

Erbiumlaser – Ein Blick hinter die Kulissen

Vor mehr als 20 Jahren wurde der Erbium:YAG-Laser in der dentalen Praxis erstmalig eingesetzt. Im Laufe dieser Zeitspanne konnte das Indikationsspektrum des ursprünglich für die Kavitätenpräparation konzipierten Lasers durch die kontinuierliche Weiterentwicklungen auf einzelne Bereiche der Chirurgie, Parodontologie und Endodontie ausgedehnt werden. Dieser Artikel erläutert die grundlegenden technisch-physikalischen Aspekte dieser Geräteklasse und zeigt eine Übersicht der momentan auf dem Markt erhältlichen Geräte.

■ Seit 1988 sind die Erbiumlaser für die Kavitätenpräparation die meist verwendeten Lasersysteme in der Zahnheilkunde. Ihre Emissionswellenlängen liegen im Spektralbereich zwischen 2,6–3 μm und sind perfekt an das Maximum der Wasserabsorption und an die Absorption in den OH^- -Gruppen, die Bestandteile des dentalen Hartgewebes sind, angepasst. Zwei Erbium-Lasersysteme kommen in der Zahnheilkunde bevorzugt zum Einsatz: Zum einen der Erbium:YAG-Laser (Er:YAG) mit seiner Emissionswellenlänge von 2,94 μm und zum anderen der Erbium,Chromium:YSGG-Laser (Er,Cr:YSGG) mit 2,79 μm . Beide Wellenlängen liegen im Bereich des mittleren Infrarot (MIR) und sind somit für das Auge nicht wahrnehmbar.

Das Erbium gehört zu den Elementen der „Seltenen Erden“ (Lanthaniden) und wird als laseraktives Element (Er^{3+} Ion) in eine synthetische, für die Laserwellenlänge transparente Trägermatrix oder Wirtskristall eingebettet (dotiert). Der Laserübergang, d.h. die Erzeugung des Laserlichtes, findet im Erbiumion (Er^{3+}) selbst statt. Für die Erzeugung der unterschiedlichen Emissionswellenlängen werden verschiedene Trägermatrizen mit Erbiumionen dotiert. Kommerziell werden momentan zwei Wirtskristalle, bestehend aus Yttrium-Aluminium-Granat (YAG, $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) und Yttrium-Scandium-Gallium-Granat (YSGG, $\text{Y}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$) verwendet. Beim Er,Cr:YSGG-Laser wird zusätzlich zum Erbium ein zweites Dotierungselement, Chromium, ebenfalls in Form von Ionen (Cr^{3+}), in den Wirtskristall eingebracht. Dies hat keinen Einfluss auf die Emissionswellenlänge des Lasers, steigert aber die Pumpeffizienz bei Blitzlampenbetrieb. Generell werden diese Lasertypen mittels Blitzlampe angeregt. Dies impliziert eine physikalische Einschränkung: Aufgrund der langen Lebensdauer des unteren Laserniveaus können diese Laser nicht als Dauerstrichlaser (cw-Laser) fungieren. Im Pulsbetrieb können die Erbiumlaser jedoch bis zu einer Pulswiederholrate von 50 Hz und Durchschnittsleistungen von 20 W bei Pulsenergien von 1 J betrieben werden.

Die Erbiumlaser gehören zur Familie der Festkörperlaser. Die geometrischen Abmessungen der Laserstäbe, wie sie typischerweise in den Dentallasern eingesetzt werden, liegen bei Durchmessern zwischen 3–6 mm und Längen von 80 bis 100 mm. Dies hängt von der Geometrie der Pumpkavität, des Resonators und der gewünschten Ausgangsenergie des Systems ab. Die derzeit am Markt erhältlichen Geräte bieten eine große Va-

riationsbandbreite der physikalischen Parameter an. Pulswiederholrate, Durchschnittsleistung, Pulsenergie und Pulsdauer lassen sich in verschiedenster Weise einstellen. Zu den vorher bereits erwähnten Betriebsdaten kommen noch Einstellwerte von Pulsdauern im Bereich zwischen 50 und 1.000 μs hinzu.

Je nach Hersteller sind die Erbiumlaser in den verschiedenen Varianten erhältlich. Es gibt sowohl die klassischen Einzellasergeräte als auch Kombinationslasergeräte, in denen mehrere Laser integriert sind, so z.B. Er:YAG- und Nd:YAG-Laser, Er:YAG- und CO_2 -Laser oder Er:YAG- und Diodenlaser. Auch bietet ein Hersteller ein sogenanntes Feedback-System für die selektive Entfernung von Konkrementen am Zahnhals unter Schonung des Wurzelzements an. Auch bei der Lichtübertragung vom Laser zum Patienten gibt es die unterschiedlichsten Ausführungen. Das Erbiumlicht kann über einen Spiegelgelenkarm, eine Lichtleitfaser oder mittels Hohlwelle vom Gerät zum Handstück geleitet werden. Meist findet im Handstück eine 90-Grad-Umlenkung statt. Ausgekoppelt wird die Strahlung durch ein Fenster (Non-contact Handstück) oder einen Applikator-Tip für die Quasi-Kontaktnutzung am Zahn. Bei ersterem, dem Non-contact Handstück, ist eine Fokussierung des Strahls notwendig, wodurch sich der Arbeitspunkt zwischen 6 und 8 mm hinter dem Auskoppelfenster, abhängig vom Hersteller, befindet.

