

# Ultrakurzpuls-Laser-Technologie in der Zahnheilkunde

## Grundlagen und Anwendung

In den letzten Jahren wurden ultrakurz gepulste Laser in die zahnmedizinische Grundlagenforschung eingeführt. Ziel dieser Technologie ist es, orale Hart- und Weichgewebe mit minimaler Schädigung effizient zu bearbeiten. Die hochpräzise Abtragung biologischer Gewebe soll u.a. auch mit einer geringen Schmerzbelastung verbunden sein. Der nachfolgende Beitrag gibt einen Überblick.



Prof. Dr. med. dent. Matthias Frentzen, Priv.-Doz. Dr. med. dent. Andreas Braun, ZA Olivier Brede, Dr. med. dent. Claudia Dehn, Dr. Ing. Bernd Oehme, Prof. Dr. rer. nat. Christoph Bourauel, Dr. rer. nat. Susanne Reimann, Dipl.-Phys. Florian Schelle/Bonn\*

■ Erste Erfahrungen bezüglich der Ultrakurzpuls-Technologie wurden in den Neunzigerjahren mit Nanosekunden-gepulsten Eximerlasern erworben, die im ultravioletten Bereich strahlen. Die neu entwickelte Ultrakurzpuls-Laser-Technologie basiert auf Lasersystemen mit einer Wellenlänge im Bereich von 1 µm (z.B. Nd:YAG-Laser) mit Pulsdauern von Femtosekunden bis Pikosekunden. Die Gewebeablation beruht bei diesen Lasertypen auf nichtlinearen optischen Effekten, mit denen die Erzeugung eines Plasmas einhergeht. Erste histologische Studien zeigen, dass Zahnhartgewebe, Knochen und orales Weichgewebe ohne sichtbare thermische Belastung effektiv angetragen werden können. Auch Restaurationsmaterialien (Komposit, Keramik und Metalle) können bearbeitet werden. Die Ultrakurzpuls-Laser-Technologie verspricht, sich zu einem exzellenten Werkzeug für die Bearbeitung der unterschiedlichen Zahnhart- und Weichgewebe einschließlich entsprechender Restaurationsmaterialien zu entwickeln. Durch Variationen der Laserparameter können auch Effekte anderer Lasertypen im Sinne eines All-in-One-Systems generiert werden.

Die Arbeitsgruppe „Laser in der Zahnmedizin“ des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Bonn beschäftigt sich schon seit 1989 mit gepulsten Lasersystemen, um minimalinvasiv, nebenwirkungsfrei und schmerzarm Hartgewebe und Knochen bearbeiten zu können.<sup>1-4</sup> Es wurden Modellsysteme zur Beurteilung der Laser-Gewebe-Interaktionen entwickelt und Kriterien für vorteilhafte Laserparameter zusammengestellt. Darüber hinaus lagen umfangreiche Erfahrungen zur Entwicklung und Adjustierung von Lasern unter zahnmedizinischen und applikationsbezogenen Aspekten vor. Dies war die Grundlage zur Projektentwicklung eines umfangreichen Vorhabens zur Untersuchung der Ultrakurzpuls-Laser-

Technologie mit dem Ziel, diese in der industriellen Bearbeitungstechnik bereits etablierte Methode auch für die Zahnheilkunde nutzbar zu machen.

Bei dem Verbundprojekt MiLaDi (Minimalinvasive Laserablation und Diagnose von oralem Hartgewebe) handelt es sich um einen BmBF-Forschungsverbund zwischen der Arbeitsgruppe „Laser in der Zahnmedizin“ am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn und zwei Industrieunternehmen. Hierzu zählen zum einen Sirona Dental Systems GmbH, ein Global Player auf dem Markt der Dentalausrüster. Und zum anderen die Firma Lumera Laser GmbH, ein mittelständisches Unternehmen, das seit vielen Jahren über Erfahrung mit UltrakurzpulsLasern in Wissenschaft und industrieller Fertigung verfügt. Projektleiter an der Universität Bonn ist Univ.-Prof. Dr. Matthias Frentzen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BmBF) fördert das Projekt mit einem vorläufigen Gesamtetat von 6,8 Mio. € in den nächsten Jahren. Im Februar 2009 wurde das Verbundprojekt gestartet.

