecks Reparatur ebenso für das PEEK als auch für das PEKK erforderlich. Als Voraussetzung für einen Haftverbund muss eine dauerhafte und stabile Verbindung zwischen Befestigungskomposit und Materialoberfläche vorhanden sein [32-34]. Aufgrund seiner ebenfalls inerten Oberfläche ist die Oberflächenaktivierung des PEKKs schwierig. Bislang liegen hierzu keine Untersuchungen vor, so dass sich bei der Planung von Untersuchungen zur Herstellung eines Klebeverbundes zur reaktionsträgen PEKK-Oberfläche an den Erkenntnissen der bereits vorliegender Haftverbund-Studien zu PEEK (s. Kapitel 2.1) orientiert werden kann.

2.2 Zielsetzung

Wie der Literaturübersicht zu entnehmen ist, gibt es bislang kaum Untersuchungen, die sich speziell mit der Anwendung von PEKK im Dentalbereich beschäftigen. Dennoch sprechen die physikalischen, mechanischen und biokompatiblen Materialeigenschaften sehr für den dentalen Einsatz von PEKK. Eine Herausforderung dieser Materialklasse stellt jedoch die chemisch inerte Oberfläche dar, die aufgrund ihrer Aromatenstruktur sehr reaktionsträge ist. In der Zahnmedizin ist die Herstellung eines Haftverbundes in vielerlei Hinsicht von Bedeutung. Vor allem für Reparaturzwecke bei Materialschäden wie Frakturen oder Abplatzungen ist es notwendig, einen sicheren Haftverbund zwischen PEKK-Restauration und Reparaturmaterial herzustellen zu können.

Diese Studie sollte dazu dienen, erste Erkenntnisse über einen Haftverbund zu PEKK zu sammeln, indem sie die Verbundfestigkeit zu verschiedenen konditionierten PEKK-Oberflächen untersucht. Erste Hinweise lieferten Studien, die sich mit der Herstellung eines Haftverbundes zu PEEK, einem verwandten Material des PEKKs, beschäftigt haben. In Anlehnung an diese Untersuchungen wurde für die Versuchsdurchführung ein etabliertes Verbundsystem mit unterschiedlichen Oberflächenkonditionierungen verwendet und mit dem Klebeverbund zu PEEK als Kontrollgruppe verglichen.

Um die Hydrolysebeständigkeit des Haftverbundes zu erforschen und um Rückschlüsse auf die initiale und langfristige Verbundfestigkeit ziehen zu können, wurde die initiale Verbundfestigkeit mit der nach längerer Temperaturwechselbelastung und Wasserlagerung verglichen.

3 Material und Methoden

3.1 Material

Im Folgenden wird das für die Untersuchung benötigte Material anhand der Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften vorgestellt. Alle Angaben beruhen auf Herstellerinformationen.

3.1.1 Scheiben aus PEKK

Das Hochleistungspolymer Polyetherketonketon (PEKK) stellt das zu testende Material dieser Studie dar. Laut Hersteller (Cendres+Métaux, Biel/Bienne, Schweiz) ist es für einen Einsatz im Dentalbereich vorgesehen und für Kronen, Brücken, Modellguss, Abutments und Implantate geeignet. Es wurde sowohl in amorpher als auch in kristalliner Grundstruktur in Form kleiner Plättchen geliefert.

Zusammensetzung:

Polyetherketonketon, Titandioxid-Pigmente

Physikalische Eigenschaften (amorphes PEKK):

Biegefestigkeit: 140 MPa

Bruchfestigkeit: 89 MPa

Glastemperatur: 160 °C

Erweichungstemperatur: 305-325 C°

Physikalische Eigenschaften (kristallines PEKK):

Biegefestigkeit: 200 MPa

Bruchfestigkeit: 117 MPa

Glastemperatur: 157 °C

Schmelztemperatur: 364 °C

3.1.2 Scheiben aus PEEK

Das faserverstärkte Polyetheretherketon (PEEK) wird parallel als Kontrollgruppe neben den PEKKs in der Studie mit betrachtet.

Zusammensetzung:

Polyetheretherketon, Pigmente N/A, Glasfasern

Physikalische Eigenschaften (faserverstärkte PEEK):

Biegefestigkeit: 312 MPa

Bruchfestigkeit: 215 MPa

Glastemperatur: 143 °C

Schmelztemperatur: 341 °C

3.1.3 Plexiglastuben

Für den Versuchsaufbau wurden Kunststofftuben verwendet, die mit den PEKK- und PEEK-Scheiben verklebt werden sollten. Die Kunststofftuben wurden aus Plexiglas, einem synthetischen, glasähnlichen thermoplastischen Kunststoff, gefertigt.

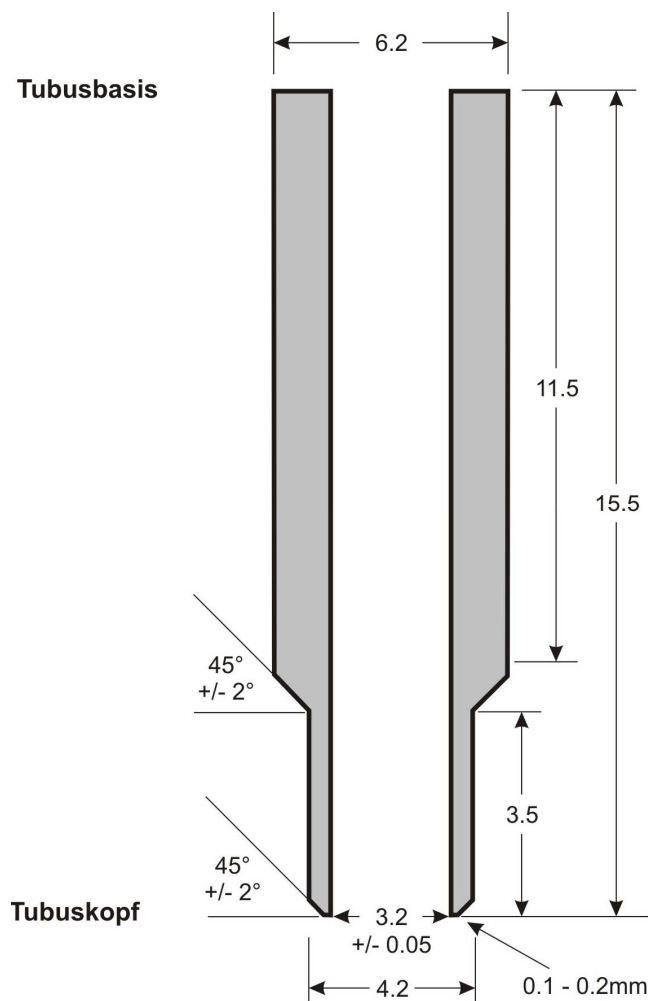


Abb. 2: Querschnitt durch einen Plexiglastubus (bis auf Winkelmaße alle Angaben in mm)

Um für die Versuchsauswertung der einzelnen Probekörper gleiche Voraussetzungen und Versuchsbedingungen zu schaffen, wurden alle Tuben CNC (computer numerically controlled) gestützt nach bestimmten Maßen (s. *Abb. 2*) angefertigt.

Der Durchmesser der Klebefläche am schmalen Tubenende betrug für alle Tuben ca. 3,2 mm. Zusätzlich wurden mit einem Rosenbohrer auf der Innenseite ca. zwei mm von der Tubenbasis entfernt, zwei gegenüberliegende Retentionen in die Plexiglastuben gefräst, die eine gerichtete Polymerisationsschrumpfung des in die Tuben gefüllten Komposits sicherstellen sollen [35].

3.1.4 Füllmaterial (Multicore Flow)

Die Plexiglastuben wurden mit Multicore Flow, einem selbsthärtenden Komposit, mit optionaler Lichthärtung gefüllt. Laut Hersteller (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)

ist Multicore Flow für Stumpfaufbauten und für die adhäsive Befestigung von glasfaserverstärkten Wurzelstiften geeignet. Es wird in einem selbstmischenden Kartuschensystem angeboten (Mischungsverhältnis von Basis- und Katalysatorpaste: 1:1).

Zusammensetzung der Basis- und Katalysatorpaste:

Dimethacrylate, Bariumglasfüller, Ba-Al-Fluoro-Silikatglas, hochdisperses Siliziumdioxid, Ytterbiumtrifluorid, Katalysatoren, Stabilisatoren, Pigmente

Physikalische Eigenschaften:

Biegefestigkeit: 135 MPa

Druckfestigkeit: 250 MPa

Polymerisationsschrumpfung: 4%

Wasseraufnahme in 7 Tagen: 25 µg/mm³

Wasserlöslichkeit in 7 Tagen: 2,5 µg/mm³

3.1.5 Befestigungskomposit (Multilink Automix)

Als Befestigungsmaterial für die unterschiedlich konditionierten PEKK- und PEEK-Scheiben diente das dualhärtende Multilink Automix mit optionaler Lichthärtung, welches vom Hersteller (Ivoclar Vivadent AG) für die adhäsive Befestigung von Metall, Metallkeramik, Silikat- und Oxidkeramik und Komposit empfohlen wird. Erhältlich ist Multilink Automix in Form eines selbstmischenden Spritzensystems (Mischungsverhältnis von Basis- und Katalysatorpaste: 1:1).

Zusammensetzung der Basis- und Katalysatorpaste:

Hydroxyethylmethacrylat, Dimethacrylat, Bariumglasfüller, Siliziumdioxidfüller, Ytterbiumtrifluorid, Initiatoren, Stabilisatoren, Pigmente

Physikalische Eigenschaften:

Biegefestigkeit: 110 ± 10 MPa

Druckfestigkeit: 280 ± 20 MPa

Polymerisationsschrumpfung: 4%

Wasseraufnahme in 7 Tagen: < 40 µg/mm³

Wasserlöslichkeit in 7 Tagen: < 7,5 µg/mm³

Dichte: 2,05 g/ml

3.1.6 Primer

Um einen geeigneten Verbund zwischen Befestigungskomposit (Multilink Automix) und den PEKK- und PEEK-Scheiben zu erreichen, standen in diesem Versuchsdesign verschiedene Primer (Haftvermittler) zur Verfügung (Luxatemp - Glaze & Bond, Monobond Plus).

3.1.6.1 Luxatemp - Glaze & Bond

Luxatemp - Glaze & Bond ist ein lichthärtendes Einkomponentenmaterial (DMG (Dental Milestones Guaranteed), Hamburg, Deutschland), das zur Oberflächenversiegelung und Reparatur von provisorischen Brücken und Kronen angewendet wird. Zur Vermeidung einer Sauerstoffinhibitionsschicht empfiehlt der Hersteller nach dem Auftragen das Material innerhalb von zwei Minuten Licht zu härten.

Zusammensetzung:

multifunktionelle Acrylate, Methylmethacrylat, Stabilisatoren, Additive, Katalysatoren

Physikalische Eigenschaften:

Dichte: 1,1 g/cm³

3.1.6.2 Monobond Plus

Aufgrund der drei verschiedenen funktionellen Methacrylate (Silan-, Phosphat-, Sulfidmethacrylate) kann Monobond Plus (Ivoclar Vivadent AG) als Einkomponentenhaftvermittler für alle indirekten Restaurationsmaterialien (Glas- und Oxidkeramik, Metall, Composites, faserverstärktes Composite) verwendet werden.

Zusammensetzung:

Ethanol, Silan, Silanmethacrylat, Phosphorsäuremethacrylat und Sulfidmethacrylat

Physikalische Eigenschaften:

Dichte: 0,794 g/cm³

3.1.7 Liquid Strip

Um das vollständige Aushärten des Befestigungskomposites Multilink Automix zu sichern, musste die Bildung einer Sauerstoffinhibitionsschicht verhindert werden. Dies erfolgte durch das sauerstoffundurchlässige Glyceringel Liquid Strip (Ivoclar Vivadent AG), indem es um den Rand der Plexiglastuben auf den PEKK- und PEEK-Scheiben aufgetragen wurde.

Zusammensetzung:

Glycerin, Siliziumdioxid, Aluminiumoxid

3.1.8 Lotnummer

Im Folgenden sind die Lotnummern und Hersteller der einzelnen Materialien aufgeführt, die in dieser Studie verwendet wurden.

Tab.1: Lotnummern aller verwendeten Materialien

Handelsname	Hersteller	Lotnummer
PEKK (amorph)	Cendres+Métaux	Modified PEKK Grade A1 – 09.2009
PEKK (kristallin)	Cendres+Métaux	Pekhton ivory – 03.2011
PEEK (faserverstärkt)	Cendres+Métaux	PEEK Grade C3 – 02.2009
Multicore Flow	Ivoclar Vivadent AG	N09293 N26726 M43997
Multilink Automix	Ivoclar Vivadent AG	M55053 N47349
Luxatemp - Glaze & Bond	DMG (Dental Milestones Guaranteed)	608356
Monobond Plus	Ivoclar Vivadent AG	M37209
Liquid Strip	Ivoclar Vivadent AG	M32317

3.2 Methode

In diesem Kapitel wird die Versuchsdurchführung erläutert, indem zunächst das Projektdesign bildhaft dargestellt wird (s. Kapitel 3.2.1) und in den anschließenden Kapiteln erläutert wird.

3.2.1 Schematische Darstellung des Projektdesigns

In Abb. 3 ist der Ablauf der Untersuchung schematisch dargestellt. Er zeigt die Verarbeitung der Prüfkörper nach chemischer und mechanischer Konditionierung von der Verklebung über die Lagerung bis hin zur Ermittlung der Verbundfestigkeitswerte im Zugversuch sowie anschließender mikroskopischer Auswertung.

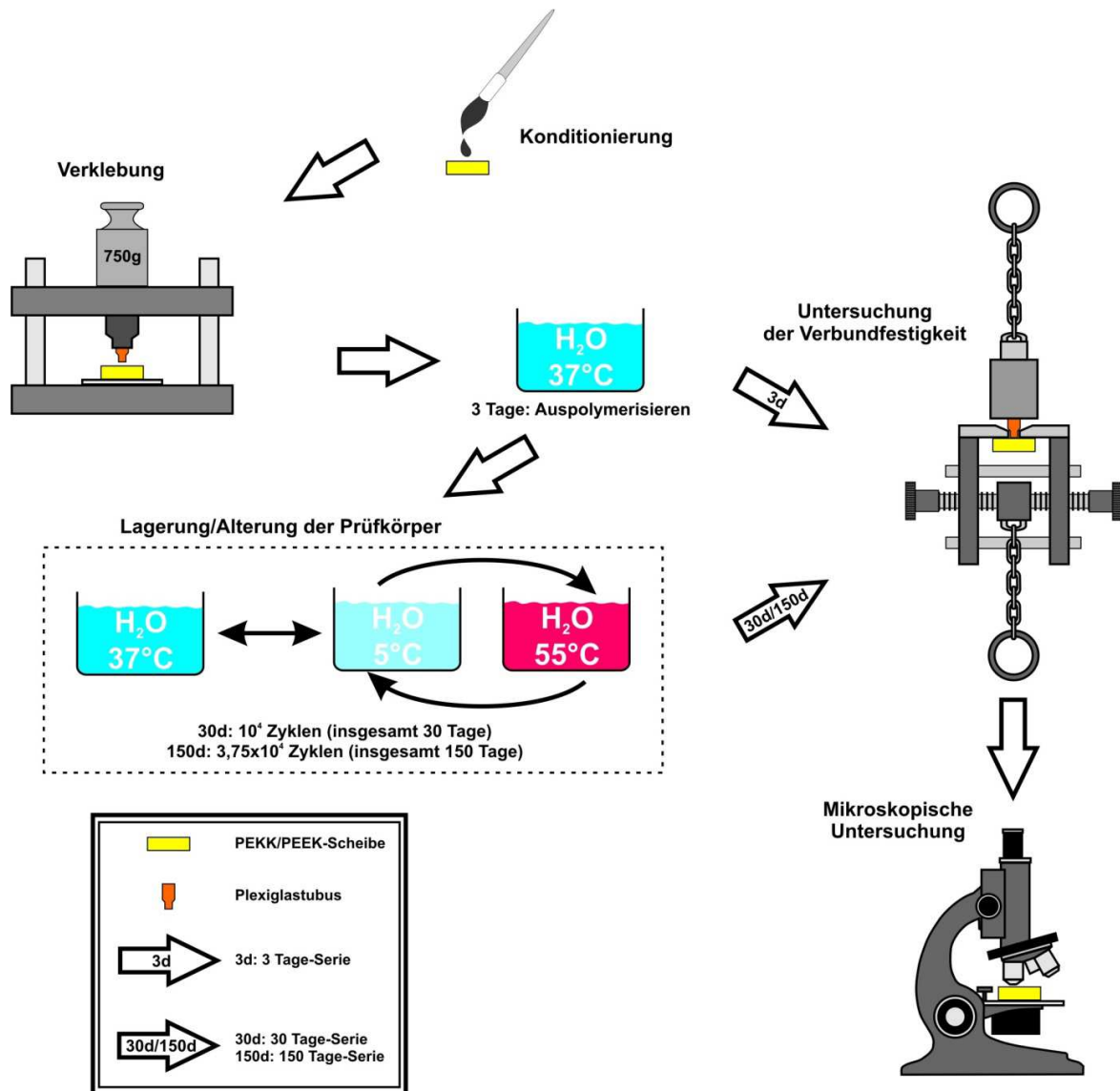


Abb. 3: Schematische Darstellung des Projektdesigns

3.2.2 Vorbereitung der PEKK- und PEEK-Scheiben

Um plane und parallele Oberflächen der Prüfkörper für einen gleichmäßigen und vergleichbaren Klebeverbund zu erreichen, wurden diese zunächst in die Parallelometervorrichtung eines Schleifgerätes (Metasery Universal Polischer, Bühler GmbH, Düsseldorf, Deutschland) eingespannt und bei 100 Umdrehungen pro Minute mit Siliziumcarbid-schleifpapier (SiC Grinding Paper, Grit P600, Bühler GmbH, Düsseldorf, Deutschland) unter Wasserkühlung einheitlich plangeschliffen. Die Mindestschichtstärke betrug mindestens drei mm, um einer Verbiegung der Prüfkörper im später durchgeführten Zugversuch entgegenzuwirken und die Ergebnisse nicht negativ zu beeinflussen [36].

