

## **Auf neuen Wegen – Der 445-nm-Laser in der klinischen Anwendung**

### **Indizes**

*Diodenlaser, Halbleiterlaser, Blaulichtlaser, Parodontitistherapie, Inzision, Exzision, Keimreduktion*

### **Zusammenfassung**

*Lasersysteme werden in einer Vielzahl von zahnmedizinischen Therapieverfahren vor allem in den Bereichen Chirurgie, Zahnerhaltung, Endodontie und Parodontologie eingesetzt, um sowohl den Komfort des Patienten als auch das Behandlungsergebnis zu verbessern. Die Wirksamkeit des Lasers hängt dabei entscheidend davon ab, wie die elektromagnetische Strahlung vom Zielgewebe absorbiert wird. Die Entwicklung eines neuartigen Diodenlasers im blauen Wellenlängenbereich (445 nm) verspricht eine gute Energiekopplung an pigmentierte Zellen und Gewebe. Kombiniert mit einer geringen Absorption in Wasser, resultiert eine im Vergleich zu konventionellen Halbleiterlasern im Wellenlängenbereich von 810 bis 980 nm verbesserte Schneidleistung bei chirurgischen Eingriffen. Darüber hinaus eignet sich blaues Laserlicht dafür, herkömmliche Maßnahmen zur Keimreduktion in parodontalen Läsionen oder Wurzelkanälen zu verbessern. Im Rahmen der vorliegenden Übersicht sollen klinische Anwendungen mit der neuartigen 445-nm-Lasertechnologie sowie aktuelle Studienergebnisse dazu aufgezeigt und diskutiert werden. Anhand klinischer Fallverläufe werden die Einsatzmöglichkeiten des Blaulichtlasers dargestellt.*

### **Laseranwendungen in der Zahnmedizin**

Die Lasertherapie hat sich in verschiedenen medizinischen Fachbereichen wie der Ophthalmologie, der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, der Gefäßchirurgie und der Dermatologie nicht nur als Alternative zu herkömmlichen Verfahren bewährt, sondern es konnten auch neue Behandlungsprotokolle entwickelt werden. Unter Berücksichtigung der bisherigen Datenlage sind laser-spezifische Besonderheiten wie Wärmeentwicklung oder eingeschränkte Taktilität bei sach- und bestimmungsgemäßem Gebrauch von Lasersystemen überschaubar und dem Therapieergebnis nicht abträglich. In der Zahnmedizin konnte sich der Laser primär in drei



**Andreas Braun**  
Prof. Dr. med. dent.

Leitender Oberarzt und  
Vertreter des Direktors

**Johannes-Simon Wenzler**  
Dr. med. dent.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

**Michael Berthold**

Entwicklungsingenieur

**Roland Frankenberger**  
Prof. Dr. med. dent.

Direktor der Abteilung für  
Zahnerhaltungskunde

Abteilung für Zahnerhaltungskunde  
Medizinisches Zentrum für  
Zahn, Mund- und Kieferheilkunde  
Philipps-Universität Marburg und  
Universitätsklinikum Gießen und Marburg,  
Standort Marburg  
Georg-Voigt-Straße 3  
35039 Marburg  
E-Mail: andreas.braun@staff.uni-marburg.de

## ■ ZAHNHEILKUNDE ALLGEMEIN

Auf neuen Wegen – Der 445-nm-Laser in der klinischen Anwendung

**Tab. 1** Bezeichnung von Lasersystemen bezogen auf die Laser-Gewebe-Wechselwirkungen (modifiziert nach Niemz<sup>15</sup>).

aPDT = antimikrobielle photodynamische Therapie

Bezeichnung	Interaktion	Grundlage
Softlaser	I photochemische Wechselwirkungen	Aktivierung von Molekülen (z. B. aPDT, Biostimulation)
Hartlaser	II thermische Wechselwirkungen	Erwärmung des Gewebes (z. B. Erhitzung, Koagulation, Karbonisation)
	III direkte Photoablation	molekulare Dissoziation
	IV plasmainduzierte Ablation	Bildung eines ionisierten Plasmas
	V Photodisruption	mechanische Effekte durch Schockwellen und Kavitation

Bereichen etablieren: in der Chirurgie, der Endodontie und der Parodontologie<sup>9-11,13,17</sup>. Hierbei kommen bevorzugt Halbleiter- bzw. Diodenlaser zum Einsatz. Sie zeichnen sich trotz ihrer geringen, praxistauglichen Abmessungen durch einen hohen optoelektrischen Wirkungsgrad aus und können so ein breites Behandlungsspektrum – Keimreduktion und koagulierendes Schneiden sowie Abtrag von oralem Weichgewebe<sup>19</sup> – abdecken.