Ziel des Projektes MiLaDi ist die oralbiologische und medizinische Erforschung eines Pikosekunden-Laserdiagnose- und -therapie-systems für die Zahnheilkunde. Mit der Entwicklung eines solchen Lasertherapie-systems für die Zahnheilkunde soll eine neue Behandlungsdimension erschlossen werden, die den veränderten Bedingungen, insbesondere in Bezug auf die Volkserkrankungen Karies und Parodontitis, Rechnung trägt. Auch chirurgische Indikationen sollen durch innovative Konzepte und Techniken implementiert werden.

Aufgabe des Verbundvorhabens ist es, die Funktionsfähigkeit der Ultrakurzpuls-Lasertechnologie in der Zahnmedizin zu untersuchen. Es sollen die biologisch-medizinischen Grundlagen für eine sichere Anwendung geschaffen und die technische Entwicklung eines Lasertherapiegerätes aus zahnärztlicher Sicht zielführend begleitet werden. Es ist vorgesehen, neue Therapieverfahren tierexperimentell zu überprüfen und klinisch abzusichern.

\* Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,  
AG Laser in der Zahnheilkunde

Von Hochschuleseite sind neben der Universität Bonn in das Projekt auch die Hochschule Bonn-Rhein sowie die Hochschule Remagen eingebunden.

### Ultrakurzpulslaser-Technologie: was ist das?

Eine Laserstrahlung kann im Rahmen der Materialbearbeitung zu sehr unterschiedlichen Effekten führen: Material/Gewebe kann z.B. durchstrahlt, erwärmt oder entfernt werden.<sup>6</sup> Die Wirkung der Laserstrahlung hängt von verschiedenen Kenngrößen ab. Hierzu zählen die Wellenlänge (Farbe) der Strahlung, die applizierte Energie und der Betriebsmodus. Infolge der Laserapplikation kann das bearbeitete Objekt ohne Wirkung transmittiert (durchstrahlt) werden; die Laserstrahlung kann auf der Oberfläche oder in der Probe absorbiert werden, was z.B. zu einer Erhitzung führen kann. Laserstrahlung – insbesondere gepulste Laserstrahlung – kann aber auch Druck- und Schallwellen generieren. Niedrige Leistungsdichten können darüber hinaus zu chemischen Modifikationen des Materials sowie optischen Effekten im Sinne z.B. einer Fluoreszenz führen.

### cw oder gepulst – der Betriebsmodus

Ein wichtiges Merkmal zur Charakterisierung eines Lasers ist sein Betriebsmodus. Man unterscheidet dabei, ob die Strahlung kontinuierlich („cw“ – continuous wave) oder gepulst emittiert wird. Der Betriebsmodus eines cw-Lasers gleicht dem einer gewöhnlichen Lampe: Das Licht kennt nur die Zustände „an“ oder „aus“. Folgt man dieser Analogie, entspricht der Puls laser einer Art Stroboskop, welches das Licht sehr schnell hintereinander ein- und wieder ausschaltet. Für die Laserstrahlung ergibt sich daraus funktionsbedingt eine unterschiedliche Leistungsverteilung. Ein 5 W cw-Laser emittiert kontinuierlich Licht mit einer Leistung von 5 W. Ein gepulster 5 W-Laser hingegen emittiert dieselbe Leistung nur durchschnittlich, während die Leistung pro abgegebenen Puls i.d.R. wesentlich höher ist. Beträgt die Dauer eines Pulses z.B. 1/10 Sek. und der Laser emittiert 5 Pulse pro Sekunde, so ist dieser nur 50 Prozent der Zeit tatsächlich an. Wenn seine durchschnittliche Leistung 5 W beträgt, die Hälfte der Zeit aber gar keine Leistung übertragen wird, muss folglich jeder Puls die doppelte Leistung übertragen, nämlich 10 W. Allgemein gilt, dass die Pulsleistung umgekehrt proportional zur Pulsdauer ist: Je kürzer der Puls, desto höher ist auch seine Leistung!