3.2.3 Oberflächenkonditionierung der PEKK- und PEEK-Scheiben

Nach Glättung der PEKK- und PEEK-Scheiben folgten die mechanische und anschließend die chemische Oberflächenbearbeitung: Hierzu wurden die Prüfkörper entweder mit 110 µm hochreinen Korund, Al₂O₃, (Rocatec Pre, 3M Espe, Seefeld, Germany) oder mit feinkörnigeren (30 µm), weniger abrasiven und mit SiO₂ chemisch beschichteten Korund (Rocatec Soft, 3M Espe) bei 2,5 bar (0,25 MPa) für 15 Sekunden abgestrahlt und für 15 Sekunden mit Luft gesäubert.

Gereinigt wurden die PEKK- und PEEK-Scheiben anschließend, indem sie mit der korundgestrahlten Oberfläche nach unten für drei Minuten in ein Ultraschallbad mit 99 % Isopropanol (Otto Fischar GmbH & Co. KG, Saarbrücken) gelegt und danach mit öl- und wasserfreier Druckluft getrocknet wurden (Rocatec delta device (3M ESPE)).

Im Anschluss der mechanischen Oberflächenbearbeitung erfolgte nun die chemische Oberflächenbehandlung der Prüfkörper. Die Primer wurden jeweils mit einem Einmalpinsel dünn auf die Klebefläche aufgetragen (s. *Abb. 4*) und nach ihrer Einwirkzeit (s.u.) mit einem leichten Luftstrom aus öl- und wasserfreier Druckluft (Rocatec delta device (3M ESPE)) verblasen. Bei Nutzung von Luxatemp - Glaze & Bond wurde dieses anschließend für 20 Sekunden Licht (Elipar™ 2500 Halogen Curing light, 3M ESPE, Seefeld) gehärtet.

Insgesamt gab es vier unterschiedlich konditionierte Untergruppen und eine nichtkonditionierte Kontrollgruppe (Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6):

- Pre** Oberflächenaktivierung mit Rocatec Pre, Reinigung im Ultraschallbad und mit Druckluft, keine chemische Konditionierung mit Primern; Gruppe Pre dient als Kontrollgruppe zur Feststellung der Notwendigkeit von Primern.
- PreLu** Oberflächenaktivierung mit Rocatec Pre, Reinigung im Ultraschallbad und mit Druckluft, Luxatemp - Glaze & Bond (20 Sekunden Einwirkzeit, 20 Sekunden Licht härten); Studien belegen, dass ein methylnmethacrylathaltiger Primer auf PEEK-Oberflächen gute Haftung erzielt [17, 27].
- PreLu5** Oberflächenaktivierung mit Rocatec Pre, Reinigung im Ultraschallbad und mit Druckluft, Luxatemp - Glaze & Bond (300 Sekunden Einwirkzeit im Dunkeln, 20 Sekunden Licht härten); durch die längere Einwirkzeit wird geprüft, ob dadurch eine verbesserte Eindringtiefe des Primers erfolgt und die Verbundfestigkeit beeinflusst wird.
- SoMB** Silikatisierung der Oberfläche mit Rocatec Soft, Reinigung im Ultraschallbad und mit Druckluft, Monobond Plus (60 Sekunden Einwirkzeit); es wird getestet, ob eine silanisierte Oberfläche durch Verwendung eines multifunktionellen Primers mit Silanen eine Alternative darstellt.
- SoMBLu** Silikatisierung der Oberfläche mit Rocatec Soft, Reinigung im Ultraschallbad und mit Druckluft, Monobond Plus (60 Sekunden Einwirkzeit), Luxatemp - Glaze & Bond (20 Sekunden Einwirkzeit, 20 Sekunden Licht härten); durch zusätzliche Applikation von Luxatemp - Glaze & Bond sollen silikatfreie Oberflächenanteile für das Eindringen des Primers Luxatemp - Glaze & Bond genutzt werden.



Abb. 4: Oberflächenkonditionierung mit Primer

3.2.4 Füllen der Plexiglastuben mit MultiCore Flow

Die Plexiglastuben sollen mit den PEKK- und PEEK-Scheiben verklebt werden. Als Vorbereitung wurde die Tubusbasis (s. Kapitel 3.1.3) mit einem Klebestreifen abgedichtet und in eine Haltevorrichtung gesteckt (s. *Abb. 5*).

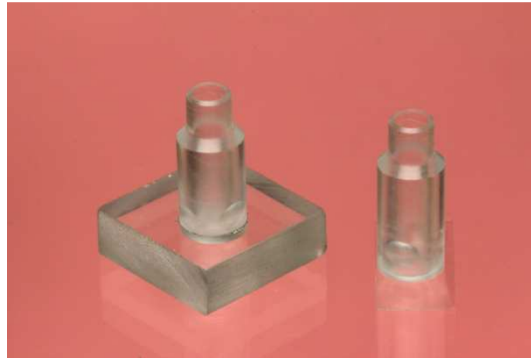


Abb. 5: Plexiglastubus in Haltevorrichtung

Die zuvor circa zwei Millimeter vom Innenrand der Tubusbasis angebrachten Retentionen sollten für das gerichtete Wegschrumpfen des Komposits von der auf der anderen Seite des Tubus befindlichen Klebefläche sorgen, was einen geringen Niveauunterschied zwischen Tubusrand und Kompositoberfläche von ca. 50-100 μm bedingen sollte [35].

Abschließend wurden die Plexiglastuben vom Boden her blasenfrei mit dem dualhärtenden MultiCore Flow aufgefüllt (s. *Abb. 6*). Der dabei anfallende Überschuss wurde sorgfältig mit einem Schaumstoffpellet abgestrichen (s. *Abb. 7*). Die Aushärtephase bis zur Verklebung betrug sieben Minuten.



Abb. 6: Blasenfreies Befüllen eines Plexiglastubus mit MultiCore Flow



Abb. 7: Anschließendes Versäubern mit einem Schaumstoffpellet

3.2.5 Herstellen des Klebeverbundes mit Multilink Automix

3.2.5.1 Klebevorrichtung



Abb. 8: Klebevorrichtung

Um für alle Prüfkörper einheitliche Klebebedingungen und somit vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurde eine spezielle Vorrichtung verwendet, die das axiale Verkleben unter gleichem Anpressdruck gewährleistet. Die Klebevorrichtung setzt sich aus einem 750 g schweren und über Linearführungen mit der Basis verbundenen Schlitten zusammen (s. Abb. 8). Die Linearführungen stellen eine reibungslose Translationsbewegung zur Basis sicher, während das Schlittengewicht für einen gleichen Anpressdruck sorgt.

Der Plexiglastubus wurde mit einer Feststellschraube an der Schlittenunterseite befestigt (s. Abb. 9), so dass die Klebeseite zur Basis der Vorrichtung zeigte. Durch das Lösen einer für die Linearführung zuständigen Feststellschraube wurde der Tubus mit dem Schlitten zur Basis abgesenkt und konnte dadurch mit einer auf der Basis liegenden PEKK- oder PEEK-Scheibe verklebt werden. Die Scheibe lag mit ihrer konditionierten Seite zum Schlitten weisend auf einem Silikonpad, das als Ausgleichsunterlage bei eventuellen Unebenheiten auf der PEKK- oder PEEK-Scheibenoberfläche diente [36].



Abb. 9: Einsetzen der Probe in die Klebevorrichtung

3.2.5.2 Verklebung mit Multilink Automix

Die Klebefläche des in der Klebevorrichtung eingespannten Plexiglastubus wurde mit dem dualhärtenden Multilink Automix beschickt (s. *Abb. 10*). Der erste Teil des aus der Mischkanüle austretenden Komposits wurde verworfen, um eine Homogenität des Befestigungsmaterials zu erreichen. Durch Absenken des Schlittens erfolgte die Verklebung mit der PEKK- oder PEEK-Scheibe. Mit einem Schaumstoffpellet wurde überschüssiges Material entfernt (s. *Abb. 11*) und Liquid Strip (Glyceringel) zur Vermeidung einer Sauerstoffinhibitionsschicht zirkulär um die Klebefuge aufgetragen (s. *Abb. 12*). Es folgte ein manuelles Lichthärten (Elipar™ 2500 Halogen Curing Light) für je 20 Sekunden an zwei gegenüberliegenden Seiten der Verklebung (s. *Abb. 13*), anschließend wurde zur Auspolymerisation eine Lichtpolymerisation im Dentacolor XS-Lichtofen (Hereaus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland) für weitere 90 Sekunden durchgeführt.



Abb. 10: Auftragen von Multilink Automix



Abb. 11: Überschussentfernung von Multilink Automix



Abb. 12: Auftragen von Liquid Strip

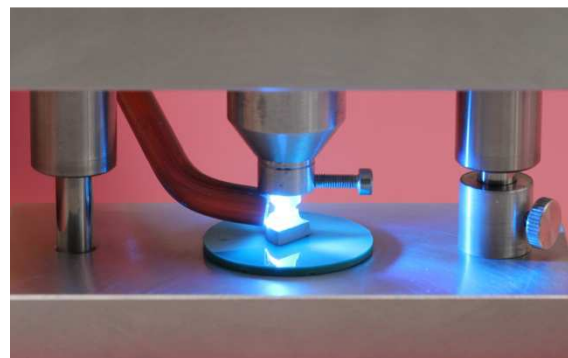


Abb. 13: Lichthärten einer verklebten Probe

3.2.6 Gruppeneinteilung

In dieser Studie wurden aufgrund der drei unterschiedlichen Materialien (amorphes und kristallines PEKK, faserverstärktes PEEK) drei Serien (à 150 Prüfkörper) gebildet (s. Abb. 14). Entsprechend der fünf Konditionierungsmöglichkeiten wurde jede Serie in fünf Gruppen eingeteilt. Die Untergruppen Pre, PreLu und PreLu5 wurden zur Oberflächenaktivierung mit Korund (Rocatec Pre) und die Untergruppen SoMB und SoMBLu zur Silikatisierung der Oberfläche mit kieselensäuremodifizierten Korund (Rocatec Soft) im Rocatec-System abgestrahlt. Anschließend wurden die Prüfkörperoberflächen entsprechend ihrer Gruppenzugehörigkeit konditioniert (s. Kapitel 3.2.3).

Die einzelnen Untergruppen wurden wiederum in Abhängigkeit von ihrer Lagerungsdauer in drei Unterkategorien (3 d, 30 d, 150 d) aufgeteilt, so dass insgesamt 45 Untergruppen mit je 10 Prüfkörpern verklebt und untersucht wurden (Gesamtzahl der Prüfkörper 450). Die Zuordnung der einzelnen Prüfkörper zu den jeweiligen Gruppen und Untergruppen erfolgte randomisiert.

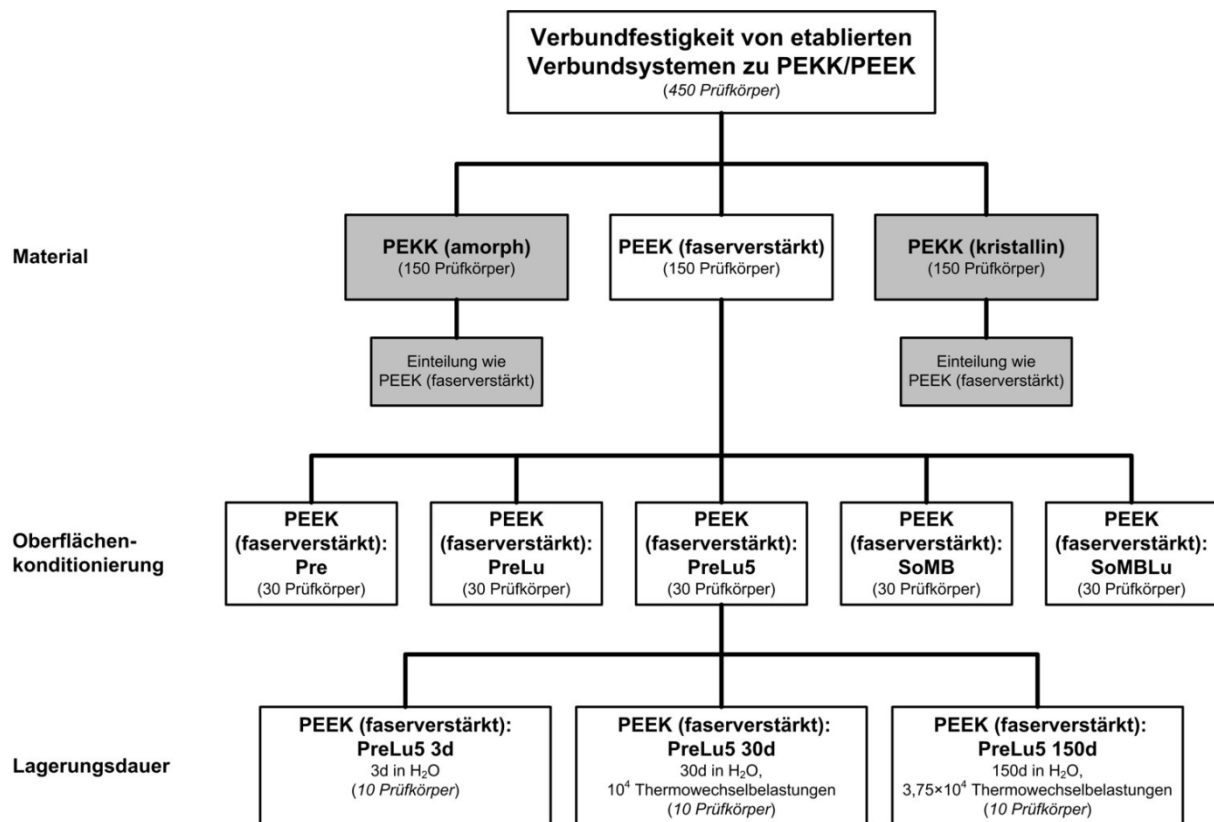


Abb. 14: Gruppeneinteilung

3.2.7 Lagerung und Alterung der Prüfkörper

Für die künstliche Alterung wurde das Konzept des Thermocyclings (Temperaturwechselbelastung in 5 °C und 55 °C Wasserbädern) gewählt, welches nach einer Studie von Kern und Wegener geeigneter ist als eine bloße Wasserlagerung [36, 37].

Für die vollständige Auspolymerisation wurden alle Prüfkörper zunächst für drei Tage in destilliertes, 37 °C warmes Wasser gelagert, wobei die 3-Tage-Serien (Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6) direkt im Anschluss ausgewertet wurden. Die 30- und 150-Tage-Serien hingegen wurden zusätzlich im Thermocycler (Willytec Thermocycler, SD-Mechatronik GmbH, Feldkirchen-Westerham, Deutschland) künstlich gealtert. Ein Schwenkarm ermöglichte den Transport zwischen den 5 °C und 55 °C warmen Thermobädern (ThermoHaake dc 10, Haake GmbH, Karlsruhe, Deutschland), deren Temperaturen durch den Einsatz von Thermostaten konstant gehalten wurde. Die Verweildauer im jeweiligen Bad betrug 30 Sekunden, die Transferzeit (Dauer der Überleitung von einem Wasserbad ins andere) sechs Sekunden. Das einmalige Durchlaufen beider Bäder entsprach einem Zyklus. Die 30-Tage-Serien durchliefen insgesamt 10.000 Zyklen, während die 150-Tage-Serien 37.500 Zyklen absolvierten.

3.2.8 Auswertungsmethoden

3.2.8.1 Prüfung der Verbundfestigkeit

Nach der Lagerung und Alterung der Prüfkörper wurde die Verbundfestigkeit geprüft, indem die durch den Klebeverbund tolerierte Kraft im axialen Zugversuch in einer Universalprüfmaschine (Zwick Z010/TN2A, Zwick/Roell, Ulm, Deutschland) ermittelt wurde. Die adjustierbare, kardanisch aufgehängte Abzugsvorrichtung ermöglichte einen Abzug orthogonal zur Klebefläche, indem die Kettenaufhängung eine drehmomentfreie Krafteinleitung gewährleistete und Verdrehungen der eingehängten Probe ausglich [36].