### Funktionsweise und Begriffsbestimmungen

Der Begriff Laser erklärt sich aus seiner Wirkweise und steht für „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ (Lichtverstärkung durch stimulierte Ausstrahlung von Strahlung). Das grundlegende Prinzip geht auf Überlegungen von *Albert Einstein* zurück. Eine Laserquelle erzeugt das Laserlicht bzw. die Laserstrahlung, indem einem jeweiligen Medium – Gasgemisch, Kristallstab oder Diode – Energie zugeführt (gepumpt) wird, um die Elektronen zur Abgabe von Photonen anzuregen. CO<sub>2</sub>-Laser verwenden als Medium Kohlendioxid, Festkörperlaser wie der Erbium:YAG-Laser (Er:YAG) und der Neodym:YAG-Laser (Nd:YAG) hingegen in einem Kristall aus Yttrium-Aluminium-Granat gebundene Erbium- bzw. Neodym-Atome. Dioden- bzw. Halbleiterlaser erzeugen ihre Laserstrahlung mittels Halbleiterdioden.

Da das Medium zwischen zwei Spiegeln angeordnet ist, wird das Laserlicht aufgrund der Reflexion ständig verstärkt. Einer der beiden Spiegel ist an einer defi-

nieren Stelle für den erzeugten Lichtstrahl durchlässig. Dadurch erhält das Laserlicht – im Gegensatz zu herkömmlichem Licht – seine drei typischen Eigenschaften: Es ist monochrom, kohärent und unidirektional. Übertragen wird das Laserlicht über eine Faser an der Spitze des Lasers, wobei es je nach Gewebeart und -kontakt absorbiert, reflektiert oder transmittiert werden kann.

Die Wirkung eines Lasers basiert auf dem Prinzip der Absorption seiner elektromagnetischen Energie im Gewebe und der Umwandlung in eine andere Energieform. Hierbei unterscheidet man in der Regel hinsichtlich der angewendeten Laserleistung zwischen Soft- und Hardlasern (Tab. 1). Diese Unterscheidung soll das therapeutische Einsatzgebiet des Lasers charakterisieren: Während einem Softlaser mit einer geringen Leistung im niedrigen Milliwattbereich primär eine biostimulierende Wirkung im Rahmen einer Laser-Photo-Therapie zugeschrieben wird, arbeiten Hardlaser mit höherer Leistung vorzugsweise invasiv. Allerdings kann keine scharfe Grenze zwischen Soft- und Hardlasern gezogen werden, da Biostimulation und invasive Effekte wie Photoablation oder Photodisruption nicht nur von den Leistungseinstellungen des Lasers, sondern auch von der verwendeten Laserwellenlänge abhängig sind.

Bei einer Lasertherapie ist eine Vielzahl an Parametern zu berücksichtigen, die Einfluss auf den therapeutischen Erfolg ausüben können. Neben den Parametern der Laserstrahlung selbst (Wellenlänge, Leistung, Betriebsmodus, Tastverhältnis, Frequenz) sind dies das umgebende Medium (Luft, Wasser, Blut), das Zielgewebe (Absorptionskoeffizient, Wärmeleitfähigkeit)