### Wie erzeugt man Laserpulse?

Zur Erzeugung von Laserpulsen gibt es verschiedene Verfahren. Das einfachste Beispiel ist die Verwendung eines Chopperrads, welches den austretenden Strahl eines cw-Lasers in kurzen Abständen abblockt und

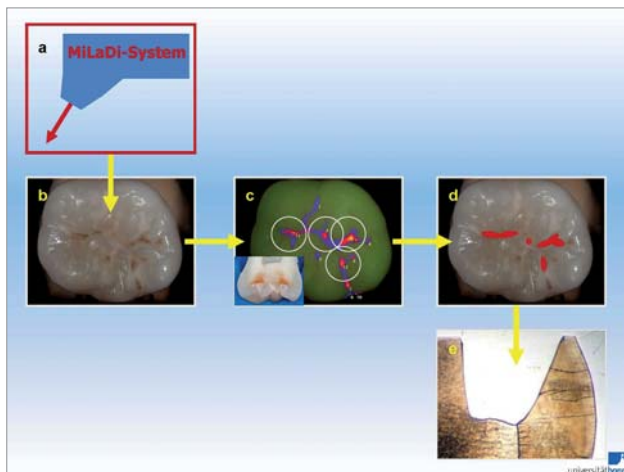
wieder freigibt. Dies ist kein Puls laser im eigentlichen Sinne, da die Leistung eines auf diese Art erzeugten Pulses gerade der des cw-Lasers entspricht. Durch die fortwährende Unterbrechung des Strahls sinkt die durchschnittlich auf der bestrahlten Oberfläche ankommende Leistung jedoch beträchtlich. Die Erzeugung „echter“ Laserpulse beruht auf einer etwas anderen physikalischen Funktionsweise. Grundlegend besteht ein Laser aus einem optischen Resonator und einem dazwischen befindlichen aktiven Medium, in welchem durch Hinzufügen von Anregungsenergie (Pumpprozess) eine Besetzungsinversion aufgebaut wird. Bei einem cw-Laser stellt sich nach kurzer Anschwingphase ein Gleichgewicht zwischen Ab- und Aufbau der Inversion durch Emission von Photonen und erneuter bzw. permanenter Anregung ein. Die Besetzungsinversion wird aufrecht erhalten und es kann kontinuierlich Strahlung abgegeben werden. Bei einem Puls laser hingegen wird das obere Laserniveau (nahezu) vollständig entleert, sodass die Besetzungsinversion kurzzeitig aufgehoben ist und ein erneuter Laserübergang erst dann wieder stattfinden kann, wenn durch den Pumpprozess wieder Energie in das System gebracht wurde, die zur erneuten Bevölkung des oberen Laserniveaus führt.

### Güteschaltung (Q-switching)

Eine gängige Methode, dies zu realisieren, ist die sogenannte „Güteschaltung“. Hierbei werden über unterschiedliche Hilfsmittel künstlich Verluste im optischen Resonator erzeugt, welche die Resonatorgüte (d.h. die „Qualität“ des Resonators) solange verringern, bis eine starke Besetzungsinversion aufgebaut ist. Schaltet man die Verlustursache jetzt kurzzeitig aus, führt dies zu einer plötzlichen, nahezu vollständigen Entvölkerung des oberen Laserniveaus und damit zu einem intensiven Laserpuls. Das Erzeugen der Verluste geschieht über aktive Elemente wie akusto-optische oder elektro-optische Modulatoren, oder über passive Elemente wie beispielsweise einen sättigbaren Absorber. Typische Pulsdauern dieses Verfahrens liegen im Bereich einiger Nanosekunden ( $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ ).