Die Prüfkörper wurden hierfür in die spezielle Abzugsvorrichtung eingespannt (s. *Abb. 15* und *Abb. 16*) und mit einer axial senkrecht ansetzenden Kraft bis zum vollständigen Versagen der Verklebung auseinander gezogen. Die Prüfmaschine arbeitete mit einer Vorschubgeschwindigkeit von zwei mm/min. Bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 0,5 - 10 mm/min wird kein Einfluss auf die Messergebnisse der Verbundfestigkeit genommen [38]. Gemessen wurde die Kraft, die zum Bruch der Probe führte. Die Verbundfestigkeit

(MPa = N/mm²) errechnete sich aus der Division von der gemessenen Kraft (N) durch die Gesamtklebefläche (mm²), wobei aufgrund der einheitlichen Tubengröße von einer konstanten Klebefläche von etwa 8,04 mm² ausgegangen werden konnte.



Abb. 15: Universalprüfmaschine (Zwick Z010) mit eingespannter Probe

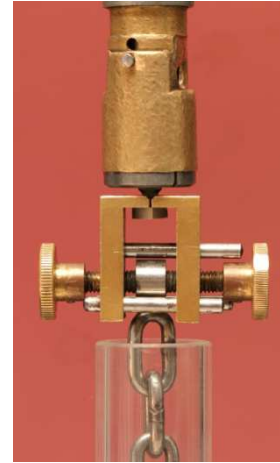


Abb. 16: Detaildarstellung der Abzugsvorrichtung

3.2.8.2 Prüfung der Bruchfläche

Mittels eines Stereomikroskops (Wild Makroskop M240, Heerbrugg, Deutschland) wurden die Prüfkörper nach dem Durchlaufen des Zugtestes auf die Art des Bruchmusters lichtmikroskopisch untersucht. Es wurde zwischen drei Bruchmodi unterschieden: Befand sich die Frakturlinie ausschließlich innerhalb eines Materials (hier im Füllungswerkstoff Multicore Flow), wurde die Probe als rein kohäsiver Bruch klassifiziert. Ursächlich für den Bruch war somit Materialversagen. Zog der Bruchspalt zwischen zwei verschiedenen Materialien, also am Übergang Material-Kleber, hindurch, ließ dies auf ein Versagen des Klebeverbundes schließen und das Bruchmuster wurde zu den rein adhäsiven Brüchen gezählt. Beim gemischten Bruch lagen adhäsive und kohäsive Bruchmuster kombiniert vor. Bei Vorliegen von gemischten Brüchen wurden die prozentualen Anteile der kohäsiv und adhäsiv frakturierten Flächen unter dem Stereomikroskop bei 25-facher Vergrößerung ermittelt. Anschließend wurde mittels des Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Office Excel (Version 2007) von allen Ergebnissen innerhalb einer Gruppe das arithmetische Mittel gebildet und in einem Säulendiagramm veranschaulicht (s. *Abb. 21*), um das Bruchverhalten der verschiedenen Gruppen zu beurteilen. Zur detailgenaueren Darstellung wurde die Oberflächenbeschaffenheit einiger repräsentativer Prüfkörper mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM, XL 30 CP, Eindhoven, Niederlanden) untersucht. Hierfür

musste die Prüfkörperoberfläche zuvor gesputtert (Beschichtung mit ca. 15 nm Goldlegierung) werden. Zur Messung der Oberflächenrauigkeit wurden unkonditionierte Probekörper gewählt und mit dem 3d-Laserscanningmikroskop (VK-X100K/X200K, Keyence, Deutschland) ausgewertet.

3.2.8.3 Versuchsauswertung mittels statistischen Verfahren

Die statistische Versuchsauswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit Frau Dr. Freitag-Wolf am Institut für Medizinische Informatik und Statistik der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel mit der Statistiksoftware SPSS Statistics 17.0. Da die für parametrische Auswertungen nötigen Verteilungsvoraussetzungen (Normalverteilung) nicht erfüllt worden sind, wurden nichtparametrische Testverfahren (Kruskal-Wallis-Test und Mann-Whitney-U-Test) angewandt. Es wurde das Verhalten der Probekörper bezüglich der Alterung, des Materials und der Konditionierung getestet, wobei jeweils die Verbundfestigkeit ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$) als der Bezugsparameter verglichen wurde. Das Signifikanzniveau (Irrtumswahrscheinlichkeit) aller Tests wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Im Anschluss erfolgte für die multiplen Vergleiche die Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferroni-Holm (Alphafehlerkumulierung).

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte unter Angabe von Mittelwerten mit Standardabweichung und Medianen (*Tab. 2 bis Tab. 4*). Die deskriptive Darstellung der Verbundfestigkeitswerte wurde mit Hilfe von Boxplots (s. *Abb. 17 bis 19*) realisiert, die eine gute Vergleichbarkeit der Gruppen untereinander ermöglichen, sowie auch Auskunft über die Streuung der Daten innerhalb einer Gruppe geben können. Ein Boxplot besteht aus einer Box und zwei Antennen (auch als Whisker bezeichnet). Die Box wird vom ersten (0,25 -Quartil) und dritten Quartil (0,75-Quartil) begrenzt, d.h. der Interquartilsabstand enthält somit 50 % der mittleren Werte. Der Median markiert die 50 %-Grenze der Werte insgesamt und teilt daher die Box in zwei Hälften. Ausreißer werden ebenfalls gekennzeichnet: Treten einzelne Messwerte auf, die um mehr als anderthalb Boxenlängen außerhalb des Interquartilabstandes liegen, so werden sie durch einen Kreis markiert. Extremwerte, die sich um mehr als drei Boxenlängen außerhalb befinden, werden durch einen Stern gekennzeichnet [39].

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des im Kapitel 3 vorgestellten Zugbelastungstests für die 3-, 30- und 150-Tage-Serie aller drei Materialtypen mittels der deskriptiven Statistik zusammenfassend dargestellt und statistisch ausgewertet (Beschreibung der analytischen Verfahren s. Kapitel 3.2.8.3). Die einzelnen Ergebniswerte aller 45 Versuchsreihen sind im Tabellenanhang einsehbar (s. Kapitel 8). Die anschließende Auswertung und Betrachtung der Ergebnisse erfolgt im fünften Kapitel.

4.1 Deskriptive Statistik

4.1.1 Tabellarische Darstellung der Verbundfestigkeitswerte

Die drei folgenden Tabellen sind nach der Lagerungsdauer (3 d, 30 d, 150 d) der Prüfkörper aufgeteilt, sie fassen die Ergebnisse zur Verbundfestigkeitsprüfung der einzelnen Gruppen unter Angabe von Mittelwerten (\bar{x}), den zugehörigen Standardabweichungen (σ) und Medianen (\tilde{x}) zusammen. Die Art der Konditionierung der einzelnen Gruppen wurde bereits in Kapitel 3.2.3 beschrieben. Bei den mit einem Sternchen (*) gekennzeichneten Werten handelt es sich um Gruppen, bei denen sich der Verbund bei einzelnen Prüfkörpern schon während der Lagerungsdauer gelöst hat und als Nullwert in die Analyse einging.

Tab. 2: Ergebnisse der 3-Tage-Serien

3 d	PEKK (amorph)			PEEK (faserverstärkt)			PEKK (kristallin)		
	\bar{x}	σ	\tilde{x}	\bar{x}	σ	\tilde{x}	\bar{x}	σ	\tilde{x}
Pre	*2,7	1,9	3,1	14,4	3,2	15,7	*4,2	2,4	4,5
PreLu	16,3	2,3	15,6	18,3	2,5	18,2	15,3	1,7	14,9
PreLu5	13,9	1,8	13,7	19,1	4,0	18,7	15,7	3,8	15,3
SoMB	*9,9	4,9	10,1	15,0	5,8	14,9	15,8	2,1	16,1
SoMBLu	14,3	1,3	14,4	*21,8	8,8	23,6	17,7	1,7	18,0

Angaben in MPa (N/mm²), Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6, \bar{x} - Mittelwert, σ - Standardabweichung, \tilde{x} - Median, * - Proben mit vorzeitig gelöstem Klebeverbund

Tab. 3: Ergebnisse der 30-Tage-Serien

30 d	PEKK (amorph)			PEEK (faserverstärkt)			PEKK (kristallin)		
	\bar{x}	σ	\tilde{x}	\bar{x}	σ	\tilde{x}	\bar{x}	σ	\tilde{x}
Pre	6,5	3,4	5,1	*8,0	3,6	9,2	*2,6	3,0	1,8
PreLu	13,6	1,8	13,2	14,1	3,4	13,3	12,7	2,4	11,9
PreLu5	12,7	3,7	13,3	14,9	1,7	15,2	12,9	2,7	12,6
SoMB	*4,8	3,5	5,2	7,7	2,9	7,5	13,6	5,4	14,4
SoMBLu	12,9	2,5	12,5	19,5	3,7	19,2	17,8	4,8	17,2

Angaben in MPa (N/mm²), Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6, \bar{x} - Mittelwert, σ - Standardabweichung, \tilde{x} - Median, * - Proben mit vorzeitig gelöstem Klebeverbund

Tab.4: Ergebnisse der 150-Tage-Serien

150 d	PEKK (amorph)			PEEK (faserverstärkt)			PEKK (kristallin)		
	\bar{x}	σ	\tilde{x}	\bar{x}	σ	\tilde{x}	\bar{x}	σ	\tilde{x}
Pre	*1,1	2,5	0,0	*8,0	4,8	8,8	*2,8	2,8	2,2
PreLu	12,1	2,1	12,5	13,5	2,8	13,3	12,9	2,0	12,1
PreLu5	12,1	2,4	12,0	16,0	1,9	15,6	12,1	1,6	12,4
SoMB	10,5	2,6	10,8	15,6	3,3	14,7	10,0	6,4	10,4
SoMBLu	13,7	1,5	14,3	21,8	2,1	21,6	17,7	4,5	16,5

Angaben in MPa (N/mm²), Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6, \bar{x} - Mittelwert, σ - Standardabweichung, \tilde{x} - Median, * - Proben mit vorzeitig gelöstem Klebeverbund

4.1.2 Grafische Darstellung der Verbundfestigkeitswerte

Im Folgenden ergänzt die grafische Darstellung der Verbundfestigkeitswerte als Boxplot (s. Kapitel 3.2.8.3) die im vorherigem Kapitel tabellarisch aufgeführten Ergebnisse, da mittels der Boxplot die Streuung der Daten besser zu erfassen ist und sie einen bildlichen Vergleich der jeweiligen Gruppen ermöglicht. Die Boxplots sind ebenfalls nach der Lagerungszeit aufgeteilt worden.

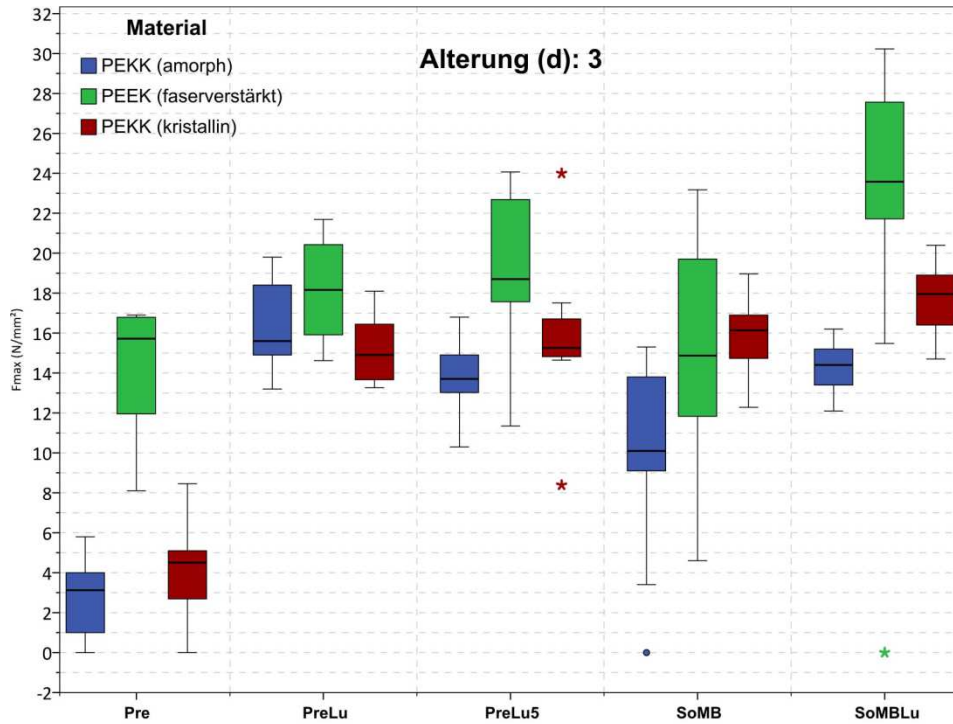


Abb. 17: Darstellung der statistischen Verteilung der Verbundfestigkeitswerte der 3-Tage-Serien; Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6

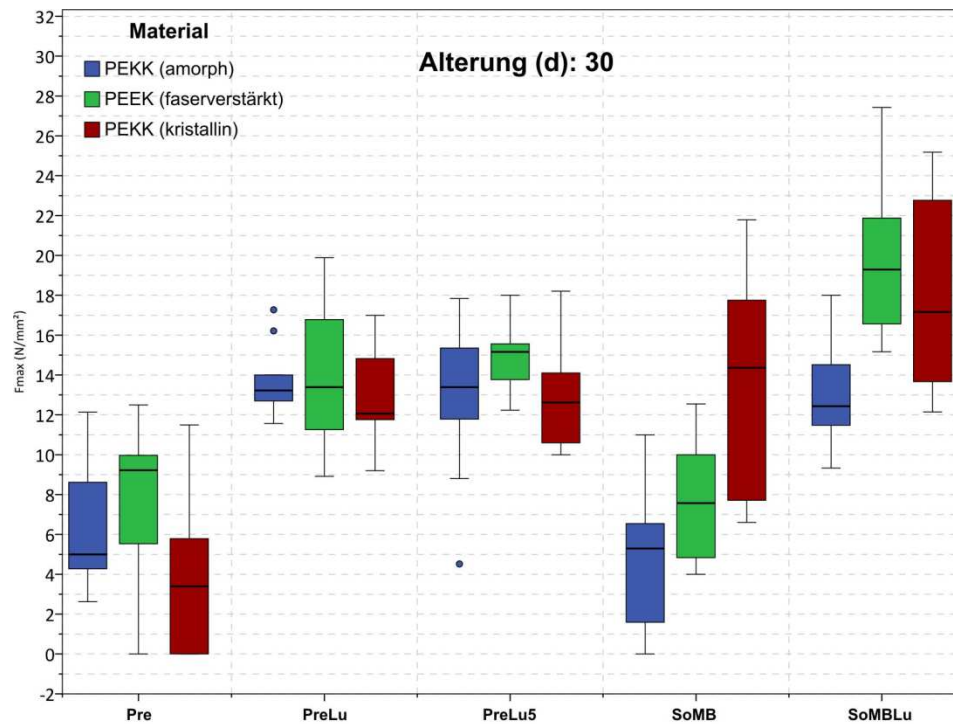


Abb. 18: Darstellung der statistischen Verteilung der Verbundfestigkeitswerte der 30-Tage-Serien; Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6

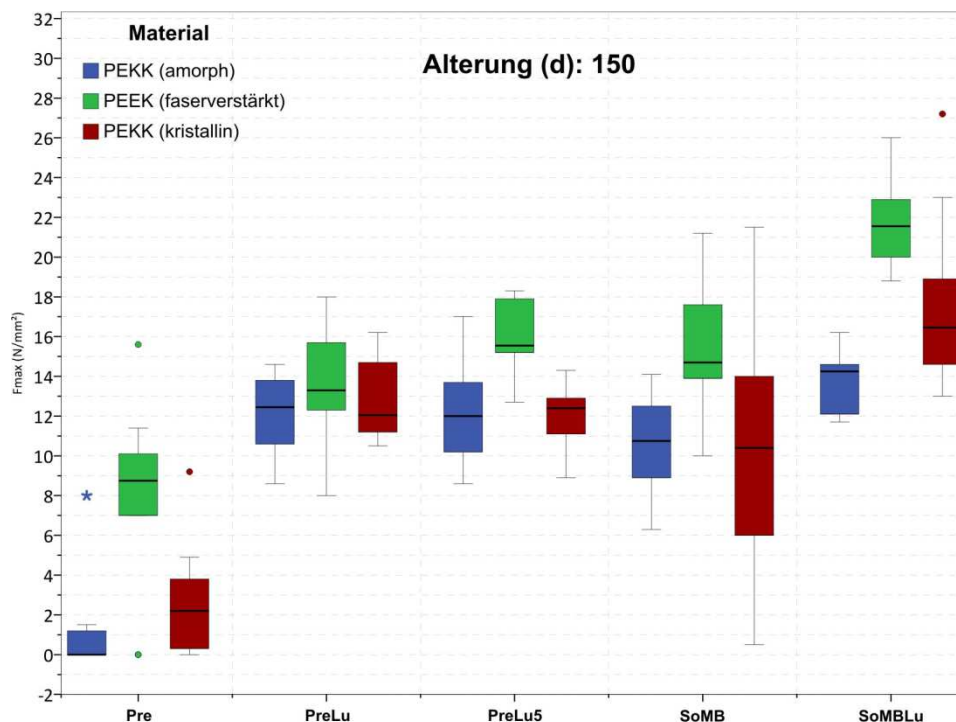


Abb. 19: Darstellung der statistischen Verteilung der Verbundfestigkeitswerte der 150-Tage-Serien, Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6

Die Auswertung der Diagramme (Abb. 17 - 19) und Tabellen (Tab. 2 - Tab. 4) zeigt, dass die höchsten Werte durch die Konditionierung mit Rocatec Soft, Monobond Plus und Luxatemp - Glaze & Bond (SoMBLu) und die niedrigsten durch ausschließliche Korundstrahlung (Pre) erreicht worden sind. Das faserverstärkte PEEK lieferte die stärksten Verbundfestigkeiten, während das amorphe PEKK den geringsten Haftverbund aufzeigte. Die höchsten Festigkeitswerte wurden mit $21,8 \pm 8,8$ MPa bei faserverstärkten PEEK in der Gruppe SoMBLu der 3-Tage-Serie erreicht, wohingegen die niedrigsten Werte von $1,1 \pm 2,5$ MPa beim amorphen PEKK in der Gruppe Pre der 150-Tage-Serie zu finden waren.