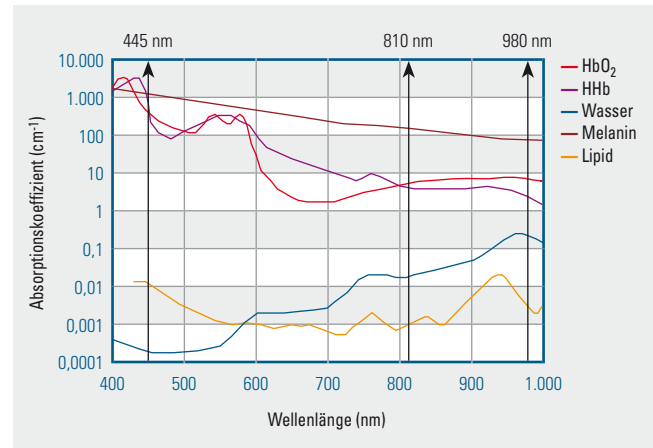


sowie die Handhabung (Geschwindigkeit, Abstand, Anstellwinkel, Faserdurchmesser). Für die Indikation und den therapeutischen Erfolg primär entscheidend sind die beiden Parameter Absorption und Eindringtiefe: Je stärker die Absorption ausfällt, desto geringer ist die Eindringtiefe ins Gewebe und umgekehrt. Für die Zahnmedizin relevant sind insbesondere die Stoffe Wasser, Hämoglobin, Porphyrin, Pigmente (Melanin) und Hydroxylapatit. Sie absorbieren die Laserenergie in unterschiedlicher Stärke, die im Wesentlichen von der Wellenlänge, der Leistung und der Dauer der Bestrahlung abhängt. Durch Steuerung dieser Parameter kann der Behandler die beabsichtigten photochemischen, thermischen oder ablativen Effekte erreichen<sup>16</sup>.

Die verschiedenen Laser haben charakteristische Wellenlängen, wobei die Laserstrahlung sich umso energiereicher gestaltet, je kürzer die Wellenlänge ist. Nd:YAG-Laser arbeiten mit 1.060 nm, Er:YAG-Laser mit 2.940 nm, CO<sub>2</sub>-Laser mit 10,6 µm (10.600 nm) und Diodenlaser mit kürzeren Wellenlängen von 400 bis 1.000 nm. Erst kürzlich wurde die für die Zahnmedizin relevante Auswahl an Diodenlasern um eine blaue Wellenlänge erweitert<sup>4</sup>. Der 445-nm-Halbleiterlaser (SIROLaser Blue, Fa. Dentsply Sirona, Bensheim) hat seine primäre Indikation im Bereich der invasiven Hardlaser. Erste, noch nicht veröffentlichte Studienergebnisse weisen allerdings auch auf biostimulative Effekte hin.

### Laser im blauen Wellenlängenbereich

Was unterscheidet die Wellenlänge 445 nm von anderen Wellenlängen? Blaues Laserlicht wird im Wasser im Vergleich zu konventionellen Halbleiterlasersystemen geringer absorbiert (Abb. 1) und dringt aufgrund seiner kurzen Wellenlänge weniger tief in das Gewebe ein<sup>4</sup>. Das Absorptionsmaximum pigmentierter Zellen liegt im Bereich von etwa 430 nm<sup>2,14</sup>. Aufgrund des hohen Absorptions- und damit auch Energieeintrags kann mit der 445-nm-Diode eine höhere Schneidleistung als mit infrarotem Laserlicht erzielt werden. Das erlaubt in den oberen Gewebeschichten ein Schneiden im Non-Kontakt-Verfahren, was mit herkömmlichen Halbleiterlasern im höheren Wellenlängenbereich nicht möglich ist. Da die Faser nicht auf das Gewebe aufgesetzt wer-



**Abb. 1** Absorptionskoeffizienten körpereigener Chromophore im Gewebe, modifiziert nach Beard<sup>2</sup> mit Markierung der Halbleiterlaserwellenlängen 445, 810 und 980 nm. HbO<sub>2</sub> = Oxyhämoglobin, HHb = Desoxyhämoglobin

den muss, kommt es auch zu keiner Koagelbildung an der Faserspitze, was die Praktikabilität durch Wegfall einer wiederholten Faserreinigung erhöht. Aufgrund der sofortigen Koagulation behält der Behandler eine ungetrübte Sicht auf das Operationsfeld, so dass er präzise arbeiten kann.

### Indikationen zur Verwendung eines 445-nm-Lasers

Die Anwendungsmöglichkeiten eines 445-nm-Lasers (Abb. 2) erstrecken sich auf praktisch alle Fachbereiche der Zahnmedizin (Tab. 2). Chirurgische Eingriffe wie z. B. eine maxilläre Frenektomie gestalten sich unter diesen Bedingungen sehr effektiv. Im Fall der in den Abbildungen 3 bis 6 dargestellten Frenektomie reichte aufgrund des gut durchbluteten Gewebes eine Laserleistung von anfänglich 1,6 W im Dauerstrichmodus („continuous wave“, CW) zur Durchtrennung der oberen Gewebeschichten im Nicht-Kontaktmodus aus. Im tiefer liegenden Faserbereich wurde auf 2 W umgestellt, und die Schnitte, mit denen das Frenulum vom Periost gelöst wurde, erfolgten im Kontaktmodus. Durch die Verwendung des blauen Laserlichts konnte das Operationsfeld blutungsarm und das Arbeitsfeld übersichtlich gehalten werden.