### Ultrakurze Laserpulse durch Modenkopplung

Noch wesentlich kürzere Pulsdauern lassen sich über die sog. Modenkopplung („mode-locking“) realisieren. In optischen Resonatoren schwingen gewöhnlich sehr viele Moden gleichzeitig, aber ohne eine feste Phasenbeziehung zueinander. Die Überlagerung dieser Moden führt allgemein zu einer recht gleichmäßigen Intensitätsverteilung, sodass im Prinzip ein cw-Laser vorliegt. Schafft man es aber, zwischen möglichst vielen Moden im Resonator eine feste Phasenbeziehung einzuführen, interferieren periodisch alle Moden konstruktiv, sodass sich zu einem bestimmten Zeitpunkt ein einziger, intensiver Laserpuls ausbildet. Ähnlich wie



**Abb. 1:** Modell der Kariesdiagnose und -therapie mit dem MiLaDi-System auf USPL-Basis (USPL = Ultra-short pulse laser). Im ersten Schritt erfolgt mit dem Lasertherapie-System (a) die Detektion der behandlungswürdigen kaviösen Defekte, die unterhalb der meist noch intakten Schmelzoberfläche liegen (b), mithilfe der Laserfluoreszenztechnik (c). Für die rot bzw. gelb markierten Areale wird eine adäquate minimalinvasive Präparationsform berechnet (d) und mithilfe entsprechender Scannertechnologie präpariert (e).

bei einem Beugungsgitter, bei dem die Breite der Maxima der Intensitätsverteilung umgekehrt proportional zur Anzahl der Gitteröffnungen ist, wird auch die zeitliche Dauer eines durch Modenkopplung erzeugten Laserpulses immer kleiner, je mehr Moden im Resonator zeitgleich konstruktiv überlagern. Analog zur Heisenberg'schen Unschärferelation ergibt sich hier durch das sogenannte „Zeit-Bandbreite-Produkt“ die Anforderung einer möglichst großen Bandbreite des Lasers. Diese wiederum wird in erster Linie vom verwendeten Lasermedium bestimmt, weshalb sich beispielsweise ein Ti:Sa-Kristall hervorragend eignet. Das Induzieren der festen Phasenbeziehung zwischen den Resonatormoden kann erneut aktiv oder passiv erfolgen, wobei in jedem Fall eine Amplituden- oder Frequenzmodulation des Lichts im Resonator stattfinden muss. Die erreichbaren Pulsdauern betragen in der Regel Pikosekunden ( $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ ) bis Femtosekunden ( $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$ ) und begründen den in diesem Zusammenhang üblichen Term „Ultrakurzpulslaser“. Zur Veranschaulichung eine Analogie: Ein Flug von Frankfurt nach New York dauert etwa neun Stunden. Diese Distanz würde ein Lichtstrahl etwa 50-mal überwinden – in nur einer Sekunde! Eine Pikosekunde hingegen ist so kurz, dass Licht gerade einmal 0,3 mm zurücklegen kann!

### Einsatz modengekoppelter Laser zur Materialbearbeitung

Ein modengekoppelter 10 W-Laser mit einer Pulslänge von einigen Pikosekunden erreicht, je nach Repetitionsrate (d.h. Anzahl Pulse pro Sekunde), typische Pulsleistungen von mehreren Millionen Watt. Bei zusätzlich guter Fokussierung lassen sich somit Intensitäten von einigen Gigawatt pro Quadratzentimeter erzielen. Bei diesen Größenordnungen treten in der Licht-Materie-

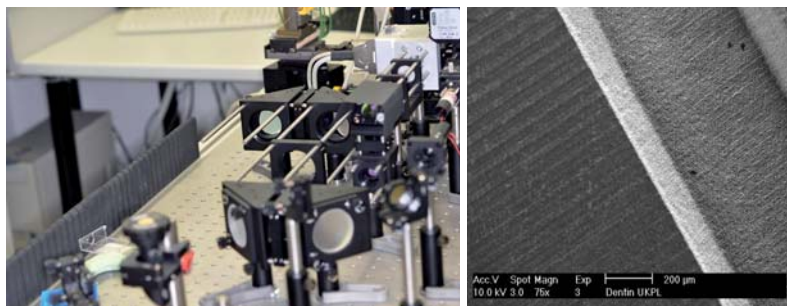
Wechselwirkung Effekte auf, die in der Physik mithilfe der nichtlinearen Optik beschrieben werden. Einer dieser Effekte ist die Mehr-Photonen-Absorption, aufgrund derer bei ausreichend hohen Intensitäten Materialien nicht mehr transparent wirken. In der Regel ist die elektrische Feldstärke des Lichts modengekoppelter, fokussierter Laser so hoch, dass sich nahezu jedes Material damit bearbeiten und abtragen lässt – weitestgehend unabhängig von dessen Absorptionsspektrum!