4.2 Statistische Auswertung

In diesem Kapitel werden nun die gemessenen Verbundfestigkeitswerte aller drei Materialien ausgewertet. Es wurde der Einfluss der Alterung, der Oberflächenkonditionierung und der Materialwahl auf den Haftverbund zu den PEKK- und PEEK-Prüfkörpern untersucht.

4.2.1 Einfluss der Alterung auf die Verbundfestigkeit

Um die Abhängigkeit der Verbundfestigkeit von der Lagerungsdauer des jeweiligen Verbundsystems zwischen den PEKK-/ PEEK-Scheiben und dem Adhäsiv Multicore Flow zu prüfen, wurde das Datenmaterial der jeweiligen Konditionierungsgruppen in Bezug auf die drei Lagerungszeiten mittels multipler Testreihe (s. Kapitel 3.2.8.3) untersucht (Nullhypothese: „Die Verbundfestigkeit der Messreihen ist unabhängig von der Lagerungsdauer“). Die Zusammenfassung dieser Analyse ist tabellarisch (s. Tab. 5) dargestellt. Die Einzelwerte der statistischen Auswertung der Einflussunterschiede der Alterung auf die Verbundfestigkeit sind im Anhang einzusehen (s. Kapitel 8).

Tab. 5: Einfluss der Alterung (3d, 30d, 150d) auf die Verbundfestigkeit (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney-U-Test)

Material	Gruppe	Lagerungszeit		
		3 d – 30 d	30 d – 150 d	3 d – 150 d
PEKK (amorph)	Pre	n.s	*	n.s.
	PreLu	n.s.	n.s.	*
	PreLu5	n.s.	n.s.	n.s.
	SoMB	n.s.	*	n.s.
	SoMBLu	n.s.	n.s.	n.s.
PEEK (faserverstärkt)	Pre	n.s.	n.s.	n.s.
	PreLu	n.s.	n.s.	*
	PreLu5	n.s.	n.s.	n.s.
	SoMB	n.s.	*	n.s.
	SoMBLu	n.s.	n.s.	n.s.
PEKK (kristallin)	Pre	n.s.	n.s.	n.s.
	PreLu	n.s.	n.s.	n.s.
	PreLu5	n.s.	n.s.	n.s.
	SoMB	n.s.	n.s.	n.s.
	SoMBLu	n.s.	n.s.	n.s.

d – Tag
 Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6
 NS: $p > 0,05$ - nicht signifikant, *: $p \leq 0,05$ – schwach signifikant

Amorphes PEKK: Bei dem amorphen PEKK wird die Nullhypothese, dass die Lagerung keinen Einfluss auf die Verbundfestigkeit aufweist, nur in den Untergruppen PreLu5 und SoMBLu bestätigt. Die Verbundfestigkeitswerte sanken zwar auch in diesen Untergruppen

während der gesamten Lagerung geringfügig ab, sie lagen jedoch nicht im festgelegten signifikanten Bereich ($p > 0,05$). In beiden Fällen erwiesen sich die Verbundsysteme daher lagerungsstabil innerhalb des Untersuchungszeitraumes.

Aufgrund stark variierender Verbundfestigkeitswerte bei den Untergruppen Pre, PreLu und SoMB hatte die Alterung signifikante Auswirkungen ($p \leq 0,05$) auf die Verbundfestigkeit, so dass die Nullhypothese hier abgelehnt werden musste. Während in der Untergruppe Pre die höchste Verbundfestigkeit ($6,5 \pm 3,4$ MPa) bei der Alterung von 30 Tagen zu verzeichnen war, wies die PreLu ihre höchste Haftkraft ($16,3 \pm 2,3$ MPa) bei der 3-Tage-Serie und die SoMB ($10,5 \pm 2,6$ MPa) bei der 150-Tage-Serie auf (vgl. *Tab. 2 bis Tab. 4*).

Faserverstärktes PEEK: Mit einem Signifikanzniveau von über fünf % erwiesen sich die Konditionierungsformen Pre, PreLu5 und SoMBLu des faserverstärkten PEEKs im untersuchten Zeitraum als lagerungsstabil (keine signifikante Beeinflussung der Verbundfestigkeit durch die Alterung), obgleich die Verbundfestigkeitswerte vor allem zwischen der 3- und 30-Tage-Serie ebenfalls sanken. Die Verminderung der Verbundfestigkeit in dieser Zeitspanne reichte jedoch nicht aus, um signifikante Unterschiede hervorzurufen. Zwischen der 30- und 150-Tage-Serie blieben die Werte konstant.

Die Untergruppen PreLu und SoMB erwiesen sich nicht als lagerungsstabil ($p \leq 0,05$). Einen un stetigen Verhaltensverlauf bezüglich der Haftfestigkeit in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer zeigte SoMB, bei der die höchsten Werte bei der 3-Tage-Serie ($15,0 \pm 5,8$ MPa) und der 150-Tage-Serie ($15,6 \pm 3,3$ MPa) zu verzeichnen waren, während bei der 30-Tage-Serie nur die Hälfte dieser Werte erreicht wurden.

Kristallin PEKK: Die Nullhypothese („Verbundfestigkeit der Messreihen ist unabhängig von der Lagerungsdauer“) konnte beim kristallinen PEKK in allen fünf Untergruppen nicht abgelehnt werden ($p > 0,05$). Die Verklebung des kristallinen PEKKs blieb in den gemessenen Zeiträumen unbeeinflusst von der Wasserlagerung mit Temperaturwechselbelastung, so dass ein lagerungsstabiler Haftverbund im gesamten Untersuchungszeitraum erzielt werden konnte. Trotz anfänglich geringem Haftkraftverlust in den Untergruppen blieben die Verbundfestigkeitswerte nach einer Alterung ab etwa 30 Tagen bis hin zu 150 Tagen konstant und es konnten keine signifikanten Veränderungen der Verbundfestigkeit durch die Alterung festgestellt werden.

4.2.2 Einfluss der Oberflächenkonditionierung auf die Verbundfestigkeit

Für die Untersuchung der Abhängigkeit zwischen der Verbundfestigkeit und der Oberflächenkonditionierung wurden die Nullhypothese: „Verklebung der Messreihen ist unabhängig von der Oberflächenkonditionierung“ getestet. Hierfür wurden die einzelnen Konditionierungsgruppen eines Materials gegeneinander auf Unterschiede geprüft. Die Ergebnisse der Analyse sind in *Tab. 6* zusammengetragen. Die Einzelwerte der statistischen Auswertung der Einflussunterschiede der Konditionierung auf die Verbundfestigkeit sind im Anhang einzusehen (s. Kapitel 8).

Tab. 6: Einfluss der Oberflächenkonditionierungen auf die Verbundfestigkeit (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney-U-Test)

Material Lagerungszeit Gruppe	PEKK (amorph)			PEEK (faserverstärkt)			PEKK (kristallin)		
	3 d	30 d	150 d	3 d	30 d	150 d	3 d	30 d	150 d
Pre vs. PreLu	*	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	*
Pre vs. PreLu5	*	n.s.	*	n.s.	*	*	*	*	*
Pre vs. SoMB	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	n.s.
Pre vs. SoMBLu	*	n.s.	*	n.s.	*	*	*	*	*
PreLu vs. PreLu5	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PreLu vs. SoMB	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PreLu vs. SoMBLu	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
PreLu5 vs. SoMB	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PreLu5 vs. SoMBLu	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*
SoMB vs. SoMBLu	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.

d – Tag
 Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6
 NS: $p > 0,05$ - nicht signifikant, *: $p \leq 0,05$ – signifikant

Amorphes PEKK: Die Ergebnisse zeigen, dass für die Untergruppen PreLu vs. PreLu5, PreLu vs. SoMBLu und PreLu5 vs. SoMBLu die Konditionierungen im untersuchten Zeitraum für eine Verklebung beim amorphen Material gleichwertig einsetzbar sind. Der Haftverbund der gegenübergestellten Untergruppen veränderte sich nicht signifikant innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Bei den anderen Untergruppen konnte kein einheitliches Verhalten des Klebeverbundes während der gesamten Lagerungsdauer beobachtet werden, so dass sie nicht gegeneinander austauschbar sind.

Faserverstärktes PEEK: Beim faserverstärkten PEEK ähnelten sich die Verbundfestigkeitswerte aller fünf Konditionierungsgruppen in der 3-Tages-Serie dermaßen, dass kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte.

Im Vergleich der Untergruppen Pre vs. PreLu, Pre vs. SoMB und PreLu vs. PreLu5 veränderten sich die Verbundfestigkeitswerte innerhalb der verglichenen Pärchen auch im weiteren Untersuchungszeitraum nicht signifikant, d.h., dass die untersuchten Untergruppen für den gesamten Untersuchungszeitraum gleiche Ergebnisse liefern und gleichermaßen verwendet werden können.

Kristallines PEKK: Die Konditionierungsverfahren PreLu, PreLu5, SoMB und SoMBLu unterschieden sich in ihrer Verbundstärke zu kristallinem PEKK nicht signifikant, d.h. die gleiche Verbundstärke wurde mit diesen vier Untergruppen erreicht (Ausnahme der Vergleich von PreLu5 und SoMBLu in der 150-Tage-Serie). Sie können daher alle gleichwertig eingesetzt werden.

Die Untergruppe Pre wies mit Abstand zu allen anderen Untergruppen die niedrigsten Verbundhaftwerte auf. Daher grenzte sie sich bei der Auswertung auch signifikant zu allen anderen Konditionierungsformen ab. Eine Ausnahme bildete der Vergleich von Pre und SoMB in der 150-Tage-Serie, dessen Ergebnisse sich nicht signifikant unterschieden.

4.2.3 Einfluss des Materials auf die Verbundfestigkeit

Um festzustellen, ob die Materialwahl – amorphes PEKK, kristallines PEKK oder faserverstärktes PEEK – die Verbundfestigkeit beeinflusst, wurde die Nullhypothese „Verklebung der Messreihen ist unabhängig von der Materialwahl“ getestet. Hierfür wurden die jeweiligen Konditionierungsgruppen zwischen allen drei Materialien auf Unterschiede geprüft. Die Ergebnisse der Analyse sind in (Tab. 7) zusammengetragen. Die Einzelwerte der statistischen Auswertung des Materialeinflusses auf die Verbundfestigkeit sind im Anhang einzusehen (s. Kapitel 8).

Tab. 7: Einfluss des Materials auf die Verbundfestigkeit (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney-U-Test)

Lagerungszeit	Gruppe	Material		
		PEKK (amorph) vs. PEEK (faserverstärkt)	PEEK (faserverstärkt) vs. PEKK (kristallin)	PEKK (amorph) vs. PEKK (kristallin)
3 d	Pre	*	*	n.s.
	PreLu	n.s.	n.s.	n.s.
	PreLu5	n.s.	n.s.	n.s.
	SoMB	n.s.	n.s.	n.s.
	SoMBLu	n.s.	n.s.	*
30 d	Pre	n.s.	n.s.	n.s.
	PreLu	n.s.	n.s.	n.s.
	PreLu5	n.s.	n.s.	n.s.
	SoMB	n.s.	n.s.	*
	SoMBLu	*	n.s.	n.s.
150 d	Pre	n.s.	n.s.	n.s.
	PreLu	n.s.	n.s.	n.s.
	PreLu5	n.s.	*	n.s.
	SoMB	*	n.s.	n.s.
	SoMBLu	*	n.s.	n.s.

d – Tag
 Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6
 NS: $p > 0,05$ - nicht signifikant, *: $p \leq 0,05$ – signifikant

Der Vergleich der drei Materialien (amorphes PEKK, kristallines PEKK, faserverstärktes PEEK) untereinander ergab, dass die Verbundfestigkeit relativ unbeeinflusst von der Materialwahl ist. Insgesamt gab es acht Materialvergleiche, bei denen signifikante Unterschiede in der Verbundfestigkeit nachzuweisen waren (vgl. Tab. 7).

Eine Messung (3d-scanning microscope (VK-X100K/X200K, Keyence, Deutschland)) der Rautiefe der abgestrahlten Oberflächen ergab, dass das faserverstärkte PEEK eine größere Rautiefe (Rocatec Pre: 5,1 μm , Rocatec Soft: 2,6 μm) besaß als das amorphe PEKK (Rocatec Pre: 3,2 μm , Rocatec Soft: 2,2 μm) und das kristalline PEKK (Rocatec Pre: 3,2 μm , Rocatec Soft: 1,8 μm). Die Messergebnisse hierzu sind im Anhang einsehbar (s. Kapitel 8)).

4.3 Lichtmikroskopische Betrachtung der Bruchmodi

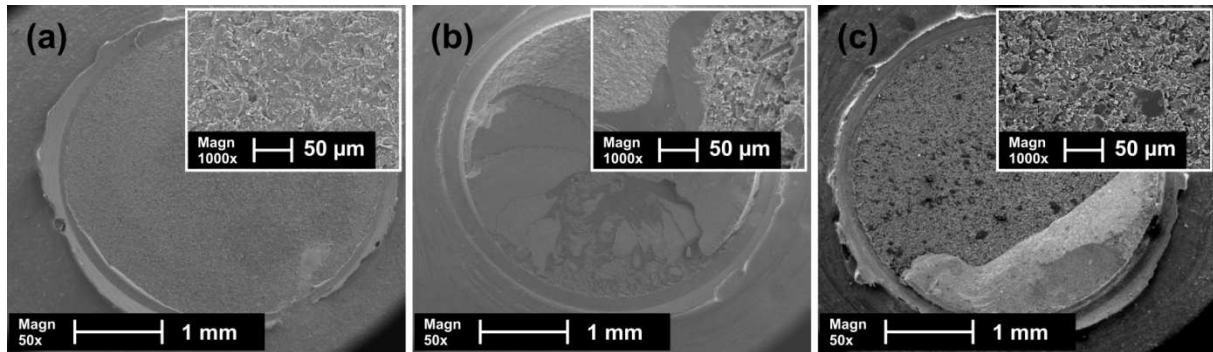


Abb. 20: Beispiel für einen (a) 100%igen adhäsiven Bruch (amorphes PEKK, Pre), (b) größtenteils kohäsiven Bruch (faserverstärktes PEEK, SoMBLu) und (c) gemischten Bruch (kristallines PEKK, PreLu) aus den 150-Tage-Serien bei einer 50- und 1000-fachen Vergrößerung

Ein Beispiel für die drei verschiedenen Varianten des Bruchmodus zeigt *Abb. 20*. Das prozentual dargestellte Verhältnis der kohäsiven und adhäsiven Bruchmodi der einzelnen Gruppen (à 10 Prüfkörper) nach 3, 30 und 150 Tagen Lagerung wird im folgenden Diagramm (s. *Abb. 21*) dargestellt. Der Bruchmodus aller Prüfkörper war vornehmlich ein adhäsiver Bruch. Der Anteil des kohäsiven Bruchmodus wurde mit steigender Verbundfestigkeit größer, so dass der kohäsive Bruchanteil vom amorphen PEKK, über das kristalline PEKK bis zum faserverstärkten PEEK zu nahm (vgl. *Abb. 21*). Bei den sich während des Alterungsprozesses vorzeitig gelösten Prüfkörpern lag ein rein adhäsives Bruchversagen vor. *Abb. 20 (a)* zeigt einen solchen Fall beim amorphen PEKK in der Gruppe Pre.

