

# Zahnklinik 1 – Zahnerhaltung und Parodontologie

Lehrstuhl für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,  
insbesondere Zahnerhaltung, Parodontologie und Kinderzahnheilkunde

## Adresse

Glückstraße 11  
91054 Erlangen  
Tel.: +49 9131 8533632  
Fax: +49 9131 8533603  
www.zahnerhaltung.uk-erlangen.de

## Direktor

Prof. Dr. med. dent. Anselm Petschelt

## Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Lohbauer  
Tel.: +49 9131 8543740  
Fax +49 9131 8533603  
Ulrich.Lohbauer@fau.de

## Forschungsschwerpunkte

- klinische Fraktografie von dentalkeramischen Restaurationen
- Eigenspannungen und Kristallisationsverhalten in Lithium-Disilikat Glaskeramiken
- Texturierung der Kristallorientierung in glaskeramischen Dentalmaterialien
- Untersuchungen mechanischer Eigenschaften und Zuverlässigkeit
- Amalgamalternative Restaurationsmaterialien
- Materialeigenschaften selbstadhäsiver Zemente
- Polymerisationseigenschaften von „bulk-fill“ Komposite

## Struktur der Klinik

Professur: 1  
Beschäftigte: 50  
• Ärzte: 20  
• Wissenschaftler: 4  
(davon drittmittelfinanziert: 2)  
• Promovierende: 30

## Klinische Versorgungsschwerpunkte

- Zahnfüllung
- Wurzelkanalbehandlungen
- systematische Parodontalbehandlungen
- Kinderzahnheilkunde

## Forschung

Die Zielsetzung der Forschung ist auf materialkundliche Fragestellungen ausgerichtet. Arbeitsschwerpunkte sind neben der grundlagenorientierten Unterstützung zahnerhaltender und parodontaler Maßnahmen die Korrelation von klinischen Erkenntnissen mit experimentellen Ergebnissen. Die unabhängige, vorklinische Prüfung dentaler Materialien bildet einen weiteren Schwerpunkt der Labortätigkeit.

## Klinische Fraktografie von dentalkeramischen Restaurationen

PI: Prof. Dr. U. Lohbauer, Dr. R. Belli  
Mit der Einführung neuer, keramischer Materialien in der Zahnmedizin wurde eine Häufung

von intraoralen Frakturen beobachtet. Die Methode der Fraktografie dient der Schadensanalytik an klinisch frakturierten Restaurationen, um die relevanten Versagensursachen zu klären. Hierbei werden die Bruchflächen intraoral abgeformt, sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch analysiert und entsprechend bewertet. Rast- und Bruchverlaufslinien gelten als forensische Bruchmerkmale, die den Verlauf einer Fraktur anzeigen. Auf diese Weise können meist eindeutige Rückschlüsse über den vorliegenden Schadensmechanismus und -verlauf getroffen werden. In einer Zusammenarbeit mit einem großen, mitteldeutschen Fräszentrum wurden ca. 1.000 frakturierte Restaurationen analysiert und relevante Ursachen ermittelt. In der Folge wurde aus der Zahnklinik 1 heraus der internationale Förderverein Fracto Forum International e.V. für die klinische Fraktografie gegründet. Dort wurden bereits erste Ausbildungskurse für interessierte Wissenschaftler durchgeführt.

## Eigenspannungen und Kristallisationsverhalten in Lithium-Disilikat Glaskeramiken

PI: Prof. Dr. U. Lohbauer, Dr. R. Belli  
Klassische Keramiken in der Zahnmedizin für Inlays, Teilkronen und Kronen wurden hauptsächlich aus Feldspatgläsern hergestellt. Diese sind hochästhetisch, weisen jedoch unzureichende mechanische Eigenschaften auf. Lithium-Disilikat Glaskeramiken mit einem hohen Kristallanteil wurden entwickelt und erfreuen sich großer Beliebtheit. Neue Materialien werden jedes Jahr auf den Markt gebracht. Die kristallinen und amorphen Phasen solcher Materialien können jedoch in Bezug auf ihr thermisches Verhalten inkompatibel sein, was zum Aufbau von Eigenspannungen im Glas führt. Um dieses Problem zu adressieren, ist ein tieferes Verständnis des Kristallisationsverhaltens von Lithium-Disilikat durch Anpassung der Basisglaszusammensetzung erforderlich. Über kontrollierte Bruchversuche erhalten wir Einblick in die Grundlagen der Dauerhaftigkeit solcher Materialien und entwickeln Strategien, um deren Schadenstoleranz zu verbessern.