## ZAHNHEILKUNDE ALLGEMEIN

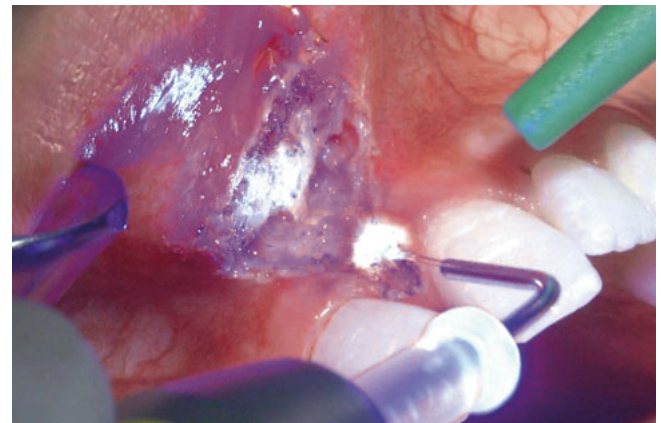
Auf neuen Wegen – Der 445-nm-Laser in der klinischen Anwendung



**Abb. 2** Lasersystem der Wellenlängen 445, 660 und 970 nm mit vorwählbaren Laserparametern und aufsteckbaren Arbeitsansätzen verschiedener, indikationsbezogener Faserdurchmesser



**Abb. 3** Tief in die Papille einstrahlendes Lippenbändchen mit eingeschränkter Lippenmobilität



**Abb. 4** Maxilläre Frenektomie mit Ablösung der einstrahlenden Fasern vom Periost mit einem 445-nm-Laser. Verwendung einer 320-µm-Faser bei einer Leistung von 2 W im Dauerstrichmodus



**Abb. 5** Zustand 1 Woche nach Frenektomie. Reizloses Wundgebiet mit erwartungsgemäß vorhandenem Fibrinbelag ohne Anzeichen einer Nachblutung



**Abb. 6** Wundnachkontrolle 1 Monat nach maxillärer Frenektomie. Wundgebiet vollständig verheilt, keine Beeinträchtigung der Mobilität der Oberlippe



**Tab. 2** Indikationen für die Anwendung eines 445-nm-Lasers. Die Aufstellung umfasst beschriebene oder abgeleitete Anwendungsmöglichkeiten

Bereich	Zweck	Anwendung
Chirurgie	Schleimhautinzision	<ul style="list-style-type: none"> <li>• operativer Zugang</li> <li>• Abszessspaltung</li> </ul>
	Schleimhautexzision	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibromentfernung</li> <li>• Epulisentfernung</li> <li>• Frenektomie</li> <li>• Gingivektomie</li> <li>• Gingivoplastik</li> <li>• Operkulektomie</li> <li>• Implantatfreilegung</li> </ul>
	Blutstillung Wundheilung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koagulation</li> <li>• Biostimulation</li> </ul>
Endodontie	Keimreduktion Wundheilung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wurzelkanaldesinfektion</li> <li>• Biostimulation periapikaler Gewebe</li> </ul>
Parodontologie	Keimreduktion Wundheilung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desinfektion parodontaler Läsionen</li> <li>• Biostimulation parodontaler Gewebe</li> </ul>
Implantologie	Keimreduktion Wundheilung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desinfektion bei Periimplantitis</li> <li>• Biostimulation periimplantärer Gewebe</li> </ul>
Zahnerhaltung	Polymerisation Wirkstoffverstärkung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompositaushärtung</li> <li>• Zahnaufhellung</li> </ul>
Prothetik	Sulkuserweiterung	• Darstellung von Präparationsrändern
Kieferorthopädie	Verbundschwächung	• Bracketentfernung