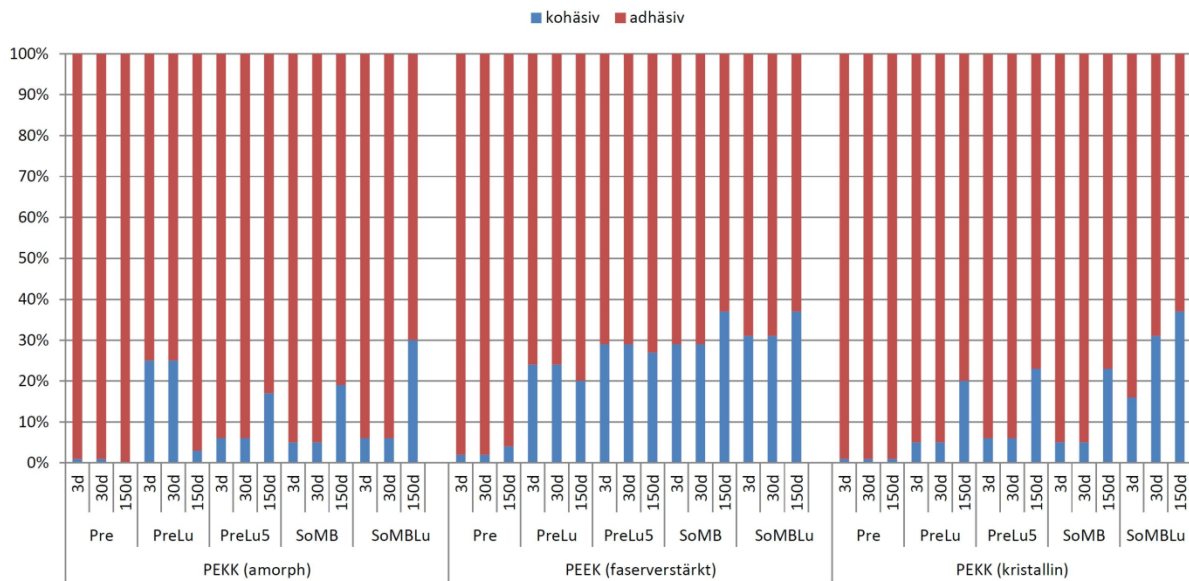


Abb. 21: Darstellung der kohäsiven und adhäsiven Anteilen (in %) der Bruchmodi, Gruppeneinteilung s. Kapitel 3.2.6

5 Diskussion

5.1 Diskussion von Material und Methode

In den folgenden Unterkapiteln werden die Anwendung der verwendeten Materialien sowie das methodische Vorgehen in dieser Studie diskutiert.

5.1.1 Auswahl des Materials für den Klebevorgang

Studien zur Verklebung von PEEK zeigten, dass bei einem Adhäsivsystem die Verwendung von multifunktionelle Methacrylate enthaltene Primer gute Verbundfestigkeitswerte lieferte, wobei im Gegensatz dazu phosphatmonomerhaltige Primer keinen Klebeverbund ermöglichten [25, 27]. Es wurde in diesen Studien vermutet, dass der Primer Luxatemp - Glaze & Bond fähig ist, eine chemische Bindung mit der aktivierten PEEK-Oberfläche einzugehen. Daher traf die Auswahl des Primers für diese Studie auf Luxatemp - Glaze & Bond. Zusätzlich sollte getestet werden, ob eine zusätzliche Silanisierung der Oberfläche (mit Monobond Plus) die Verbundfestigkeit des Klebesystems verbessert und in Kombination mit Luxatemp - Glaze & Bond auch die silikatfreien Bereiche für den Haftverbund ausgenutzt werden.

Bei allen für den Klebeverbund gewählten Materialien handelt es sich um Produkte, die bei bereits etablierten Verbundsystemen verwendet werden und gemäß Herstellerangaben hinreichende Langzeiterfahrungen aufweisen.

Als Befestigungskomposit wurde das selbsthärtende Multilink Automix gewählt. Die Basis- und Katalysatorpaste wurden durch die Automischkanüle in einem optimalen Mischungsverhältnis (1:1) hergestellt, um die Entstehung von Luftblasen im Material möglichst gering zu halten. Um für die Verklebung einen optimal gemischten Kompositkleber zu erhalten, wurde der erste aus der Kanüle austretende Pastenteil verworfen. Durch Verwendung dieses konfektionierten Systems werden individuelle Fehler des Behandlers und Dosierungsungenauigkeiten beim Anmischen minimiert.

Auch alle anderen für die Konditionierung benötigten Materialien lagen vorgefertigt vor (Luxatemp - Glaze & Bond, Monobond Plus) oder standen ebenfalls mit einer selbstmischenden Applikatorspritze (Multicore Flow) zur Verfügung.

5.1.2 Herstellung der Prüfkörper

Die Prüfkörper aller drei Materialien wurden vor Versuchsbeginn in einer Parallelometervorrichtung eines Schleifgerätes plan geschliffen, um zu gewährleisten, dass die Prüfkörper eine gemeinsame Dicke und Parallelität ihrer Oberflächen aufweisen und die Voraussetzung für gleiche Klebebedingungen im Versuchsdesign gegeben ist. Für den Fall des Vorhandenseins minimaler Unebenheiten bzw. nicht paralleler Oberflächen wurden diese spätestens durch das weiche Silikonpad am Fuß der Klebevorrichtung (s. *Abb. 8*) ausgeglichen [36].

5.1.3 Herstellung der adhäsiven Befestigung

Der Anpressdruck beeinflusst die Filmdicke der Verklebung, die ihrerseits auf die Verbundfestigkeit einwirkt. Da die Verbundfestigkeit in dieser Studie die abhängige Variable darstellte, war ein einheitlicher Anpressdruck bei allen Prüfkörpern obligat. Um bei allen Versuchen die gleichen, standardisierten Voraussetzungen zu schaffen, wurde bei der Verklebung eine spezielle Klebevorrichtung mit einem definierten Anpressdruck, welcher durch eine Gewichtsauflast erreicht wurde, gearbeitet (s. Kapitel 3.2.5.1) [37].

Das nach Entfernung von Kleberüberständen aufgetragene Glycerin diente dazu, die Ausbildung einer Sauerstoffinhibitionsschicht zugunsten eines guten Auspolymerisierens zu verhindern.

Trotz des standardisierten Verfahrens und sorgfältigen Arbeitens können manuell bedingte Ungenauigkeiten sowie Schwankungen im Materialverhalten vorliegen, so dass eine Streuung der Messdaten nicht ausgeschlossen werden kann.

5.1.4 Lagerungsbedingungen

In dieser Studie wurde zwischen drei Lagerungszeiträumen unterschieden. Die ersten 150 Prüfkörper wurden nach einer 3-tägigen Wasserlagerung im axialen Zugbelastungstest geprüft. Die 30- und 150-Tages-Serien sollten Auskunft über die Langzeitbewahrung der Verklebung bei thermischer Belastung unter Wasserlagerung geben, welches die intraoralen Temperaturwechselbelastungen durch Atmen, Essen und Trinken möglichst realistisch darstellen soll. Hierfür wurden die Proben abwechselnd in ein 5 °C und 55 °C warmes Wasserbecken getaucht. Es handelt sich bislang noch um kein international standardisiertes Verfahren, dennoch wurde es in zahlreichen Studien verwendet [37, 40-44].

In dieser Studie wurde der Haftverbund keinen mechanischen Belastungen (entsprechend der Kaukraft) ausgesetzt, so dass eine Beurteilung des Klebeverhaltens und Verschleißes nur infolge der Temperaturwechselbelastungen und Wahl der Konditionierungssysteme erfolgt ist.

5.1.5 Zugbelastungstest

Die Verbundfestigkeit wurde in einem axialen Zugbelastungstest einer Universalprüfmaschine getestet (s. Kapitel 3.2.8.1). In Anlehnung an die Untersuchungen von Kern und Thompson 1993 [36] betrug die Schichtstärke der Prüfkörper mindestens drei mm, um einer Verbiegung des Materials durch die Krafteinwirkung während des Zugversuchs entgegen zu wirken. Es wurde eine Vorschubgeschwindigkeit von zwei mm/min gewählt. In der Literatur gibt es unterschiedliche Angaben in Bezug auf die Zugeschwindigkeiten bei Zug- und Scherversuchen. Sie variieren zwischen 0,5 mm/min und 5 mm/min [36]. Gemäß den Literaturangaben [38, 45] hat bei den axialen Zugbelastungsprüfungen die Vorschubgeschwindigkeit keinen bedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse des Haftverbundes, wohingegen bei Scherversuchen die Ergebnisse der Haftwerte mit den Zugeschwindigkeiten variieren und zudem einen Einfluss auf das Bruchmuster haben [46, 47].

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Die folgenden Kapitel diskutieren die Ergebnisse der untersuchten Abhängigkeit der Alterung, der Konditionierung und des Materials von der Verbundfestigkeit.

5.2.1 Einfluss der Alterung auf die Verbundfestigkeit

Die Untersuchung, ob die Dauer der Lagerungszeit die Verbundfestigkeit in ihrer Ausprägung beeinflusst, spielt eine große Rolle, da hiermit eine Aussage auf die Verbundstabilität bei Lagerung unter Feuchtigkeit und thermischer Belastung getätigt werden kann. Dies ist wichtig, um festzustellen, welches Material und welche Konditionierung die geeignetsten Voraussetzungen für die intraorale Anwendung bieten.

Das kristalline PEKK stach hier durch eine Konstanz der Verbundfestigkeit über den gesamten Untersuchungszeitraum bei allen fünf Konditionierungsgruppen hervor. Selbst bei

der Kontrollgruppe Pre, die von allen Konditionierungsmöglichkeiten den schwächsten Verbund aufzeigte, konnte mit dem kristallinen PEKK ein hydrolyse-stabiler Verbund erreicht werden. Obwohl die Verbundfestigkeitswerte generell mit den Lagerungszeiten leicht absanken, waren die Unterschiede beim kristallinen PEKK jedoch nicht signifikant genug, als dass von einer Abhängigkeit der Verbundstärke von der Lagerungsdauer ausgegangen werden konnte. Mit dem kristallinen PEKK ist es also möglich, hydrolyse-stabile Klebeverbunde mit den angewendeten Konditionierungssystemen in dem untersuchten Zeitraum herzustellen.

Beim amorphen PEKK und faserverstärkten PEEK gab es sowohl Gruppen, die lagerungsstabil über den gesamten Untersuchungszeitraum waren, als auch solche, dessen Verbundfestigkeit sich durch die Wasserlagerung in den Thermowechselbädern in Abhängigkeit der Zeit veränderte. Bei beiden Materialien war also die Wahl der Konditionierung die Voraussetzung, um einen hydrolyse-stabilen Haftverbund zu schaffen. Beim amorphen PEKK sorgten die Konditionierungen PreLu5 und SoMBLu, beim faserverstärkten PEEK Pre, PreLu5 und SoMBLu für konstante Verbundwerte über die gesamte Lagerungszeit. Bei den übrigen Gruppen konnte kein stabiler Haftverbund während des Beobachtungszeitraumes hergestellt werden. Lediglich bei der Untergruppe PreLu des amorphen PEKKs und faserverstärkten PEEKs konnte nach einem kurzen Absinken der Verbundwerte in der Anfangszeit beobachtet werden, dass die Werte in der 30- und 150-Tage-Serie konstant blieben. In beiden Fällen beeinflusst nur die initiale Wasserlagerung den Klebeverbund.

Wie bereits unter Kapitel 5.1.4 angemerkt, wurde in dieser Studie jedoch nur das Alterungsverhalten bei Wasserlagerung und verschiedenen Temperaturen getestet. Wie sich der Verbund bei Einwirkung mechanischer Belastungen verhält, wurde nicht untersucht.

5.2.2 Einfluss der Oberflächenkonditionierung auf die Verbundfestigkeit

Für die Untersuchung der Verbundfestigkeitswerte dieser Studie ist die Kombination der mechanischen und chemischen Konditionierung der Oberfläche ausschlaggebend. Als Voraussetzung für einen Klebeverbund zu den amorphen und kristallinen PEKKs und faserverstärkten PEEKs galt die Applikation des methylnmethacrylathaltigen Primers Luxatemp - Glaze & Bond wie in einer vorigen Studie beschrieben wurde [25]. Es wurde deutlich, dass die Applikation von Primer den Haftverbund deutlich verbesserte [32] im Gegensatz zur Verklebung mit ausschließlich einem Adhäsiv. Diese Aussage bestätigte auch die Kontrollgruppe Pre dieser Studie (Verklebung ohne Konditionierung): Es wurden für alle

drei Materialien stets die niedrigsten Werte im Vergleich zu den anderen Konditionierungsformen gemessen, Ausnahme bildete die 30-Tage-Serie des amorphen und faserverstärkten Materials (vgl. *Tab. 2 - Tab. 4*).

Die höchsten Verbundwerte lieferte bei den drei Materialien die Untergruppe SoMBLu, die durch Silikatisierung, Silanisierung und Luxatemp - Glaze & Bond einen chemischen Verbund zwischen Kleber und Prüfkörper herstellte. Lediglich in der 3- und 30-Tage-Serie des amorphen Materials erlangte die Untergruppe PreLu die höchsten Verbundfestigkeitswerte (vgl. *Tab. 2 - Tab. 4*).

Die mit Rocatec Pre abgestrahlten Oberflächen erhielten eine mechanisch vergrößerte, angeraute Oberfläche (s. Kapitel 4.2.3). In der Untergruppe Pre hatte der Befestigungskomposit Multilink Automix direkten Kontakt mit der Prüfkörperoberfläche und konnte sich dort mikromechanisch und evtl. chemisch verankern, während bei den übrigen Untergruppen die multifunktionellen Primer Luxatemp - Glaze & Bond und/ oder Monobond Plus das chemische Bindeglied zwischen Prüfkörper und Kleber darstellten. Der schwache Verbund sowie das vorzeitige Lösen einiger Prüfkörper der Untergruppe Pre (vgl. *Tab. 2 bis Tab. 4*) ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die vergleichsweise zu Luxatemp - Glaze & Bond (1,1 g/ml) und Monobond Plus (0,79 g/ml) dickere Konsistenz und Zähigkeit des Befestigungskomposits Multilink Automix (2,05 g/ml) nicht ausreichend tief in die Porositäten der Prüfkörperoberfläche penetrieren und sich somit auch nicht lagestabil verankern konnte [16]. Die vergleichsweise effizientere Verankerung des Luxatemp - Glaze & Bonds mittels seiner kleinen multifunktionellen Methacrylate, die in die aufgeraute Oberfläche eindringen und sich mikromechanisch und wahrscheinlich auch chemisch verankern konnten [27], führte in den Untergruppen PreLu und PreLu5 zu stabileren Verbundfestigkeiten und erreichte teilweise ähnliche hohe Werte wie die Spitzengruppe SoMBLu.

Die Gruppen PreLu und PreLu5 unterschieden sich lediglich durch eine unterschiedlich lange Einwirkzeit des Primers Luxatemp - Glaze & Bond. Es sollte getestet werden, ob der Primer durch eine längere Einwirkdauer (von fünf Minuten) stärker in den Hochleistungskunststoff infiltriert und sich somit besser in der Matrix verankern kann. Dies konnte nach einhergehender Analyse der beiden Untergruppen jedoch nicht bestätigt werden, da zwischen den PreLu und PreLu5 keine signifikanten Unterschiede auf die Verbundfestigkeit festzustellen waren (vgl. *Tab. 6*). Es wird angenommen, dass die Infiltration des Monomers in die Prüfkörperoberfläche innerhalb von 20 Sekunden abgeschlossen ist.

Durch die Oberflächenbehandlung mit Rocatec Soft erhielten die Untergruppen SoMB und SoMBLu neben der mechanischen Oberflächenvergrößerung eine chemische Konditionierung durch partielles Aufschmelzen von SiO₂ auf die Oberfläche der Prüfkörper,

die neben der mikromechanischen Verankerung (durch die Oberflächentextur) eine zusätzliche chemische Verbindung mit dem Verbundsystem Monobond Plus ermöglicht. Die Untergruppe SoMB, bei der nach Rocatec Soft-Bestrahlung das Haftsilan Monobond Plus aufgetragen wurde, zeigte dennoch keine vergleichbaren Haftverbunde: Die Ergebnisse waren niedriger als die der Untergruppen PreLu, PreLu5 und SoMBLu. Die Ursache hierfür lag vermutlich an dem geringeren mikromechanischen Verbund. Das dünnflüssige Monobond Plus (0,79 g/ml) konnte sich zwar überall auf der Oberfläche verteilen und eine chemische Verbindung zu den SiO₂-Inseln aufbauen, der dann applizierte Befestigungskomposit konnte aber, wie für die Untergruppe Pre beschrieben (s. o.), aufgrund seiner höheren Viskosität vermutlich den Rauigkeiten nicht effizient genug folgen, was zu einer verminderten mikromechanischen Haftung zwischen Kleber und rauer Oberfläche führte.

In der Untergruppe SoMBLu kam der Haftvermittler Luxatemp - Glaze & Bond als chemisches Bindeglied zwischen Monobond Plus und dem Multilink Automix hinzu. Die Kombination beider Primer erwies sich auf der silikatisierten Prüfkörperoberfläche als die von allen getesteten Konditionierungsverfahren als geeignetste, da mit dieser materialunabhängig sowohl ein lagerungsstabiler Verbund über die gesamte Versuchsdauer als auch die höchsten Verbundfestigkeitswerte in dieser Studie erreicht werden konnte.

Abb. 22 zeigt schematisch stark vereinfacht den mechano-chemischen Klebeverbund resultierend aus der Oberflächenkonditionierung der Untergruppe SoMBLu: Durch die aufgeraute Oberfläche ist eine Verkrallung des Adhäsivsystems in den Prüfkörper (gelb) möglich, während die silikatisierte Oberfläche (rot) eine chemische Verbindung (schwarze Punkte) zulässt. Ein chemischer Verbund zwischen Luxatemp - Glaze & Bond und Prüfkörper kann vermutet werden.