Eine weitere Besonderheit ist dabei, dass die auf das Material übertragene Energiemenge aufgrund der enorm kurzen Pulsdauern in der Größenordnung von lediglich einigen Mikrojoule liegt, d.h. der durch den Ablationsprozess entstehende Wärmeeintrag ist überaus gering. Bei cw-Lasern sowie gepulsten Lasern mit Pulslängen im Nanosekundenbereich beruht der Materialabtrag im Wesentlichen auf einem durch starke Erwärmung hervorgerufenen Schmelzprozess. Ultrakurzpulslaser hingegen vaporisieren die bestrahlte Fläche bei ausreichender Fokussierung direkt, was unter anderem zur Erzeugung eines Plasmas führt. Ein zusätzlicher, wünschenswerter Effekt bei dieser Art der Materialbearbeitung ist die sehr hohe Präzision, welche in erster Linie nur durch die Größe des Fokussdurchmessers limitiert ist.

Das MiLaDi-Projekt verwendet einen Nd:YAG-Laser mit einer Pulslänge von 8 ps und einer durchschnittlichen Leistung von 10 W, dessen Licht der charakteristischen Wellenlänge von 1.064 nm auf einen Durchmesser von etwa 0,03 mm fokussiert wird, um die aus der industriellen Fertigung bekannten, hervorragenden Materialbearbeitungseigenschaften, z.B. von Ultrakurzpulslasern, auf den Einsatz in der Zahnheilkunde zu übertragen.

### Ziele des Forschungsverbundes

Mit der Entwicklung eines Pikosekundenlaser-Therapie-systems für die Zahnheilkunde soll den veränderten Bedingungen, insbesondere im Rahmen der Diagnostik und Therapie von Karies und Parodontitis, Rechnung getragen werden. Als Beispiel seien hier die Zahnhartgewebskrankungen angeführt: Entsprechend der Ergebnisse der jüngsten Mundgesundheitsstudie des IDZ ist die klassische Karies zwar rückläufig, die sogenannte versteckte Karies („Hidden Caries“), die sich durch ihr klinisches Erscheinungsbild ohne klinisch erkennbare Kavitätenbildung auszeichnet, stellt jedoch ein immer größeres Problem dar. Das klassische Vorgehen bei dieser Variante der Karies (Kavitätenpräparation mit rotierenden Instrumenten und die Füllung des Defektes mit geeigneten Restaurationsmaterialien, Abb. 1) ist aus heutiger Sicht nicht mehr indiziert. Minimalinvasive Therapieformen gekoppelt mit diagnostischen Rückkopplungssystemen sind hier gefordert. Voraussetzung hierfür sind jedoch adaptierte Detektion- und Therapieverfahren, die erst in jüngster Zeit aufgrund der technologischen Entwicklung für eine medizinische Anwendung verfügbar sind. Durch die prognostizierte



**Abb. 2:** Versuchsaufbau auf der optischen Bank. – **Abb. 3:** Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme (REM) einer Kavität in Dentin zur Veranschaulichung der Präzision der Bearbeitung sowie der minimalen Rauigkeit der Oberfläche.

Schmerzarmut dieser neuen Technologien kann zudem Patientenakzeptanz zahnärztlicher Therapiemaßnahmen erheblich verbessert werden, was längerfristig im Rahmen einer präventiven Betreuung auch zu Kostensenkungen führen kann.

Ziel des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens ist es, die biologisch-medizinischen Grundlagen für eine sichere Anwendung der inzwischen industriell verfügbaren Ultrakurzpulslaser-Technologie zu schaffen, die technische Entwicklung eines Lasertherapiegerätes aus zahnärztlicher Sicht zielführend zu begleiten und die hierdurch ermöglichten neuen Therapieverfahren zu überprüfen.