Bei der Entfernung eines Operculums von der Unterfläche des Zahnes 38 (Abb. 7 bis 10) wurde der 445-nm-Laser mit einer Leistung von 1,8 W im CW-Modus betrieben. Die präzise Strahlenführung über die Faser reduziert den thermischen Eintrag auf das umliegende Gewebe, so dass von einer eng begrenzten und beherrschbaren Wärmeentwicklung ausgegangen werden kann (Abb. 11). Das Risiko unbeabsichtigter Verletzungen von tief liegenden oder benachbarten Strukturen wie einer vitalen Pulpa – beispielsweise im Rahmen der Desinfektion parodontaler Läsionen – sollte bei korrekter Anwendung nicht vorhanden sein. Laufende eigene Studien legen den vorläufigen Schluss nahe, dass es bei dem 445-nm-Laser ähnlich wie bei Polymerisationslampen zu keiner klinisch relevanten Temperaturerhöhung kommt<sup>5</sup>.

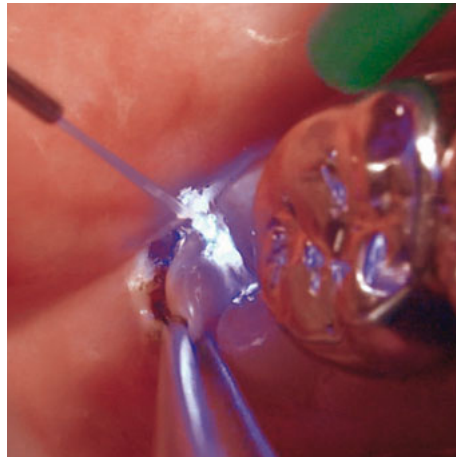
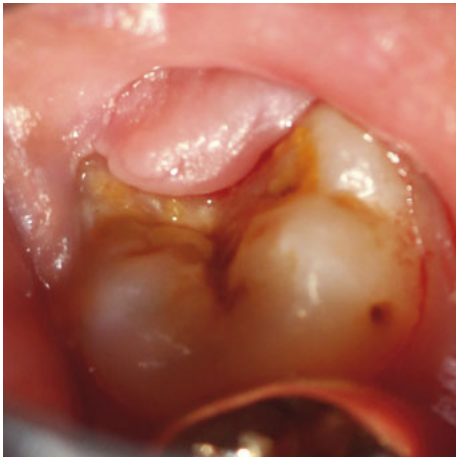
In einer noch nicht abgeschlossenen, klinisch kontrollierten und prospektiven Parallelfallstudie wird in der eigenen Arbeitsgruppe die Keimreduktion mit dem 445-nm-Lasersystem bei der endodontischen Behandlung untersucht. Eine vorangegangene In-vitro- und

auch eine In-vivo-Untersuchung konnten zeigen, dass der Einsatz eines 445-nm-Diodenlasers nach einer vorherigen konventionellen Spülung mit Natriumhypochlorit eine weitere Bakterienelimination bewirkte<sup>6,18</sup>. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass eine adjuvante Anwendung im Rahmen einer konventionellen chemomechanischen Wurzelkanalbehandlung zu einer weitreichenden Elimination von Bakterien führen kann, die ansonsten im Wurzelkanalsystem zurückgelassen würden.

Bei bakteriellen Erkrankungen stellt die systematische Parodontitistherapie eine weitere mögliche Indikation für die blaue Lasertechnologie dar. In einer In-vitro-Voruntersuchung konnte gezeigt werden, dass sich mit dem 445-nm-Laser auch parodontalpathogene Bakterien abtöten lassen. Eine zurzeit anlaufende, multizentrisch angelegte, prospektive und klinisch kontrollierte In-vivo-Studie wird in absehbarer Zeit Aufschluss über einen möglichen adjunktiven Effekt auf die Heilung parodontal erkrankter Gewebe geben können.