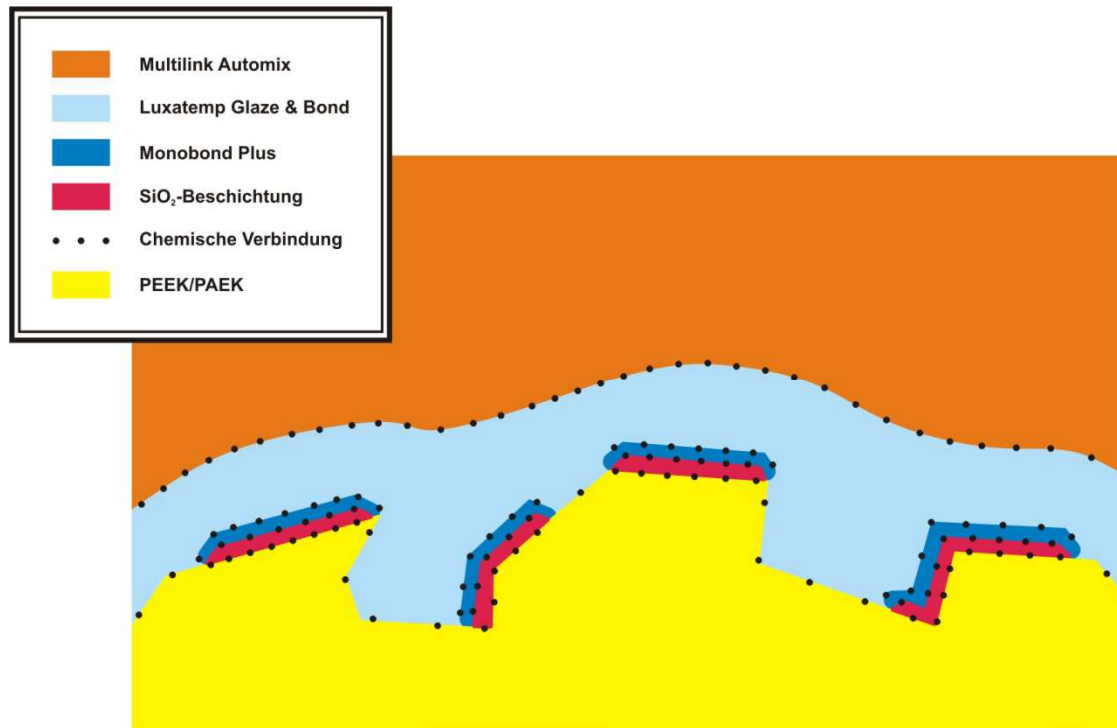


Abb. 22: Vereinfachte, schematische Darstellung des Klebeverbundes der Konditionierungsgruppe SoMBLu

Die Verbundfestigkeit eines Klebesystems zu Restaurationsmaterialien sollte stets größer sein als der Klebeverbund zu den Zahnhartsubstanzen, um ein Versagen des adhäsiven Verbundes auszuschließen und den intraoralen Belastungen (Temperaturunterschiede, Kaubelastungen etc.) zu widerstehen. Dann erst ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass die Ursache eines Versagens der eingesetzten Restauration unter Zugbelastung nicht der adhäsive Verbund zum Restaurationsmaterial, sondern zur Zahnhartsubstanz die biologische Limitation der Verbundfestigkeit ist. Untersuchungen zeigten, dass zu Zahnschmelz durchschnittlich im axialen Zugversuch Verbundwerte zwischen 20 MPa bis 28 MPa gemessen wurden, wobei ab 26 MPa Schmelzausrisse beobachtet wurden [40, 48]. In Studien zur Untersuchung des Haftverbundes zwischen Schmelz und Komposit mittels Scherversuch wurden für die Verbundfestigkeit Werte zwischen 27 MPa und 35 MPa gemessen. Damit lagen diese höher als beim axialen Zugbelastungstest [49-51].

Die im axialen Zugbelastungstest ermittelten Verbundfestigkeitswerte des kristallinen PEKKs und des faserverstärkten PEEKs befanden sich teilweise geringfügig unter diesem für Schmelzausrisse gemessenen Wert, so dass diese ersten Untersuchungen zur Verklebung von PEKK vielversprechend für eine Anwendung im Dentalbereich erscheinen. Weitere Modifizierungen und Verbesserungen des Klebesystems oder Untersuchungen anderer adhäsiver Verbundsysteme werden empfohlen.

5.2.3 Einfluss des Materials auf die Verbundfestigkeit

Die Auswertungen der Boxplots (*Abb. 17 bis Abb. 19*) und der Tabellen (*Tab. 2 bis Tab. 4*) zeigen die Überlegenheit des faserverstärkten PEEKs im Bezug auf die Höhe der erreichten Verbundstärken, denn bei allen fünf Konditionierungsgruppen und allen drei Lagerungszeiten lagen die Verbundfestigkeitswerte höher als bei amorphem und kristallinem PEKK. Zwei Ausnahmen, die wahrscheinlich auf Messwertschwankungen zurückzuführen sind, gab es zu verzeichnen: das kristalline PEKK erreichte bei der Gruppe SoMB in der 3- und 30-Tage-Serie höhere Verbundfestigkeitswerte als das faserverstärkte PEEK.

Die zweithöchsten Ergebnisse wurden tendenziell mit kristallinem PEKK erzielt. An letzter Stelle stand das amorphe PEKK mit vergleichsweise niedrigen und un stetigen Verbundfestigkeitswerten. Das amorphe PEKK wies in der Gruppe PreLu der 3- und 30-Tage-Serie und in der Gruppe SoMB der 150-Tage-Serie einen leicht höheren Wert auf als das kristalline PEKK. Diese geringfügigen Abweichungen sind möglicherweise auf zufällige Messwertschwankungen zurückzuführen und sind deshalb für die inhaltliche Auswertung zu vernachlässigen.

Trotz der ersichtlichen Unterschiede ergab die statische Auswertung, dass die Verbundfestigkeit summa summarum relativ unbeeinflusst von der Materialwahl ist. Die Unterschiede der Verbundfestigkeit zwischen den drei Materialien sind insgesamt so gering, dass keine signifikanten Änderungen feststellbar waren. Von den 45 Vergleichen gab es lediglich acht Vergleichspaare, bei denen die Wahl eines bestimmten Materials einen signifikanten Einfluss auf die Verbundfestigkeit hatte (vgl. *Tab. 7*).

Ursächlich für die Diskrepanz der verschiedenen Haftwerte zwischen den drei Materialien könnte u.a. in der Tiefe der Oberflächenrauigkeit sein (s. Kapitel 4.2.3). Auch der Strahlvorgang sorgt für eine höhere Oberflächenrauigkeit und dadurch zu einer Oberflächenvergrößerung [18, 52], die die mikromechanische Verankerung einerseits und das Bereitstellen von mehr funktionellen Gruppen an der Oberfläche für das Verbundsystems verbessern kann.

Messungen mit dem 3d-Laserscanningmikroskop (VK-X100K/X200K, Keyence, Deutschland) zeigten, dass das faserverstärkte PEEK die größte Rauigkeit der drei untersuchten Materialien aufwies. Die unterschiedliche Oberflächentextur der drei Materialien ist in *Abb. 23* sichtbar. Die *Abb. 23 (b)* zeigt die freigelegten Glasfasern des faserverstärkten PEEKs.

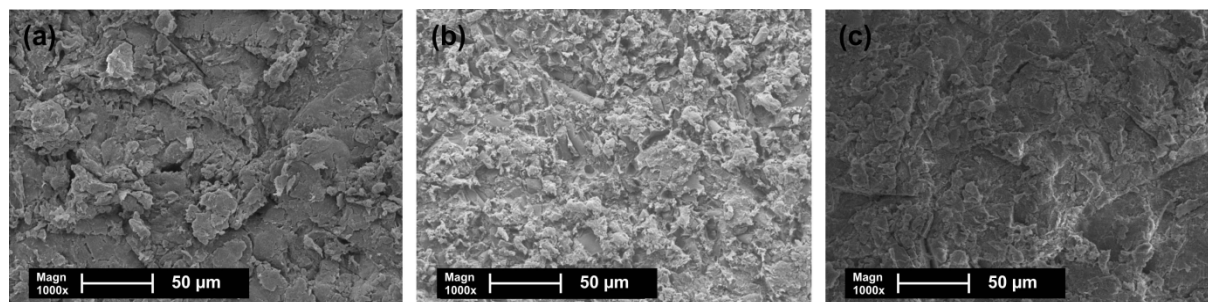


Abb. 23: Beispiele der Oberflächenstruktur von (a) amorphen PEKK, (b) faserverstärkten PEEK und (c) kristallinen PEKK bei einer 1000fachen Vergrößerung

Die scheinbar vorteilhaften Eigenschaften und guten Verbundfestigkeitswerte des faserverstärkten PEEKs (Festigkeit, Oberflächenvergrößerung und -rauigkeit durch die Fasern) können jedoch auch täuschen, wie das faserverstärkte Komposit-Verbundsystem Targis/Vectris in den 90er Jahren zeigte. Es wurde als eine Alternative zum metallischen Zahnersatz getestet und brachte zunächst in den Laboruntersuchungen ausgezeichnete Ergebnisse hervor. Die anfänglichen klinischen Untersuchungen lieferten in den ersten zwei Jahren noch vielversprechende Ergebnisse. Kurze Zeit darauf zeigten die eingesetzten Kronen und Brücken jedoch Verschleißerscheinungen, Verfärbungen, Abplatzungen des Verblendmaterials Targis und in einigen Fällen sogar freiliegende Fasern auf. Neben diesem sich mit der Zeit stetig verschlechternden Zustand wurde im Vergleich zu den natürlichen Zähnen und konventionellem Zahnersatz eine vermehrte Anlagerung von Plaque an den behandelten Zähnen beobachtet [53-55]. Eine weitere Frage bleibt, ob der Faser-Matrix-Verbund bei faserverstärkten Materialien auf lange Sicht hydrolysestabil ist oder unter Wassereinfluss (Speichel) erweicht und als Eintrittspforte für Bakterien dient [56-58].

Neben dem faserverstärkten PEEK ist auch die Verwendung des amorphen PEKKs hinsichtlich der prospektiven Nutzung fraglich, da die Herstellung eines dauerhaft adäquaten Haftverbundes zum amorphen Material nicht für alle Konditionierungsmöglichkeiten möglich war. Es müssten weitere Untersuchungen auf Hydrolyse-Stabilität vorgenommen werden.

Vielversprechend ist das kristalline PEKK, dessen Verbundfestigkeitswerte in dieser Studie nur geringfügig denen des faserverstärkten PEEKs erreichten Verbundfestigkeitswerten unterlagen (vgl. Kapitel 4.1.1). Zudem zeigte die Untersuchung des Verhaltens bei unterschiedlich langen Lagerungszeiten, dass mit dem kristallinen PEKK bei allen fünf Konditionierungen ein stabiler Verbund in den untersuchten Zeiträumen hergestellt werden konnte (vgl. Kapitel 4.2.1). Diese Erkenntnis ist wichtig, da für den angestrebten dentalen Gebrauch die amorphen und kristallinen PEKK- und faserverstärkten PEEK-Materialien und

deren Verbund intraoral den thermischen Belastungen und feuchtem Milieu der Mundhöhle standhalten müssen.

5.2.4 Einfluss des Bruchmusters auf die Verbundfestigkeit

Das Bruchmuster war vornehmlich adhäsiv. Aus dem Vergleich der Ergebnisse des Zugtestes (s. *Tab. 2* bis *Tab. 4*) und der Bruchmodi-Diagramme (s. *Abb. 21*) leitet sich ab, dass die Höhe der Verbundfestigkeitswerte der einzelnen Untergruppen in direkter Korrelation mit den Bruchmodi und dessen Verteilung an adhäsiver und kohäsiver Bruchform steht. So war zu beobachten, dass in den Untergruppen mit eher adhäsivem Bruchcharakter (z.B. Konditionierungsgruppe Pre) niedrige Verbundfestigkeitswerte vorlagen. Die Untergruppen mit höheren Verbundfestigkeitswerten zeigten hingegen ein tendenziell größeres kohäsives Bruchmuster (z.B. bei den Untergruppen SoMBLu), was auch in anderen Studien beobachtet wurde [28, 32]. Das bedeutet, dass je stärker der Verbund zwischen dem Testmaterial und dem Füllungskomposit (Multicore Flow), desto eher liegt ein Materialversagen im Komposit selbst vor. Bei nur schwachem Verbund reißt es direkt an der Verbundstelle zwischen PEKK/PEEK-Prüfkörpern und Komposit.

6 Zusammenfassung/ Summary

6.1 Zusammenfassung

In dieser Studie wurde das Hochleistungspolymer PEKK (Polyetherketonketon) aus der Familie der PAEKs (Polyaryletherketon) untersucht, welches aufgrund seiner Materialeigenschaften vielversprechend für die Anwendung im Dentalbereich ist.

Das Ziel war, einen geeigneten und langzeitstabilen Klebeverbund zwischen PEKK und dentalem Kunststoff zu finden. In Anlehnung an Untersuchungen zu Verklebungen von PEEK (Polyetheretherketon), ein dem PEKK ähnliches Material, wurde ein Adhäsivsystem mit verschiedenen Konditionierungsmöglichkeiten getestet.

Untersucht wurde die Verbundfestigkeit von amorphem PEKK, kristallinem PEKK und faserverstärktem PEEK. Für jedes Material wurden 150 Prüfkörper verwendet, die zunächst mit Siliziumcarbidschleifpapier einheitlich plan geschliffen wurden. Die Prüfkörperoberflächen wurden mit Korund (Rocatec Pre (110µm) oder Rocatec Soft (30µm) von 3M Espe, Seefeld, Germany) bei 0,25 MPa für 15 Sekunden abgestrahlt, zur Reinigung für drei Minuten in ein Ultraschallbad (99%, Otto Fischar GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany) gelegt und mit wasserfreier Druckluft getrocknet. Im nächsten Schritt wurden die Prüfkörper für die chemische Konditionierung in fünf Untergruppen aufgeteilt:

1. Rocatec Pre, Kontrollgruppe, keine Konditionierung
2. Rocatec Pre, Luxatemp – Glaze & Bond (DMG, Hamburg, Germany, 20 Sekunden Einwirkzeit, 20 Sekunden Licht härten)
3. Rocatec Pre, Luxatemp – Glaze & Bond (300 Sekunden Einwirkzeit im Dunkeln, 20 Sekunden Licht härten)
4. Rocatec Soft, Monobond Plus (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein, 60 Sekunden Einwirkzeit)
5. Rocatec Soft, Monobond Plus (60 Sekunden Einwirkzeit), Luxatemp – Glaze & Bond (20 Sekunden Einwirkzeit, 20 Sekunden Licht härten)

Anschließend wurden die Prüfkörper mittels eines Befestigungskomposit (Multilink Automix, Ivoclar Vivadent) mit den Plexiglastuben, die mit selbsthärtenden Komposit (Multicore Flow, Ivoclar Vivadent) gefüllt waren, verklebt. Die verklebten Prüfkörper wurden für drei Tage in einem 37 °C Wasserbad auspolymerisiert, die 30- (10.000 Zyklen) und 150-Tage-Serien (375.000 Zyklen) wurden zusätzlich im Thermocycler künstlich gealtert. Statistische Auswertungen erfolgten mittels des Kruskal-Wallis-Test und Wilcoxon-Mann-Whitney-Test, korrigiert nach Bonferroni-Holm. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 5 \%$ festgelegt.

Die Ergebnisse zeigten, dass ein Verkleben von PEKK mittels Silikatisierung und Anwendung eines methylnmethacrylathaltigen Primers möglich ist. Die höchsten Verbundfestigkeitswerte konnten mit der Wahl der letzten Konditionierungsgruppe bei allen drei Materialien erzielt werden. Das faserverstärkte PEEK zeigte bei allen fünf Konditionierungsverfahren die höchsten Verbundfestigkeitswerte. Als einziges Material zeigte das kristalline PEKK Hydrolyse-Stabilität bei allen getesteten Verbundsystemen innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Weitere und vergleichbare Studien sind nötig, um eine Empfehlung für den langfristigen Gebrauch des Hochleistungspolymers PEKK im Dentalbereich aussprechen zu können.

6.2 Summary

In this study the high performance polymer PEKK (Polyetherketoneketone), a family member of PAEKs (Polyaryletherketone), was tested. Its material characteristics are suitable for dental use.

The aim was finding a durable and adequate bonding between PEKK and dental resin. In dependence on previous studies of bonding to PEEK (Polyetheretherketone, a similar member like PEKK) it was tested a bonding system with different conditioning methods.

The tensile bond strength of amorphous and crystalline PEKK and fiber-reinforced PEEK discs were tested. 150 specimens of each material were polished with rotating silicon carbide paper (SiC Grinding Paper, Grit P600, Bühler GmbH, Düsseldorf, Germany) under water rinsing. All discs were air abraded with Rocatec Pre (110 μm) or Rocatec Soft (30 μm , 3M Espe, Seefeld, Germany) at 0.25 MPa for 15 s, cleaned ultrasonically for three minutes in isopropanol (99 %, Otto Fischar GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany) and dried with oil- and water-free compressed air. Afterwards the specimens of each material were divided into five groups for different surface conditioning:

1. Rocatec Pre, bonding without any adhesion promoter
2. Rocatec Pre, application of Luxatemp - Glaze & Bond (DMG, Hamburg, Germany) for 20 s, light curing (Elipar™ 2500 Halogen Curing Light, 3M ESPE, Seefeld, Germany) for 20 s
3. Rocatec Pre, application of Luxatemp - Glaze & Bond with storage under a lightproof box for 5 min, light curing for 20 s
4. Rocatec Soft, application of universal primer Monobond Plus (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) with a residence time of 60 s
5. Rocatec Soft, application of universal primer Monobond Plus with a residence time of 60 s, then Luxatemp - Glaze & Bond, light curing for 20 s

The conditioned specimens were bonded with Multilink Automix (Ivoclar Vivadent AG) to plexiglas tube, which were filled with self-curing composite (Multicore Flow, Ivoclar Vivadent AG). Then they were stored in water at 37 °C for 3, 30 and 150 days. In addition, the longer-term storage subgroups were thermal cycled between 5 and 55 °C for 10.000 times (30 days) or for 37.500 times (150 days). For statistical analysis the Kruskal-Wallis test followed by pair-wise comparison of groups and subgroups with the Wilcoxon test was used. Significance level α was determined at 5 % and corrected using the Holm-Bonferroni method. Results showed that a bonding was possible using silica coating and a methylmethacrylate containing primer. The highest bond strength for all three materials was achieved with the last conditioning group. The fiber-reinforced material provided the highest

TBS of all three materials within all conditioning groups. The only material, which showed a durable resin bonding over the whole storage time with every conditioning method, was crystalline PEEK. Additional and comparable studies aiming to improve the bonding are suggested to give recommendations for high performance PEKK in dental use.