## Texturierung der Kristallorientierung in glaskeramischen Dentalmaterialien

PI: Dr. R. Belli, Prof. Dr. U. Lohbauer  
Viele in der restaurativen Zahnmedizin eingesetzte keramische Materialien werden aus teil kristallisierten Gläser hergestellt. Trotz eines bereits hohen Kristallitanteils reagieren diese Materialien meist extrem spröde auf Belastungen. Eine besondere Materialklasse bildet im kristallisierten Zustand nadelförmige Lithium-Disilikat-kristallite aus, deren Texturierung gezielt zur Einstellung mechanischer Eigenschaften genutzt werden kann. Um die Bruchzähigkeit (und damit die klinische Zuverlässigkeit) eines Mate-

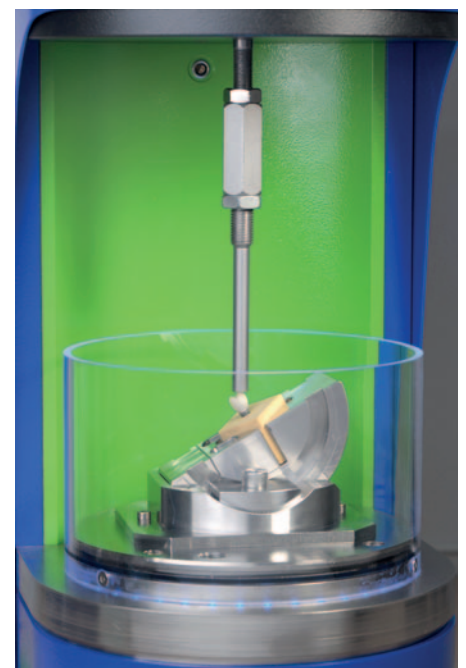
rials zu steigern, werden Strategien untersucht, die Kristallite durch gezieltes Heißpressen anisotrop ausrichten, um damit gerade an den Schwachstellen, z. B. einer Brücke, die mechanische Stabilität zu verbessern.



Subtraktive Prozessschritte einer zweischichtig CAD/CAM gefertigten Seitenzahnbrücke

## Untersuchungen mechanischer Eigenschaften und Zuverlässigkeit

PI: Dr. R. Belli, Prof. Dr. U. Lohbauer  
Standardisierte Bewertungen mechanischer Eigenschaften helfen bei der Materialentwicklung und dienen der Qualitätskontrolle für die Markteinführung von Medizinprodukten. Solche mechanischen Tests müssen streng kontrolliert und gemäß internationalen Standards (d. h. DIN, ISO, ASTM) durchgeführt werden. Im Forschungslabor der Zahnklinik 1 validieren und verbessern wir solche Testprozeduren. Dafür verwenden wir Standardreferenzmaterialien und beteiligen uns an Ringversuchen, um die Qualität und Empfindlichkeit der Testverfahren für Dentalmaterialien weiter zu entwickeln.



Prüfaufbau für die zyklische Ermüdung Polymer-infiltrierter Keramikronen auf Titanimplantaten

## **Amalgamalternative Restaurationsmaterialien**

PI: Prof. Dr. U. Lohbauer, Dr. R. Belli

Für die breite, dauerhafte Versorgung, kariöser Defekte wurde in der Vergangenheit Amalgam verwendet. Adhäsive Materialien auf Polymerbasis sind nicht ausreichend wirtschaftlich, während Materialien auf Glasionmerzement-Basis kein ausreichendes Festigkeitspotential für die dauerhafte Versorgung bieten. Im Forschungslabor werden neue Materialien entwickelt, die sowohl den Anforderungen an mechanische Festigkeit wie auch an die Wirtschaftlichkeit ohne adhäsive Verankerung mit und ohne Lichtpolymerisation genügen sollen.

## **Materialeigenschaften selbstadhäsiver Zemente**

PI: Dr. J. Zorzin, Prof. U. Lohbauer

Selbstadhäsive Zemente ermöglichen das Befestigen indirekter dentaler Restaurationen ohne Vorbehandlung der Zahnhartsubstanzen. Dies ist möglich durch eine auf säuremodifizierte Methacrylate basierende Chemie. Ziel der Forschungsarbeiten ist es, die Materialeigenschaften selbstadhäsiver Zemente zu untersuchen (Haftung, Festigkeit, Quellung, Expansionsstress) und die Faktoren zu ergründen, welche diese beeinflussen können (pH Neutralisation, Hydrophilie, chemische Zusammensetzung).