**ZAHNHEILKUNDE ALLGEMEIN**

Auf neuen Wegen – Der 445-nm-Laser in der klinischen Anwendung



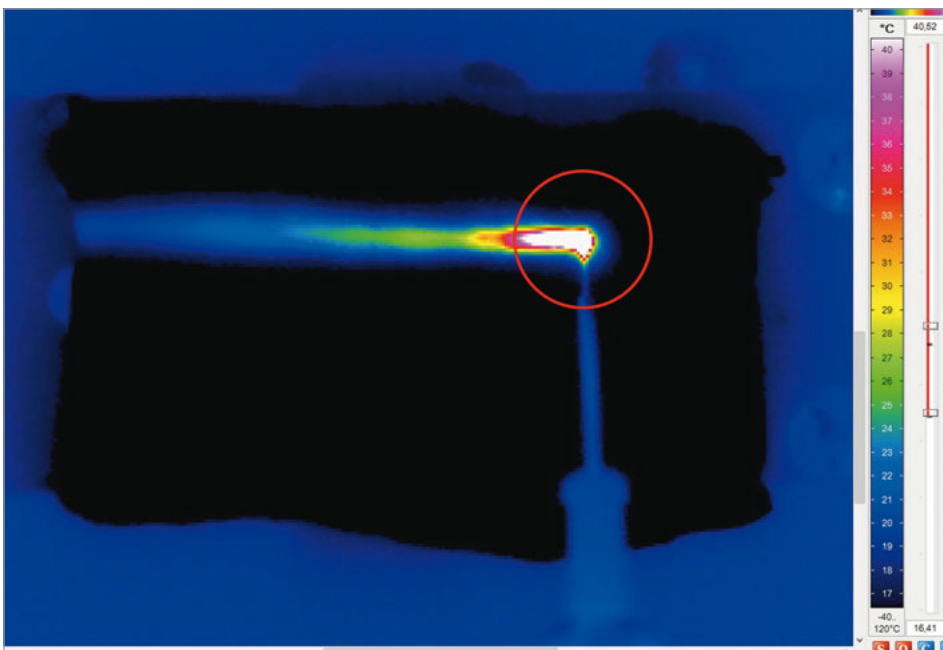
**Abb. 7** Gewebelappen (Operculum) über dem teilweise durchgebrochenen Zahn 38. Der Patient beklagte rezidivierende Entzündungen des überhängenden Gewebes

**Abb. 8** Operkulektomie mit einem 445-nm-Laser. Verwendung einer 320- $\mu$ m-Faser bei einer Leistung von 1,8 W im Dauerstrichmodus



**Abb. 9** Postoperativer Zustand ohne Anzeichen starker Blutungen

**Abb. 10** Klinische Situation 2 Wochen nach erfolgter Operkulektomie. Reizloses Wundgebiet mit geringem Fibrinbelag



**Abb. 11** Thermografische Darstellung bei einer Gewebezision. Örtlich begrenzte Wärmeentwicklung im Bereich der Arbeitsspitze (rote Markierung)



## Weitere Indikationen

Aufgrund seiner Parameter ermöglicht der 445-nm-Laser zahlreiche Indikationen in der Chirurgie, Implantologie, Prothetik, Endodontie und Parodontologie. Er kann für Manipulationen an der freien Gingiva, der befestigten Gingiva, der Alveolarmukosa, der Wangenschleimhäute sowie der Gaumen- und Zungenschleimhaut angewendet werden. Neben den bereits dargestellten Indikationen der Frenektomie bei Kindern und Erwachsenen, der Operkulektomie und der Keimreduktion eröffnen sich dem Behandler damit weitere Einsatzbereiche bei der Notwendigkeit von Gewebinzisionen und -exzisionen. So lassen sich Abszesse im Mundraum schonend eröffnen. Auch Gewebewucherungen wie Fibrome oder Speichelretentionszysten können mit dem 445-nm-Laser minimalinvasiv entfernt werden. Dabei braucht in der Regel keine Konditionierung der Faser vorgenommen werden, wie es bei konventionellen Halbleiterlasern meist notwendig ist. Durch die koagulierende Wirkung können Nahtlegung und -entfernung entfallen<sup>7</sup>. Bei korrekt eingestellten Parametern – im gezeigten Fall der Exzision mit 2 W im CW-Modus und einer 320- $\mu$ m-Faser – wird eine Karbonisierung vermieden und ein histologisch gut beurteilbares Gewebepreparat gewonnen (vgl. Abb. 4).

Bei chirurgischen Eingriffen zum Abtrag oder zur Formung der Gingiva (Gingivektomie/Gingivoplastik) bietet sich der 445-nm-Laser als schonende Alternative zum Skalpell oder zu elektrochirurgischen Instrumenten an. Das spricht auch für eine Laseranwendung bei einer Entzündung der Weichgewebe am nur partiell durchgebrochenen Zahn (Perikoronitis).