7 Literaturverzeichnis

1. Davis, LG., Ashworth, PD., Spriggs, LS.: *Psychological effects of aesthetic dental treatment. Journal of Dentistry* 26, 547-54 (1998).
 2. Karrer, M.: *Das Schöne, das Gesicht und die Zähne: Blicke in die Ästhetik. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 57, 515-25 (2002).
 3. Vallittu, PK., Vallittu, AS., Lassila, VP.: *Dental aesthetics - a survey of attitudes in different groups of patients. Journal of Dentistry* 24, 335-8 (1996).
 4. Wall, JG., Cipra, DL.: *Alternative crown systems. Is the metal-ceramic crown always the restoration of choice? Dental Clinics of North America* 36, 765-82 (1992).
 5. Rao, SB., Chowdhary, R.: *Evaluation on the corrosion of the three Ni-Cr alloys with different composition. International Journal of Dentistry* 397029 (2011).
 6. Geurtsen, W.: *Biocompatibility of dental casting alloys. Critical Reviews in Oral Biology & Medicine* 13, 71-84 (2002).
 7. Wataha, JC.: *Biocompatibility of dental casting alloys: a review. Journal of Prosthetic Dentistry* 83, 223-34 (2000).
 8. McGinley, EL., Fleming, GJ., Moran, GP.: *Development of a discriminatory biocompatibility testing model for non-precious dental casting alloys. Dental Materials* 27, 1295-306 (2011).
 9. Strub, J., Kern, M., Türp, J., Witowski, S., Heydecke, G., Wolfart, S.: *Curriculum Prothetik, Band 3, 4. Auflage. Quintessenz Verlag-GmbH, Berlin 2011, S. 928-32*
 10. Strub, J., Kern, M., Türp, J., Witowski, S., Heydecke, G., Wolfart, S.: *Curriculum Prothetik, Band 2, 4. Auflage. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 2011, S. 499/500.*
 11. Kern, M., Kohal, R., Mehl, A., Pospiech, P., Frankneberger, R., Reiss, B., Wiedhahn, K., Kunzelmann, K.H.: *Vollkeramik auf einen Blick. 5. Auflage. Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V. Ettlingen 2012, S. 113.*
 12. Tannous, F., Steiner, M., Shahin, R., Kern, M.: *Retentive forces and fatigue resistance of thermoplastic resin clasps. Dental Materials* 28, 273-8 (2012).
 13. Schwitalla, AD., Müller, WD.: *PEEK dental implants: A Review of the Literature. Journal of Oral Implantology* 2014, <http://dx.doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-11-00002>, in press; Epub: Sept. 13, 2011.
 14. Kurtz, SM., Devine, JN.: *PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. Biomaterials* 28, 4845-69 (2007).
 15. Tetelman, ED., Babbush, CA.: *A new transitional abutment for immediate aesthetics and function. Implant Dentistry* 17, 51-8 (2008).
 16. Stawarczyk, B., Beuer, F., Wimmer, T., Jahn, D., Sener, B., Roos, M., Schmidlin, PR.: *Polyetheretherketone – a suitable material for fixed dental protheses? Journal of Biomedical Materials Research Part B, Applied Biomaterials* 101, 1209-16 (2013)
-

-
17. Stawarczyk, B., Keul, C., Beuer, F., Roos, M., Schmidlin, PR.: Tensile bond strength of veneering resins to PEEK: impact of different adhesives. *Dental Materials Journal* 32, 441-8 (2013)
 18. Domininghaus, H.: *Resin material and its properties*. 6. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2005, S. 1203 - 1222
 19. Polytron Kunststofftechnik GC. *Werkstoffbroschüre Ketron und Oxpekk*. [cited 2011 12.2.]; Available from: <http://www.polytron-gmbh.de/downloads/6553/6559/6781/PAEK.pdf>.
 20. Neitzel, M., Mitschang, P.: *Handbuch Verbundwerkstoffe*. 1. Auflage. Carl Hanser Verlag, München Wien; 2004, S. 51/52
 21. Mark, H.: *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. 3. Auflage. John Wiley & Sons, Hoboken 2004, S. 377.
 22. Toth, JM., Wang, M., Estes, BT., Scifert, JL., Seim, HB., Turner, AS.: Polyetheretherketone as a biomaterial for spinal applications. *Biomaterials* 27, 324-34 (2006).
 23. Sarot, JR., Contar, CM., Cruz, AC., de Souza Magini, R.: Evaluation of the stress distribution in CFR-PEEK dental implants by the three-dimensional finite element method. *Journal of Material Science: Materials in Medicine* 21, 2079-85 (2010).
 24. Shalaby, SWS., Ulrich.: *Polymers for dental and orthopedics applications*. Taylor & Francis Group, Boca Raton 2007, S. 244-46.
 25. Schmidlin, PR., Stawarczyk, B., Wieland, M., Attin, T., Hämmerle, CH., Fischer, J.: Effect of different surface pre-treatments and luting materials on shear bond strength to PEEK. *Dental Materials* 26, 553-9 (2010).
 26. Kistler, F., Adler, S., Kistler, S., Neugebauer, J.: PEEK – Hochleistungskunststoffe im implantologischen Workflow. *Implantologie Journal* 7, 42-50 (2013).
 27. Kern, M., Lehmann, F.: Influence of surface conditioning on bonding to polyetheretherketon (PEEK). *Dental Materials* 28, 1280-3 (2012).
 28. Hallmann, L., Mehl, A., Sereno N., Hämmerle C. The improvement of adhesive properties of PEEK through different pre-treatments. *Applied Surface Science* 258, 7213-8 (2012).
 29. Converse, GL., Conrad, TL., Roeder, RK.: Mechanical properties of hydroxyapatite whisker reinforced polyetherketoneketone composite scaffolds. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2, 627-35 (2009).
 30. Converse, GL., Conrad, TL., Merrill, CH., Roeder, RK.: Hydroxyapatite whisker-reinforced polyetherketoneketone bone ingrowth scaffolds. *Acta Biomaterialia* 6, 856-63 (2010).
 31. Copponnex, T., DeCarmine, A.: Reevaluating Thermoplastics. How good is PEEK, really, for aesthetic and long-term structural applications? *European Medical Device Technology*, Epub (2009). Available from: <http://www.emdt.co.uk/article/reevaluating-thermoplastics>.
 32. Klosa, K., Wolfart, S., Lehmann, F., Wenz, HJ., Kern, M.: The effect of storage conditions, contamination modes and cleaning procedures on the resin bond strength to lithium disilicate ceramic. *Journal of Adhesive Dentistry* 11, 127-35 (2009).
-

-
33. Lehmann, F., Kern, M.: Durability of resin bonding to zirconia ceramic using different primers. *Journal of Adhesive Dentistry* 11, 479-83 (2009).
 34. Attia, A., Lehmann, F., Kern, M.: Influence of surface conditioning and cleaning methods on resin bonding to zirconia ceramic. *Dental Materials* 27, 207-13 (2011).
 35. Klosa, K.: Untersuchung zur Klebeverbundfestigkeit einer neuen Presskeramik nach Kontamination und Reinigung. Zahnmedizinische Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 2007.
 36. Kern, M., Thompson, VP.: Eine einfache Versuchsanordnung zur universellen Prüfung des Klebeverbundes im axialen Zugtest. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 48, 769-72 (1993).
 37. Wegner, SM., Gerdes, W., Kern, M.: Effect of different artificial aging conditions on ceramic-composite bond strength. *The International Journal of Prosthodontics* 15, 267-72 (2002).
 38. Yamaguchi et al. Influence of crosshead speed on micro-tensile bond strength of two-step adhesive systems. *Dental Materials* 22, 420-5 (2006).
 39. Bühl, A.: SPSS 20: Einführung in die moderne Datenanalyse. Pearson Education Deutschland GmbH, München 2012, S. 165-172, 1011-13.
 40. Barloj, A.: Klebeverbundfestigkeit zu Zirkoniumoxidkeramik in Abhängigkeit von Oberflächenkonditionierung und Kompositkleber. Zahnmedizinische Dissertation, Kiel Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; 2009.
 41. Kern, M.: Resin bonding to oxide ceramics for dental restorations. *Journal of Adhesion Science and Technology* 23, 1097-111 (2009).
 42. Palmer, DS., Barco, MT., Billy, EJ.: Temperature extremes produced orally by hot and cold liquids. *Journal of Prosthetic Dentistry* 67, 325-7 (1992).
 43. Wegner, SM., Kern, M.: Long-term resin bond strength to zirconia ceramic. *Journal of Adhesive Dentistry* 2, 139-47 (2000).
 44. Oshida, Y., Miyazaki, M.: Dentin bonding system. Part II: Effect of crosshead speed. *Bio-medical Material and engineering* 6, 87-100 (1996).
 45. Reis, A., de Oliveira Bauer, JR., Loguercio, AD.: Influence of crosshead speed on resin-dentin microtensile bond strength. *Journal of Adhesive Dentistry* 6, 275-8 (2004).
 46. Hara, AT., Pimenta, LA., Rodrigues, AL. Jr.: Influence of cross-head speed on resin-dentin shear bond strength. *Dental Materials* 17, 165-9 (2001).
 47. Versluis, A., Tantbirojn, D., Douglas, WH.: Why do shear bond tests pull out dentin? *Journal of Dental Research* 76, 1298-307 (1997).
 48. Nikolaus, FP.: Einfluss der Kontamination silanisierter Keramik mit Speichel auf den Verbund mit einem adhäsiven Befestigungsmaterial. Zahnmedizinische Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.; 2010.
 49. Barkmeier, WW., Hammesfahr, PD., Latta, MA.: Bond strength of composite to enamel and dentin using Prime & Bond 2.1. *Operative Dentistry* 24, 51-6 (1999).
-

50. Schneider, PM., Messer, LB., Douglas, WH.: *The effect of enamel surface reduction in vitro on the bonding of composite resin to permanent human enamel. Journal of Dental Research* 60, 895-900 (1981).
 51. Stacey, GD.: *A shear stress analysis of the bonding of porcelain veneers to enamel. Journal of Prosthetic Dentistry* 70, 395-402 (1993).
 52. Zepf, HP.: *Faserverbundwerkstoffe mit thermoplastischer Matrix. expert-Verlag, Renningen - Malsheim* 1997, S. 28, 44-51.
 53. Behr, M., Rosentritt, M., Handel, G.: *Fiber-reinforced composite crowns and FPDs: a clinical report. International Journal of Prosthodontics* 16, 239-43 (2003).
 54. Gohring, TN., Mormann, WH., Lutz, F.: *Clinical and scanning electron microscopic evaluation of fiber-reinforced inlay fixed partial dentures: preliminary results after one year. Journal of Prosthetic Dentistry* 82, 662-8 (1999).
 55. Bohlsen, F., Kern, M.: *Clinical outcome of glass-fiber-reinforced crowns and fixed partial dentures: a three-year retrospective study. Quintessence International* 34, 493-6(2003).
 56. Tanner, J., Vallittu, PK., Soderling, E.: *Effect of water storage of E-glass fiber-reinforced composite on adhesion of Streptococcus mutans. Biomaterials* 22, 1613-8 (2001).
 57. Vallittu, PK.: *Effect of 180-week water storage on the flexural properties of E-glass and silica fiber acrylic resin composite. The International Journal of Prosthodontics* 13, 334-9 (2000).
 58. Ehrenstein, G.: *Faserverbund-Kunststoffe. 2. Auflage. Carl Hanser Verlag, München* 2006, S. 51-53.
-

8 Anhang

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die SPSS Statistics Outputs aus der Evaluierung des Signifikanznachweises für den Einfluss der Alterung auf die Verbundfestigkeit.

Abkürzungen:

Alterung: 3 – 3 Tage, 30 – 30 Tage, 150 – 150 Tage

Konditionierung: 1 – Pre, 2 – PreLu, 3 – PreLu5, 4 – SoMB, 5 – SoMBLu

Material: 1 – amorphes PEKK, 2 – faserverstärktes PEEK, 3 – kristallines PEKK

Mat = 1,00, Kondi = 1,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang
Fmax (N/mm ²)	3	10	6,70
	30	10	14,30
	Gesamt	20	

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,003 ^a	,003 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 2,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang
Fmax (N/mm ²)	3	10	13,80
	30	10	7,20
	Gesamt	20	

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,011 ^a	,011 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 3,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang
Fmax (N/mm ²)	3	10	11,35
	30	10	9,65
	Gesamt	20	

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,529 ^a	,529 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 4,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang
Fmax (N/mm ²)	3	10	13,45
	30	10	7,55
	Gesamt	20	

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,023 ^a	,023 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 5,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang
Fmax (N/mm ²)	3	10	12,95
	30	10	8,05
	Gesamt	20	

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,052 ^a	,063 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 1,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	14,50	145,00
	30	10	6,50	65,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,002 ^a	,002 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 2,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	13,80	138,00
	30	10	7,20	72,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,011 ^a	,011 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 3,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	13,50	135,00
	30	10	7,50	75,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,023 ^a	,023 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 4,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	14,20	142,00
	30	10	6,80	68,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,004 ^a	,004 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 5,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	12,90	129,00
	30	10	8,10	81,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,075 ^a	,075 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 1,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	12,15	121,50
	30	10	8,85	88,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,247 ^a	,218 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 2,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	13,60	136,00
	30	10	7,40	74,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,019 ^a	,019 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 3,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	13,10	131,00
	30	10	7,90	79,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,052 ^a	,052 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 4,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	11,50	115,00
	30	10	9,50	95,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,529 ^a	,481 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 5,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	11,05	110,50
	30	10	9,95	99,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,739 ^a	,684 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 1,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	13,20	132,00
	150	10	7,80	78,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,043 ^a	,043 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 2,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	14,80	148,00
	150	10	6,20	62,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 3,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	13,00	130,00
	150	10	8,00	80,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,063 ^a	,063 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 4,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	10,80	108,00
	150	10	10,20	102,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,853 ^a	,853 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 5,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	11,90	119,00
	150	10	9,10	91,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,315 ^a	,315 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 1,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	14,20	142,00
	150	10	6,80	68,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,004 ^a	,004 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 2,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	14,70	147,00
	150	10	6,30	63,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,001 ^a	,001 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 3,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	12,70	127,00
	150	10	8,30	83,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,105 ^a	,105 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 4,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	10,20	102,00
	150	10	10,80	108,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,853 ^a	,853 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 5,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	12,20	122,00
	150	10	8,80	88,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,218 ^a	,218 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 1,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	12,40	124,00
	150	10	8,60	86,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,165 ^a	,165 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 2,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	13,50	135,00
	150	10	7,50	75,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,023 ^a	,023 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 3,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	14,50	145,00
	150	10	6,50	65,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,002 ^a	,002 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 4,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	13,90	139,00
	150	10	7,10	71,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,009 ^a	,009 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 5,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3	10	11,55	115,50
	150	10	9,45	94,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,529 ^a	,436 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 1,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	14,80	148,00
	150	10	6,20	62,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 2,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	12,05	120,50
	150	10	8,95	89,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,280 ^a	,247 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 3,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	11,70	117,00
	150	10	9,30	93,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,393 ^a	,393 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 4,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	6,40	64,00
	150	10	14,60	146,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,001 ^a	,001 ^a

Mat = 1,00, Kondi = 5,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	9,45	94,50
	150	10	11,55	115,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,436 ^a	,436 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 1,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	10,60	106,00
	150	10	10,40	104,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,971 ^a	,971 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 2,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	10,85	108,50
	150	10	10,15	101,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,796 ^a	,796 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 3,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	8,55	85,50
	150	10	12,45	124,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,165 ^a	,143 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 4,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	5,80	58,00
	150	10	15,20	152,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Kondi = 5,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	8,10	81,00
	150	10	12,90	129,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,075 ^a	,075 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 1,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	10,00	100,00
	150	10	11,00	110,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,739 ^a	,739 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 2,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	10,35	103,50
	150	10	10,65	106,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,971 ^a	,912 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 3,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	10,95	109,50
	150	10	10,05	100,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,739 ^a	,739 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 4,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	12,40	124,00
	150	10	8,60	86,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,165 ^a	,165 ^a

Mat = 3,00, Kondi = 5,00

	Alterung (d)	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	30	10	10,40	104,00
	150	10	10,60	106,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,971 ^a	,971 ^a

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die SPSS Statistics Outputs aus der Evaluierung des Signifikanznachweises für den Einfluss der Konditionierung auf die Verbundfestigkeit.