## **Polymerisationseigenschaften moderner „bulk-fill“ Komposite**

PI: PD Dr. M. Taschner, Dr. J. Zorzin

Direkte konventionelle, lichthärtende, dentale Füllungskunststoffe besitzen eine begrenzte Durchhärtungstiefe und Volumenschumpf. Dadurch bedingt, müssen diese unter großen Zeitaufwand in den zu füllenden Zahn geschichtet werden. Moderne „bulk-fill“ Komposite sollen über größere Durchhärtungstiefe und geringeren Volumenschumpf verfügen. Ziel ist, die Polymerisationseigenschaften von „bulk-fill“ Kompositen zu untersuchen und mit denen von konventionellen Kompositen zu vergleichen (Polymerisationsgrad, Härte, Volumenschumpf und Schrumpfstress) und dessen Einfluss auf die Restauration zu ermitteln (Randdichtigkeit und Haftung).

## **Lehre**

Der Lehrstuhl beteiligt sich an der curricularen Lehre des Studiengangs Zahnmedizin. Besonders hervorzuheben ist die fachübergreifende Lehrtätigkeit am Department Materialwissenschaften.

Im Jahr 2018 erschien im Thieme Verlag ein umfangreiches Lehrbuch für Studierende der Zahn-

medizin mit dem Titel „Werkstoffkunde in der Zahnmedizin – Moderne Materialien und Technologien“.

Es werden interdisziplinäre Bachelor-, Master- und Promotionsarbeiten mit den Studiengängen Medizintechnik und Werkstoffwissenschaften angeboten.

## **Ausgewählte Publikationen**

Bitter K, Maletic A, Neumann K, Breschi L, Sterzenbach G, Taschner M. Adhesive Durability Inside the Root Canal Using Self-adhesive Resin Cements for Luting Fiber Posts. *Oper Dent.* 2017 Nov/Dec;42(6):E167-E176

Wendler M, Belli R, Schachtner M, Amberger G, Petschelt A, Fey T, Lohbauer U. Resistance curves of short-fiber reinforced methacrylate-based biomedical composites. *Eng Fract Mech* 2017;190:146-158

Lohbauer U, Scherrer SS, Della Bona A, Tholey M, van Noort R, Vichi A, Kelly JR, Cesar PF. ADM guidance-Ceramics: all-ceramic multilayer interfaces in dentistry. *Dent Mater* 2017;33:585-598

Belli R, Wendler M, Zorzin JI, Lohbauer U. Practical and theoretical considerations on the fracture toughness testing of dental restorative materials. *Dent Mater* 2018;34:97-119

Belli R, Wendler M, Cicconi MR, de Ligny D, Petschelt A, Werbach K, Peterlik H, Lohbauer U. Fracture anisotropy in texturized lithium disilicate glass-ceramics. *J Non-Cryst Solids* 2018;481:457-469

Belli R, Wendler M, Petschelt A, Lube T, Lohbauer U. Fracture toughness testing of biomedical ceramic-based materials using beams, plates and discs. *J Eur Ceram Soc* 2018;38:5533-5544

## **Internationale Zusammenarbeit**

Prof. H. Peterlik, Institut für Physik, Universität Wien, Wien: Österreich

Prof. R. Danzer, Institut für Struktur- und Funktionskeramik, Montan Universität Leoben, Leoben: Österreich

Prof. P. F. César, University of Sao Paulo, Sao Paulo: Brasilien

Prof. S. Scherrer, University of Geneva, Genf: Schweiz

Prof. Y. Zhang, University of New York, New York: USA

# Department of Operative Dentistry and Periodontology

Chair of Dental, Oral, and Maxillofacial Medicine –  
especially Operative Dentistry, Periodontology, and Pediatric Dentistry

## Address

Glückstraße 11  
91054 Erlangen  
Phone: +49 9131 8533632  
Fax: +49 9131 8533603  
www.zahnerhaltung.uk-erlangen.de

## Director

Prof. Dr. med. dent. Anselm Petschelt

## Contact

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Lohbauer  
Phone: +49 9131 8543740  
Fax: +49 9131 8533603  
Ulrich.Lohbauer@dent.uni-erlangen.de

## Research focus

- Clinical fractography on dental ceramic restorations
- Residual stresses and crystallization behavior in Lithium Disilicate glass-ceramics
- Tailoring of crystal alignment in glass-ceramic dental materials
- Measurement of mechanical properties and reliability
- Amalgam alternative restoration materials
- Material properties self-adhesive cements
- Polymerization properties of bulk-fill composites

## Structure of the Department

Professorship: 1

Personnel: 50

- Doctors (of Medicine): 20
- Scientists: 4 (thereof funded externally: 2)
- Graduate students: 30

## Clinical focus areas

- Restoration
- Endodontic treatment
- Systematic periodontal treatment
- Pediatric dentistry

## Research

The main focus is on dental materials research with fields of expertise in basic science of operative and periodontal treatment procedures and correlation of experimental findings with clinical outcome. Independent, pre-clinical assessment of dental materials is a further area of interest of the laboratory section.