Das Lasertherapiegerät auf Basis der Pikosekundenlaser-Technologie soll es später dem Anwender ermöglichen:

- minimalinvasiv Zahnhartsubstanz (Schmelz und Dentin) sowie mineralisierte Auflagerungen (Zahnstein bzw. Konkremente) schmerzfrei abzutragen, einschließlich der Möglichkeit einer objektiven Analyse des entfernten Materials
- eine das umgebende Gewebe schonende Bearbeitung von Knochen, z.B. im Rahmen knochenchirurgischer Maßnahmen sowie in der Implantologie, durchzuführen
- chirurgische Maßnahmen an gesundem und erkranktem oralem Weichgewebe, einschließlich der Analyse des abzutragenden Materials vorzunehmen
- ein Biofilmmangement der oralen Plaque-assoziierten Erkrankungen in den Bereichen der Kariologie, Endodontie und Parodontologie, vorzunehmen.

Neben der biologischen Überprüfung der Lasereffekte im Rahmen der Grundlagenforschung sollen verfügbare industrielle Systeme zu zahnmedizinischen Applikationssystemen weiterentwickelt werden, die dann tierexperimentell überprüft werden, bevor ein prototypennahes System für In-situ-/In-vivo-Testung am Patienten realisiert wird.

## Beispiele aus laufenden Forschungsarbeiten

### Einführung

Um grundlegende Untersuchungen insbesondere zur Wirkung der Ultrakurzpulstrahlung auf biologische

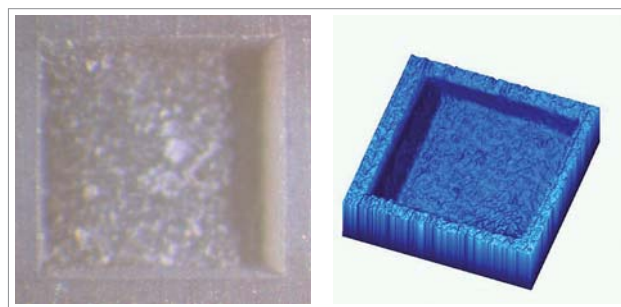
Gewebe und Restaurationsmaterialien untersuchen zu können, wurde zunächst ein Laserfunktionssystem mit allen notwendigen funktionellen Komponenten auf einer optischen Bank aufgebaut (Abb. 2). Dieses System besteht aus der Laserquelle, allen optischen Elementen, die für ein zahnärztliches Strahlübertragungssystem notwendig sind, einem Scannersystem sowie einer Autofokuseinheit. Im Rahmen der ersten technischen Entwicklungsstufe wurden die unterschiedlichen Komponenten so aufeinander abgestimmt, dass eine In-vitro-

Bearbeitung von Proben, gemäß den späteren Indikationsfeldern, möglich ist.

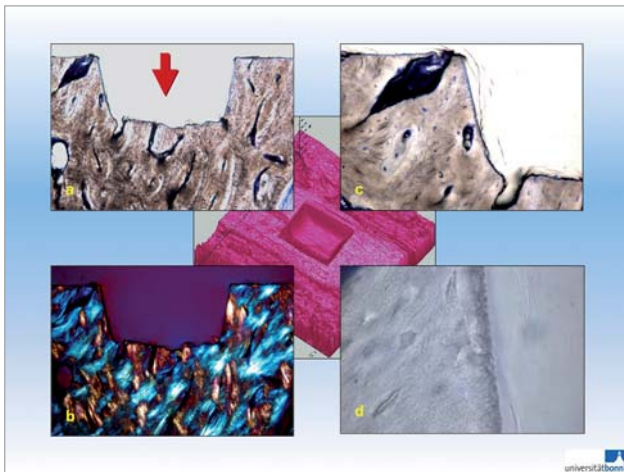
Bearbeitet werden können mit diesem System alle Arten von Zahnhartgeweben, Restaurationsmaterialien, orale Weichgewebe und Knochen. In diesem Entwicklungsstadium sind die Bearbeitungsparameter für die entsprechenden Materialien in einem breiten Bereich wählbar; Module zur Analyse des Ablationsprozesses zur Entwicklung von Detektionssystemen können je nach Bedarf zugeschaltet werden. Dieser erste Versuchsaufbau dient zur grundlegenden Untersuchung des Ablationsprozesses bei biologischen Materialien und Restaurationswerkstoffen in Bezug auf die Bearbeitungseffektivität und Nebenwirkung, die z.B. durch Temperaturerhöhungen verursacht werden können. Darüber hinaus kann die Ultrastruktur der entstehenden Bearbeitungsoberflächen und die Geometrie von verschiedenen Kavitätenformen vermessen werden. Auch mikrobiologischen Fragestellungen, wie z.B. die Abtötung bzw. Streuung von Mikroorganismen, kann nachgegangen werden.