In der geriatrischen Zahnheilkunde werden möglichst minimalinvasive Therapiekonzepte angestrebt. Das Entfernen von Fibromen im Rahmen der systematischen Therapie einer fibromatösen Prothesenstomatitis kann als altersgerechtes, den Patienten durch Vermeidung starker Blutungen schonendes Vorgehen angesehen werden.

Als weitere chirurgische Einsatzoption lässt sich die Implantatfreilegung anführen, da es hierbei aufgrund der koagulierenden Wirkung des 445-nm-Lasers nur zu geringfügigen Blutungen und zu einer absehbaren

Wundheilung kommt. Thermische Auswirkungen auf das Implantat können bei protokollgemäßer Anwendung vermieden werden.

## Bewertung

Die Eigenschaften bzw. Wirkungen der Laserstrahlung speziell mit einer Wellenlänge von 445 nm lassen sich im Vergleich zu herkömmlichen Therapiemethoden als weniger invasiv bewerten. Im Rahmen chirurgischer Eingriffe dringt blaues Laserlicht aufgrund seiner im Vergleich zu konventionellen Halbleiterlasern kürzeren Wellenlänge weniger tief in ein Zielgewebe ein, so dass durch die geringere Penetrationstiefe die Gefahr von unbeabsichtigten Verletzungen tief liegender Schichten verringert und die Strahlführung präzisiert werden kann. Da der thermische Energieeintrag des Lasers in das umliegende Gewebe wegen der geringen Absorption in Wasser verringert ist, resultieren blutungsarme Schnitte mit räumlich begrenzter Hitzewirkung. Eine minimale Zellschädigung, geringere Blutungen, eine absehbare Wundheilung ohne Narbenzug und zu vernachlässigende postoperative Ödeme mit reduzierter Einnahme von Analgetika nach dem Eingriff konnten beobachtet werden. Gegenüber herkömmlichen Therapien mit dem Skalpell oder elektrochirurgischen Instrumenten ist das Laserverfahren substanzschonend, da nicht mehr Abtrag als nötig erfolgt und nur ein sehr geringes Risiko der Verletzung tiefer liegender Strukturen besteht.

Die Behandlung mit dem Laser verursacht einen nur minimalen Wundschmerz, ist aber nicht gänzlich schmerzfrei. Aufgrund des in der Regel nicht notwendigen Nahtverschlusses der Wunde bei kleinen chirurgischen Eingriffen muss zudem auch kein Zweiteingriff zur Nahtentfernung erfolgen. Die höhere Schneidleistung des 445-nm-Lasers im Vergleich zu konventionellen Infrarot-Halbleiterlasern, auch im Non-Kontakt-Verfahren, vereinfacht zusammen mit einem weitgehend blutungsfreien Operationssitus den Umgang mit dem Laser.

Eine definitive Aussage zur parodontalen und endodontischen Keimreduktion, wie sie für Wellenlängen im Infrarotbereich bereits klinisch belegt ist<sup>1,3,8,12</sup>,

## ■ ZAHNHEILKUNDE ALLGEMEIN

Auf neuen Wegen – Der 445-nm-Laser in der klinischen Anwendung

kann erst nach Abschluss laufender Studien getroffen werden. Erste Ergebnisse zu antimikrobiellen Effekten mit dem 445-nm-Laser weisen aber bereits auf entsprechende Einsatzgebiete hin.

### Ausblick

Bisherige Erfahrungen mit dem 445-nm-Laser in den Bereichen Chirurgie, Endodontie und Parodontologie sind positiv zu bewerten. Weiterhin deuten die Ergebnisse erster diesbezüglicher Studien darauf hin, dass die blaue Wellenlänge auch biostimulative Effekte im Rahmen der Low-Level-Laser-Therapie (LLLT) induzieren kann, um Wundheilungsprozesse zu unterstützen. Erste Versuche, den Blaulichtlaser für die lokalisierte

Einzelzahnaufhellung einzusetzen, verlaufen vielversprechend und könnten eine weitere Anwendungsmöglichkeit in der Zahnheilkunde bieten.