### Clinical fractography on dental ceramic restorations

PI: Prof. Dr. U. Lohbauer, Dr. R. Belli

After the commercial launch of new dental ceramic materials, an increased incidence of intraoral fractures or chippings has been observed. The method of fractography is intended to clin-

ically analyze failed dental restorations in order to assign relevant fracture mechanisms. In principle, fracture surfaces are intraorally replicated and macroscopically or microscopically investigated, using light or scanning electron microscopy. Specific fracture patterns thus provide information of involved failure mechanisms and respective reasons for failure. In a joint project with a German CAD/CAM milling center, approximately 1,000 failed restorations were fractographically examined and relevant reasons for failure were assessed. Based on the results originating from the Department of Operative Dentistry and Periodontology, a new nonprofit organization (Fracto Forum International e.V.) was founded. International workshops on dental fractography were already organized.

### Residual stresses and crystallization behavior in Lithium Disilicate glass-ceramics

PI: Prof. Dr. U. Lohbauer, Dr. R. Belli

Classic ceramic materials in dentistry for inlays, partial crowns, and crowns were made out mainly of feldspathic glasses. These are highly esthetic, but deficient in mechanical properties. To provide for more mechanical durability, lithium disilicate glass-ceramics with high crystal fraction have been developed and gained wide popularity, with new materials being introduced in the market every year. However, the crystalline and the glass phases in such materials can suffer from incompatibility regarding their thermal behavior, resulting in weakening residual stresses in the glass. To overcome this problem, a deeper understanding of the crystallization behavior of lithium disilicate is necessary by tailoring the base glass composition. By performing controlled fracture tests, we gain insights on the fundamentals determining the resistance of such materials and are able to devise strategies to improve their damage tolerance.

### Tailoring of crystal alignment in glass-ceramic dental materials

PI: Dr. R. Belli, Prof. Dr. U. Lohbauer

Most dental ceramics are produced from partially crystallized glass. Although these materials are hard, they are extremely susceptible to damage, especially due to the glass phase content. A strategy for strengthening these materials uses their microstructure to form reinforcing sites within the structural design. Such an approach has potential for application with lithium disilicate (LS2) glass-ceramics which contain needle-form  $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$  crystals that deflect oncoming cracks. By press injection of the glass melt through specifically oriented injection channels, crystals are aligned in patterns that lead to high mechanical anisotropy. In natural

materials, like dental enamel, such effects take place through several length-scales through the hierarchical structural arrangement within the crystals and bulk. To grasp these mechanisms in LS2 dental ceramics in the macro-, micro-, and nano-scales, it is necessary to investigate specific material responses using state-of-the-art mechanical testing.

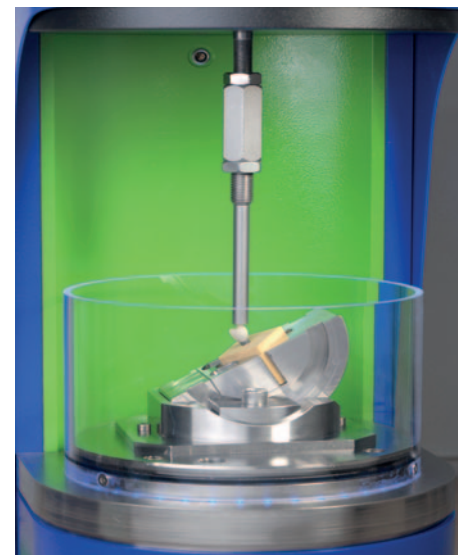


Subtractive processing of a bilayered CAD/CAM dental bridge construct

### Measurement of mechanical properties and reliability

PI: Dr. R. Belli, Prof. Dr. U. Lohbauer

Standardized measurements of mechanical properties help guiding materials development and serve as quality control for medical products being introduced into the market. Such mechanical tests must be controlled and conducted strictly according to international testing standards (i.e. DIN, ISO, ASTM). In the research laboratory for dental biomaterials we have worked on the constant improvement of our testing approaches to conform and validate testing standards. For that, we use standard reference materials and participate in inter-laboratory Round-Robin tests that provide means for improving the quality and sensitivity of testing procedures of dental materials.