### Bearbeitung von Zahnhartgeweben

Um die klinische Relevanz der Bearbeitung von Zahnhartgeweben mit Ultrakurzpulslasern überprüfen zu können, wurde die Bearbeitungsgeschwindigkeit bei Schmelz und Dentin anhand von menschlichen extrahierten Zähnen überprüft.<sup>8</sup> Das Abtragsvolumen für Dentin liegt ohne Luft- bzw. Sprayfüllung in einer Größenordnung von ca. 10 mm<sup>3</sup>/min. Die Effizienz scheint durch Optimierung insbesondere der Scan-Parameter noch erheblich zu verbessern zu sein. Kariöses Dentin wird ca. viermal schneller abgetragen als gesundes Dentin.



**Abb. 4:** Mikrofotografie einer Kavität in Komposit. Rechts die 3-D-Darstellung derselben Kavität. Hier sind die sehr definierten Ränder der Kavität besonders gut zu sehen.



**Abb. 5:** Atraumatische, hochpräzise Abtragung von Knochengewebe zur Aufnahme eines minimaturisierten Implantatverankerungselements mithilfe der USPL-Technologie (USPL = Ultra-short pulse laser). Im Hintergrund ein profilometrischer Scan der quaderförmigen Kavität; **a)** Übersichtsaufnahme eines Schliffpräparats durch die Kavität (x 100); **b)** polarisationsoptische Aufnahme der Probe; **c)** Detailaufnahme einer Kavitätenwand (x 250); **d)** Oberflächenstruktur der Kavitätenwand (x 1.000).

Die profilometrische Analyse zeigt eine Kavitätengeometrie, die mit konventionellen rotierenden Instrumenten nicht zu gestalten ist. Die Aufnahmen des histologischen Schliffs geben keine Hinweise auf laserinduzierte Schädigungszonen bzw. Strukturveränderungen durch thermische Belastung.

Die Kavitäten zeigen eine glatte und äußerst kantenscharfe Kontur; es scheint sich kein Smearlayer zu bilden (Abb. 3). Somit ist eine gezielte Kavitätenpräparation mit Lasern erstmals möglich. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass die unterschiedlichen Abtragsgeschwindigkeiten eine selektive Gewebearbeitung begünstigen.

#### *Bearbeitung von Restaurationmaterialien*

Um eine ausreichende Breite des Therapiespektrums mit der Ultrakurzpulslaser-Technologie gewährleisten zu können, wurde untersucht, inwieweit Restaurationmaterialien mit dieser Bearbeitungstechnologie bearbeitet werden können.<sup>5</sup> Klinisch relevante Abtragsraten bei den gängigen bisher untersuchten Werkstoffen lassen die Möglichkeit einer effektiven lasergestützten Bearbeitung von Restaurationmaterialien erkennen (Abb. 4).

#### *Bearbeitung von Knochen*

Grundlage für die Anwendung der Ultrakurzpulslaser-Technologie bei chirurgischen Fragestellungen ist eine effiziente und schonende Abtragung von Knochengewebe. Ohne Spray- oder Luftkühlung kann Knochen, wie histologische Studien zeigen, ohne nachweisbare Nebeneffekte bearbeitet werden (Abb. 5). Die klinische Effizienz ist nach den bisher vorliegenden Ergebnissen vergleichbar mit klassischen Methoden.<sup>7</sup>

#### *Detektionsmöglichkeiten im Rahmen der Gewebearbeitung*

Der Bearbeitungsprozess von Geweben mithilfe der Ultrakurzpulslaser-Technologie bietet aufgrund der La-

sergewebeinteraktion verschiedene Möglichkeiten zur Analyse des abzutragenden Materials. Neben der bekannten Fluoreszenzdiagnostik liefert hierbei insbesondere das Plasma-Spektroskopieverfahren „LIBS“ (Laser induced breakdown spectroscopy) vielversprechende Ergebnisse, wie z.B. die zuverlässige Erkennung und Differenzierung von Konkrementen und Wurzelzement. Weitere vielversprechende Detektionstechnologien sind in Erprobung.