Zwar scheinen auf Lasertechnik basierende Therapieverfahren alleine in vielen Fällen oftmals zu Resultaten zu führen, die auch mit konventionellen Methoden erreicht werden können. Betrachtet man allerdings laserbasierte Behandlungsmaßnahmen wie die Anwendung des 445-nm-Lasers unter dem Aspekt einer adjuvanten Therapie, kann der Einsatz von Lasern die Ergebnisse konventioneller Behandlungsprotokolle verbessern und den Therapieerfolg insgesamt positiv beeinflussen. Somit ist es möglich, dass sich das blaue Laserlicht künftig auch als Teil von Standardtherapien etabliert.

### Literatur

1. Assaf M, Yilmaz S, Kuru B, Ipci SD, Noyun U, Kadir T. Effect of the diode laser on bacteremia associated with dental ultrasonic scaling: a clinical and microbiological study. *Photomed Laser Surg* 2007;25:250-256.
2. Beard P. Biomedical photoacoustic imaging. *Interface Focus* 2011;1:602-631.
3. Bumah VV, Masson-Meyers DS, Cashin SE, Enwemeka CS. Wavelength and bacterial density influence the bactericidal effect of blue light on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Photomed Laser Surg* 2013;31:547-553.
4. Braun A, Berthold M, Frankenberger R. Der 445-nm-Halbleiterlaser in der Zahnmedizin – Einführung einer neuen Wellenlänge. *Quintessenz* 2016;66:205-211.
5. Braun A, Pleier F, Lulic P, Wenzler J-S, Roggendorf MJ, Frankenberger R. Wärmeentwicklung im Cavum dentis während der Anwendung von LED-Polymerisationslampen. *Dtsch Zahnärztl Z* 2016;71:D28.
6. Braun A, Seifert T, Schweizer RK et al. Bacterial reduction of infected root canals with a novel 445nm diode laser. *J Dent Res* 2016;95(Spec Iss A):1084.
7. Capodiferro S, Maiorano E, Scarpelli F, Favia G. Fibrolipoma of the lip treated by diode laser surgery: a case report. *J Med Case Rep* 2008;2:301.
8. Enwemeka CS. Antimicrobial blue light: an emerging alternative to antibiotics. *Photomed Laser Surg* 2013;31:509-511.
9. Gabrić Pandurić D, Blašković M, Brozović J, Sušić M. Surgical treatment of excessive gingival display using lip repositioning technique and laser gingivectomy as an alternative to orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2014;72:404.e1-e11.
10. Gokhale SR, Padhye AM, Byakod G, Jain SA, Padbidri V, Shivaswamy S. A comparative evaluation of the efficacy of diode laser as an adjunct to mechanical debridement versus conventional mechanical debridement in periodontal flap surgery: a clinical and microbiological study. *Photomed Laser Surg* 2012;30:598-603.
11. Gutknecht N, Franzen R, Schippers M, Lampert F. Bactericidal effect of a 980-nm diode laser in the root canal wall dentin of bovine teeth. *J Clin Laser Med Surg* 2004;22:9-13.
12. Kim S, Kim J, Lim W et al. In vitro bactericidal effects of 625, 525 and 425 nm wavelength (red, green, and blue) light-emitting diode irradiation. *Photomed Laser Surg* 2013;31:554-562.
13. Kreisler M, Köhnen W, Beck M et al. Efficacy of NaOCl/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> irrigation and GaAlAs laser in decontamination of root canals in vitro. *Lasers Surg Med* 2003;32:189-196.
14. Naqvi KR. Screening hypochromism (sieve effect) in red blood cells: a quantitative analysis. *Biomed Opt Express* 2014;5:1290-1295.
15. Niemi MH. Laser-tissue interactions – Fundamentals and applications. 3. ed. Berlin: Springer, 1996.
16. Romanos GE. Diode laser soft-tissue surgery: advancements aimed at consistent cutting, improved clinical outcomes. *Compend Contin Educ Dent* 2013;34:752-758.
17. Romanos GE, Gutknecht N, Dieter S, Schwarz F, Crespi R, Sculean A. Laser wavelengths and oral implantology. *Lasers Med Sci* 2009;24:961-970.
18. Wenzler J-S, Roggendorf MJ, Frankenberger R, Braun A. Adjuvante Keimreduktion im Wurzelkanal durch Einsatz eines Halbleiterlasers. *Dtsch Zahnärztl Z* 2016;71:D20.
19. Wilson SW. Medical and aesthetic lasers: semiconductor diode laser advances enable medical applications. *BioOptics World* 2014;7:21-25.