Set-up for the fatigue testing of a polymer-infiltrated ceramic single crown over a titanium implant

### **Amalgam alternative restoration materials**

PI: Prof. Dr. U. Lohbauer, Dr. R. Belli

Amalgam has been used in the past for treatment of small, carious defects in a wide, permanent, and insurance-covered manner. Adhesive polymer based materials are not sufficiently economical, while glass ionomer based materials do not provide sufficient strength potential for permanent supply. In the research laboratory for dental biomaterials, new materials are being investigated that meet the requirements of mechanical strength as well as cost-effectiveness without adhesive bonding and without light polymerization.

### **Material properties of self-adhesive cements**

PI: Dr. J. Zorzin, Prof. Dr. U. Lohbauer

Self-adhesive cements enable the luting of indirect dental restorations without pretreatment of the tooth substrates. This is possible due to an acid-modified methacrylate-based chemistry. It is therefore of importance to investigate the material properties of self-adhesive cements (adhesion, strength, swelling, expansion stress) and influencing factors (pH neutralization, hydrophilicity, chemical composition).

### **Polymerization properties of "bulk-fill" composites**

PI: PD Dr. M. Taschner, Dr. J. Zorzin

Direct conventional, light-curing, dental filling resin composites have a limited depth of cure and polymerization shrinkage. Thus, these materials must be placed in thin layers into the tooth cavity which is very time consuming. Modern „bulk-fill“ composites claim to have a higher depth of cure and lower polymerization shrinkage. In the research laboratory for biomaterials, we investigate the polymerization properties of "bulk-fill" composites and make a parallel to conventional composite chemistry (degree of polymerization, hardness, shrinkage and shrinkage stress) up to how they influence the restored tooth cavity (marginal integrity and bond strength).

### **Teaching**

The Department of Operative Dentistry and Periodontology is involved in the curricular teaching within the frame of the dental students' degree program. Interdisciplinary lectures are held at the Department of Materials Science and Engineering (Faculty of Engineering). In 2018, the Department of Operative Dentistry and Peri-

odontology released a comprehensive text book for dental students entitled „Werkstoffkunde in der Zahnmedizin – Moderne Materialien und Technologien“.

The Department offers supervision of Bachelor's and Master's theses as well as MD and PhD theses in conjunction with the Departments of Medical Engineering and Materials Science and Engineering.

### **Selected publications**

Bitter K, Maletic A, Neumann K, Breschi L, Sterzenbach G, Taschner M. Adhesive Durability Inside the Root Canal Using Self-adhesive Resin Cements for Luting Fiber Posts. *Oper Dent*. 2017 Nov/Dec;42(6):E167-E176

Wendler M, Belli R, Schachtner M, Amberger G, Petschelt A, Fey T, Lohbauer U. Resistance curves of short-fiber reinforced methacrylate-based biomedical composites. *Eng Fract Mech* 2017;190:146-158

Lohbauer U, Scherrer SS, Della Bona A, Tholey M, van Noort R, Vichi A, Kelly JR, Cesar PF. ADM guidance-Ceramics: all-ceramic multilayer interfaces in dentistry. *Dent Mater* 2017;33:585-598

Belli R, Wendler M, Zorzin JI, Lohbauer U. Practical and theoretical considerations on the fracture toughness testing of dental restorative materials. *Dent Mater* 2018;34:97-119

Belli R, Wendler M, Cicconi MR, de Ligny D, Petschelt A, Werbach K, Peterlik H, Lohbauer U. Fracture anisotropy in texturized lithium disilicate glass-ceramics. *J Non-Cryst Solids* 2018;481:457-469

Belli R, Wendler M, Petschelt A, Lube T, Lohbauer U. Fracture toughness testing of biomedical ceramic-based materials using beams, plates and discs. *J Eur Ceram Soc* 2018;38:5533-5544

### **International cooperations**

Prof. H. Peterlik, Institut für Physik, Universität Wien, Vienna: Austria

Prof. R. Danzer, Institut für Struktur- und Funktionskeramik, Montan Universität Leoben, Leoben: Austria

Prof. P. F. César, University of Sao Paulo, Sao Paulo: Brazil

Prof. S. Scherrer, University of Geneva, Geneva: Switzerland

Prof. Y. Zhang, University of New York, New York: USA