#### *Ausblick*

Schon zu Beginn des Entwicklungs- und Forschungsvorhabens MiLaDi (Minimalinvasive Laserablation und Diagnose von oralem Hartgewebe) konnte in einer Reihe von In-vitro-Untersuchungen festgestellt werden, dass diese Lasertechnologien neue Potenziale für zahnärztlich-therapeutische Maßnahmen besitzen. Die systematische Untersuchung relevanter Laserparameter sowie die Entwicklung geeigneter Strahlübertragungssysteme einschließlich adäquater Detektionssysteme stehen im Mittelpunkt augenblicklicher Forschung im Rahmen des Verbundprojekts. Die bisherigen Ergebnisse sind vielversprechend und eröffnen die Möglichkeit einer patientenbezogenen Weiterentwicklung.

Im Rahmen der letzten internationalen Fachtagung zu Laseranwendungen in der Zahnmedizin, der Tagung der WFLD in Dubai im März 2010, wurden die vorgestellten Ergebnisse mit großer Resonanz positiv aufgenommen. ■



#### *Erstveröffentlichung*

Matthias Frentzen, Andreas Braun, Bernd Oehme, Christoph Bourauel, Susanne Reimann, Florian Schelle, Olivier Brede, Claudia Dehn; Grundlagen und Anwendung der Ultrakurzpulslaser-Technologie in der Zahnheilkunde, in: Spitzenforschung in der Zahnheilkunde – Innovationen und Auszeichnungen 2010. Ausgabe zum Deutschen Zahnärztetag vom 10.–13. November 2010 in Frankfurt am Main, hrsg. von der ALPHA Informations-GmbH, Lampertheim 2010, S. 8–87 (= Reihe Lebendige Wissenschaft).

*Alle Bilder in diesem Artikel stammen von dem BmBF-Verbundprojekt „MiLaDi“, (Minimalinvasive Laserablation und Diagnose von oralem Hartgewebe).*

#### ■ KONTAKT

##### **Univ.-Prof. Dr. med. dent. Matthias Frentzen**

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
AG Laser in der Zahnheilkunde  
Welschnonnenstr. 17  
53111 Bonn  
Tel.: 02 28/2 87-2 24 70  
Fax: 02 28/2 87-2 21 46  
E-Mail: frentzen@uni-bonn.de

**Legen Sie jetzt den Grundstein  
für eine erfolgreiche Zukunft!**

Der nächste Masterstudiengang startet am 26. September 2011



## **Master of Science (M.Sc.) in Lasers in Dentistry**

*Möchten auch Sie zu Europas Zahnarzt-Elite gehören?*

- Erster in Deutschland akkreditierter Master-Studiengang in der Zahnheilkunde
- 2-jähriger, berufsbegleitender, postgradualer Studiengang an der Elite-Universität RWTH Aachen
- Modular aufgebaut – modernes E-Learning – international anerkannt gem. Bologna-Reform
- Wissenschaftlich basiert und praxisorientiert auf höchstem nationalen und internationalen Niveau
- Bronze Award der Europäischen Kommission für lebenslanges Lernen



Aachen Dental Laser Center

Weitere Informationen:

AALZ GmbH · Pauwelsstrasse 19 · 52074 Aachen  
Tel. 02 41 - 9 63 26 70 · Fax 02 41 - 9 63 26 71  
[www.aalz.de](http://www.aalz.de) · [info@aalz.de](mailto:info@aalz.de)

– In Kooperation mit der Elite-Universität –

**RWTH** INTERNATIONAL  
ACADEMY  
AACHEN UNIVERSITY

**dgl.** Deutsche  
Gesellschaft für  
**laser.** Zahnheilkunde e.V.