Mat = 1,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	2,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,90	59,00
	2,00	10	15,10	151,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	2,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	7,10	71,00
	2,00	10	13,90	139,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,009 ^a	,009 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,35	63,50
	2,00	10	14,65	146,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,001 ^a	,001 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,90	69,00
	2,00	10	14,10	141,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,005 ^a	,005 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	2,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	2,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	2,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	3,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,55	65,50
	3,00	10	14,45	144,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,002 ^a	,002 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	3,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	7,00	70,00
	3,00	10	14,00	140,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,007 ^a	,007 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,70	57,00
	3,00	10	15,30	153,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,05	60,50
	3,00	10	14,95	149,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,60	56,00
	3,00	10	15,40	154,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	3,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,60	56,00
	3,00	10	15,40	154,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,80	68,00
	4,00	10	14,20	142,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,004 ^a	,004 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	11,50	115,00
	4,00	10	9,50	95,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,481 ^a	,481 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,70	57,00
	4,00	10	15,30	153,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	10,10	101,00
	4,00	10	10,90	109,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,796 ^a	,796 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	11,05	110,50
	4,00	10	9,95	99,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,684 ^a	,684 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,30	63,00
	4,00	10	14,70	147,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,001 ^a	,001 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	4,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,90	59,00
	4,00	10	15,10	151,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	7,05	70,50
	4,00	10	13,95	139,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,007 ^a	,007 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	5,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,40	64,00
	5,00	10	14,60	146,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,001 ^a	,001 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	5,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	7,10	71,00
	5,00	10	13,90	139,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,009 ^a	,009 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	5,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	5,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	5,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	5,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	5,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	13,40	134,00
	3,00	10	7,60	76,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,023 ^a	,029 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	10,60	106,00
	3,00	10	10,40	104,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,971 ^a	,971 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	10,75	107,50
	3,00	10	10,25	102,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,853 ^a	,853 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	9,60	96,00
	3,00	10	11,40	114,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,529 ^a	,529 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	9,80	98,00
	3,00	10	11,20	112,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,631 ^a	,631 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	7,95	79,50
	3,00	10	13,05	130,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,063 ^a	,052 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	9,75	97,50
	3,00	10	11,25	112,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,631 ^a	,579 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	10,40	104,00
	3,00	10	10,60	106,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,971 ^a	,971 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	11,15	111,50
	3,00	10	9,85	98,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,631 ^a	,631 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	14,70	147,00
	4,00	10	6,30	63,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,001 ^a	,001 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	15,50	155,00
	4,00	10	5,50	55,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	12,25	122,50
	4,00	10	8,75	87,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,218 ^a	,190 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	12,40	124,00
	4,00	10	8,60	86,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,165 ^a	,165 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	14,80	148,00
	4,00	10	6,20	62,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	8,55	85,50
	4,00	10	12,45	124,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,165 ^a	,143 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N)	2,00	10	10,00	100,00
	4,00	10	11,00	110,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,739 ^a	,631 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	10,05	100,50
	4,00	10	10,95	109,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,739 ^a	,739 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	12,15	121,50
	4,00	10	8,85	88,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,218 ^a	,218 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	12,80	128,00
	5,00	10	8,20	82,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,105 ^a	,089 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	11,50	115,00
	5,00	10	9,50	95,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,481 ^a	,481 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	8,70	87,00
	5,00	10	12,30	123,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,190 ^a	,190 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	7,40	74,00
	5,00	10	13,60	136,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,019 ^a	,019 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	7,00	70,00
	5,00	10	14,00	140,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,007 ^a	,007 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	5,50	55,00
	5,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	7,15	71,50
	5,00	10	13,85	138,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,009 ^a	,009 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	6,90	69,00
	5,00	10	14,10	141,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,005 ^a	,005 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	6,85	68,50
	5,00	10	14,15	141,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,004 ^a	,004 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	13,40	134,00
	4,00	10	7,60	76,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,029 ^a	,029 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	14,80	148,00
	4,00	10	6,20	62,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	12,10	121,00
	4,00	10	8,90	89,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,247 ^a	,247 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	12,70	127,00
	4,00	10	8,30	83,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,105 ^a	,105 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	15,30	153,00
	4,00	10	5,70	57,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	11,50	115,00
	4,00	10	9,50	95,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,481 ^a	,481 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	9,90	99,00
	4,00	10	11,10	111,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,739 ^a	,684 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	10,25	102,50
	4,00	10	10,75	107,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,853 ^a	,853 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	11,40	114,00
	4,00	10	9,60	96,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,529 ^a	,529 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	9,70	97,00
	5,00	10	11,30	113,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,529 ^a	,579 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	10,90	109,00
	5,00	10	10,10	101,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,796 ^a	,796 ^a

at = 1,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	8,15	81,50
	5,00	10	12,85	128,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,075 ^a	,075 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N)	3,00	10	8,10	81,00
	5,00	10	12,90	129,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,075 ^a	,075 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	6,40	64,00
	5,00	10	14,60	146,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,001 ^a	,001 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	5,50	55,00
	5,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	7,70	77,00
	5,00	10	13,30	133,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,035 ^a	,035 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	7,30	73,00
	5,00	10	13,70	137,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,011 ^a	,015 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	3,00	10	5,90	59,00
	5,00	10	15,10	151,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	4,00	10	7,30	73,00
	5,00	10	13,70	137,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,015 ^a	,015 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	4,00	10	5,70	57,00
	5,00	10	15,30	153,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 1,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	4,00	10	7,25	72,50
	5,00	10	13,75	137,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,011 ^a	,011 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	4,00	10	7,30	73,00
	5,00	10	13,70	137,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,015 ^a	,015 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	4,00	10	5,50	55,00
	5,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 2,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	4,00	10	6,05	60,50
	5,00	10	14,95	149,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 3

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	4,00	10	7,90	79,00
	5,00	10	13,10	131,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,043 ^a	,052 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 30

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	4,00	10	8,65	86,50
	5,00	10	12,35	123,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,165 ^a	,165 ^a

Mat = 3,00, Alterung (d) = 150

	Kondi	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	4,00	10	6,90	69,00
	5,00	10	14,10	141,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,005 ^a	,005 ^a

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die SPSS Statistics Outputs aus der Evaluierung des Signifikanznachweises für den Einfluss des Materials auf die Verbundfestigkeit.

Kondi = 1,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	2,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Kondi = 1,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	8,80	88,00
	2,00	10	12,20	122,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,218 ^a	,218 ^a

Kondi = 1,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,90	69,00
	2,00	10	14,10	141,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,005 ^a	,005 ^a

Kondi = 2,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	8,10	81,00
	2,00	10	12,90	129,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,075 ^a	,075 ^a

Kondi = 2,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	10,50	105,00
	2,00	10	10,50	105,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	1,000 ^a	1,000 ^a

Kondi = 2,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	9,10	91,00
	2,00	10	11,90	119,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,315 ^a	,315 ^a

Kondi = 3,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,60	66,00
	2,00	10	14,40	144,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,002 ^a	,002 ^a

Kondi = 3,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	8,30	83,00
	2,00	10	12,70	127,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,105 ^a	,105 ^a

Kondi = 3,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,45	64,50
	2,00	10	14,55	145,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,002 ^a	,001 ^a

Kondi = 4,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	8,00	80,00
	2,00	10	13,00	130,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,063 ^a	,063 ^a

Kondi = 4,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	8,30	83,00
	2,00	10	12,70	127,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,105 ^a	,105 ^a

Kondi = 4,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,35	63,50
	2,00	10	14,65	146,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,001 ^a	,001 ^a

Kondi = 5,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,70	67,00
	2,00	10	14,30	143,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,003 ^a	,003 ^a

Kondi = 5,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,90	59,00
	2,00	10	15,10	151,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Kondi = 5,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	5,50	55,00
	2,00	10	15,50	155,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Kondi = 1,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	8,65	86,50
	3,00	10	12,35	123,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,143 ^a	,165 ^a

Kondi = 1,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	13,55	135,50
	3,00	10	7,45	74,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,019 ^a	,019 ^a

Kondi = 1,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	7,85	78,50
	3,00	10	13,15	131,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,052 ^a	,043 ^a

Kondi = 2,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	11,80	118,00
	3,00	10	9,20	92,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,353 ^a	,353 ^a

Kondi = 2,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	11,95	119,50
	3,00	10	9,05	90,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,315 ^a	,280 ^a

Kondi = 2,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	10,10	101,00
	3,00	10	10,90	109,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,796 ^a	,796 ^a

Kondi = 3,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	8,10	81,00
	3,00	10	12,90	129,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,075 ^a	,075 ^a

Kondi = 3,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	11,00	110,00
	3,00	10	10,00	100,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,739 ^a	,739 ^a

Kondi = 3,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	10,15	101,50
	3,00	10	10,85	108,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,796 ^a	,796 ^a

Kondi = 4,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,50	65,00
	3,00	10	14,50	145,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,001 ^a	,002 ^a

Kondi = 4,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,20	62,00
	3,00	10	14,80	148,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Kondi = 4,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	10,80	108,00
	3,00	10	10,20	102,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,853 ^a	,853 ^a

Kondi = 5,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	6,20	62,00
	3,00	10	14,80	148,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Kondi = 5,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	7,20	72,00
	3,00	10	13,80	138,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,011 ^a	,011 ^a

Kondi = 5,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	1,00	10	7,10	71,00
	3,00	10	13,90	139,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,007 ^a	,009 ^a

Kondi = 1,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	15,40	154,00
	3,00	10	5,60	56,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Kondi = 1,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	14,25	142,50
	3,00	10	6,75	67,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,003 ^a	,003 ^a

Kondi = 1,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	13,30	133,00
	3,00	10	7,70	77,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,035 ^a	,035 ^a

Kondi = 2,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	13,95	139,50
	3,00	10	7,05	70,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,009 ^a	,007 ^a

Kondi = 2,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	11,65	116,50
	3,00	10	9,35	93,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,393 ^a	,393 ^a

Kondi = 2,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	11,65	116,50
	3,00	10	9,35	93,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,393 ^a	,393 ^a

Kondi = 3,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	13,30	133,00
	3,00	10	7,70	77,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,035 ^a	,035 ^a

Kondi = 3,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	12,90	129,00
	3,00	10	8,10	81,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,075 ^a	,075 ^a

Kondi = 3,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	14,90	149,00
	3,00	10	6,10	61,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,000 ^a	,000 ^a

Kondi = 4,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	10,20	102,00
	3,00	10	10,80	108,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,912 ^a	,853 ^a

Kondi = 4,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	7,30	73,00
	3,00	10	13,70	137,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,015 ^a	,015 ^a

Kondi = 4,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	13,50	135,00
	3,00	10	7,50	75,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,023 ^a	,023 ^a

Kondi = 5,00, Alterung (d) = 3

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	13,60	136,00
	3,00	10	7,40	74,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,019 ^a	,019 ^a

Kondi = 5,00, Alterung (d) = 30

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	11,75	117,50
	3,00	10	9,25	92,50
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,393 ^a	,353 ^a

Kondi = 5,00, Alterung (d) = 150

	Mat	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fmax (N/mm ²)	2,00	10	13,60	136,00
	3,00	10	7,40	74,00
	Gesamt	20		

Statistik für Test^{b,c}

	Fmax (N)	Fmax (N/mm ²)
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,019 ^a	,019 ^a

Die folgenden Ergebnisse zeigen einen Auszug aus den Rauigkeitsmessungen (3d-Laserscanningmikroskop VK-X100K/X200K, Betrachtungssoftware VK-H1XVD):

Rauigkeitsmessung- amorphes PEKK				
	Pre	Pre	Soft	Soft
Seg.1	3,893 µm	23,241 µm	2,773 µm	1,779 µm
Seg.2	3,805 µm	3,992 µm	2,554 µm	1,962 µm
Seg.3	3,746 µm	3,746 µm	2,513 µm	1,812 µm
Seg.4	3,827 µm	3,874 µm	2,804 µm	1,759 µm
Seg.5	3,978 µm	0,09 µm	2,627 µm	1,79 µm
Seg.6	3,992 µm	0,269 µm	2,638 µm	1,806 µm
Summe	23,241 µm	17,909 µm	15,911 µm	1,779 µm
Max.	3,992 µm	3,093 µm	2,804 µm	1,962 µm
Min.	3,746 µm	2,795 µm	2,513 µm	1,812 µm
Durchs.	3,874 µm	2,985 µm	2,652 µm	1,759 µm
Std.Abw	0,09 µm	0,104 µm	0,106 µm	1,79 µm
3 Sigma	0,269 µm	0,313 µm	0,318 µm	1,806 µm

Rauigkeitsmessung- kristallines PEKK				
	Pre	Pre	Soft	Soft
Seg.1	3,372 µm	3,468 µm	2,151 µm	1,673 µm
Seg.2	3,152 µm	3,112 µm	1,557 µm	1,676 µm
Seg.3	3,165 µm	3,243 µm	1,753 µm	2,771 µm
Seg.4	3,064 µm	3,388 µm	1,996 µm	1,528 µm
Seg.5	3,152 µm	3,322 µm	1,631 µm	1,738 µm
Seg.6	3,258 µm	3,094 µm	1,681 µm	1,523 µm
Summe	19,163 µm	19,627 µm	10,767 µm	10,909 µm
Max.	3,372 µm	3,468 µm	2,151 µm	2,771 µm
Min.	3,064 µm	3,094 µm	1,557 µm	1,523 µm
Durchs.	3,194 µm	3,271 µm	1,795 µm	1,818 µm
Std.Abw	0,097 µm	0,137 µm	0,21 µm	0,433 µm
3 Sigma	0,292 µm	0,411 µm	0,631 µm	1,3 µm

Rauigkeitsmessung- Faserverstärktes PEEK				
	Pre	Pre	Soft	Soft
Seg.1	6,145 µm	4,952 µm	2,666 µm	2,397 µm
Seg.2	4,924 µm	4,174 µm	2,74 µm	1,94 µm
Seg.3	6,176 µm	4,414 µm	4,198 µm	2,507 µm
Seg.4	5,165 µm	4,918 µm	2,438 µm	2,319 µm
Seg.5	4,99 µm	4,701 µm	2,645 µm	1,805 µm
Seg.6	6,219 µm	4,417 µm	3,341 µm	2,287 µm
Summe	33,619 µm	27,576 µm	18,028 µm	13,255 µm
Max.	6,219 µm	4,952 µm	4,198 µm	2,507 µm
Min.	4,924 µm	4,174 µm	2,438 µm	1,805 µm
Durchs.	5,603 µm	4,596 µm	3,005 µm	2,209 µm
Std.Abw	0,582 µm	0,284 µm	0,602 µm	0,251 µm
3 Sigma	1,745 µm	0,853 µm	1,805 µm	0,753 µm

Danksagung

Zum Schluss möchte ich denjenigen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

Recht herzlich bedanken möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Matthias Kern, Direktor der Klinik für Zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werkstoffkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, für die Bereitstellung des Dissertationsthemas, die hilfreichen Anregungen sowie für die Durchsicht meiner Arbeit.

Ein weiterer Dank gilt meinem Betreuer Dr. rer. nat. Martin Steiner, ehemaliger Leiter der dentalen Werkstoffkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, für die Betreuung meiner Dissertation.

Für die engagierte Unterstützung bei der statistischen Auswertung danke ich Dr. rer. nat. Sandra Freitag-Wolf, wissenschaftliche Mitarbeiterin des Instituts für Medizinische Informatik und Statistik des Universitätsklinikums Schleswig Holstein.

Einen Dank aussprechen möchte ich an die Firma Cendres+Métaux SA (Biel, Switzerland) für die finanzielle Unterstützung dieser Studie.

Ebenfalls danke ich der Firma Ivovlar Vivadent (Schaan, Liechtenstein) für die Bereitstellung der für diese Studie benötigten Materialien.

Ein besonderer Dank gilt Martin Kamma, der mir während meiner Promotionszeit hilfreich zur Seite gestanden hat.

Abschließend möchte ich meiner Familie für die Unterstützung und Motivation während meiner Studien- und Promotionszeit danken.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Gyde Fuhrmann
Geburtstag: 05.12.1986
Geburtsort: Flensburg
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch



Schulische Ausbildung

Aug. 1992 – Aug.1997: Grundschule Adelby in Flensburg
Aug. 1997 – Juni 2006: gymnasiale Oberstufe der Kurt-Tucholsky Schule in Flensburg
2006: Abitur (Note 1,9)

Auslandserfahrung

Juni - Sept. 2006: Betreuerin im Girls Scout Camp Echo Trail (Pennsylvania, USA)
Okt. 2006 - Mai 2007: Spanien: Aupair in Argentona (Barcelona)
Juli - Sept. 2011: zahnärztliche Famulatur in Peru
Dez. 2012 - Feb. 2013: Australien-/Neuseelandreise

Studium

WS 2007/08: Beginn des Zahnmedizinstudium an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Sept. 2008: Vorphysikum (Note: gut)
März 2010: Physikum (Note: gut)
2010 – 2014: Dissertation an der CAU zu Kiel
Dez. 2012: Staatsexamen Zahnmedizin (Note: gut), Erteilung der Approbation als Zahnärztin

Beruflicher Werdegang

ab August 2013: Assistenz Zahnärztin in Kiel