Physikalisch unterscheiden sich die Geräte zusätzlich bezüglich des räumlichen und zeitlichen Strahlprofils des emittierten Laserpulses. In Abhängigkeit des verwendeten Lichtübertragungssystems verändert sich das räumliche Strahlprofil, die sogenannte TEM-Mode. Sie beschreibt die räumliche Intensitätsverteilung des Lichtfeldes im Laserresonator und ist das direkte Ergebnis der hohen Kohärenz des Laserlichtes. Anzumerken ist, dass die Ausbildung der TEM-Mode eine Resonatoreigenschaft ist und sich somit auch auf alle anderen Lasersysteme übertragen lässt. Sie ist nicht Erbiumlaser spezifisch.

Bei der Applikation der Laserstrahlung mittels eines Spiegelgelenkarmes bleibt das TEM-Modenprofil erhalten. Wird jedoch das Laserlicht durch eine Faser geleitet, so wird dieses Modenprofil aufgrund auftretender Laufzeitdifferenzen homogenisiert. Am distalen Ende der Faser tritt das Laserlicht mit einer nahezu gaußförmigen Verteilung aus (TEM_{00} -Mode). Auch bei einer Hohlwelle als Lichtübertragungssystem erscheint bei großen Bie-

geradien die Intensitätsverteilung gaußförmig. Bei stärkerer Biegung kann sich das distale Strahlprofil in Form von Halbmonden oder Ringstrukturen verzerren, was mit der ursprünglich eingekoppelten TEM-Mode nichts mehr gemeinsam hat. Dies hat als Konsequenz, dass innerhalb des Strahlprofils selbst bei gleicher Pulsenergie völlig unterschiedliche lokale Energiedichten auftreten, deren Auswirkungen sich beim Gewebeabtrag manifestieren.

Die Pulsdauer eines Laserpulses wird durch sein zeitliches Profil beschrieben. Dieses verdeutlicht die Zeitspanne eines Pulses von seinem Beginn bis zu seinem Ende. Als Definition der Pulsdauer wird in der Regel die zeitliche Ausdehnung des Pulses bei halber Maximalintensität, die sogenannte FWHM-Breite (Full Width at Half Maximum), herangezogen.

Alle grundlegenden Wechselwirkungsprozesse lassen sich in Abhängigkeit der Einwirkzeit, d.h. durch die Pulsdauer eines Lasersystems bei gegebener Energiedichte beschreiben. Kurze Pulse liefern hohe Pulsspitzenleistungen. In Kombination mit der geeigneten Wellenlänge, fördert dies die Effizienz des Abtrags und verhindert einen höheren Temperatureintrag in das Gewebe. Wellenlänge und Pulsdauer sind demnach die ausschlaggebenden Faktoren, damit die Photoablation als athermische Wirkung für den Abtrag von Zahnhartsubstanz infrage kommt. Folgerichtig sind daher die Erbiumlaser momentan die am besten geeigneten Lasersysteme zur Bearbeitung der Zahnhartsubstanz.

Zum Abschluss sei hier noch auf die richtige Schreibweise hingewiesen. Bei den Erbiumlasern handelt es sich um erbiumdotierte Kristallstrukturen. Dieser Dotierungsprozess (Ionenbindung) wird in der richtigen Schreibweise (chem.) mit einem Doppelpunkt versehen. Somit gilt:

Nomenklatur: Erbium:YAG-Laser, Erbium,Chromium:YSGG-Laser oder voll ausgeschrieben Erbium dotierter YAG-Laser, Erbium und Chromium dotierter YSGG-Laser
Abkürzung: Er:YAG-Laser; Er,Cr:YSGG-Laser ■

Anmerkung der Redaktion
 Die folgende Übersicht beruht auf den Angaben der Hersteller bzw. Vertreiber. Wir bitten unsere Leser um Verständnis dafür, dass die Redaktion für deren Richtigkeit und Vollständigkeit weder Gewähr noch Haftung übernehmen kann.

■ **KONTAKT**

Dr. Jörg Meister
 Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde
 Universitätsklinikum Aachen
 Pauwelsstraße 30, 52074 Aachen
 Tel.: 02 41/8 08 90 88
 E-Mail: jmeister@ukaachen.de

Firma	Produkt	Art des Lasers										Wellenlänge		Betriebsart je Wellenlänge		Strahlprofil je Wellenlänge		Kalibriersystematik		Preis (netto)						
		Er:YAG-Laser	Er,Cr:YSGG	Kombilaser (Er:YAG-1 und CO ₂ -Laser ²)	Kombilaser (Er:YAG-1 und Diode-Laser ²)	Kombilaser (Er:YAG-1 und Nd:YAG-Laser ²)	810 nm	1.094 nm	2.780 nm	2.940 nm	10.600 nm gepulst	gepulst/cw	variabler Puls	YSP-Technologie	SP	Millimode	Gaß	Zylindrisch/cw	Rechteck		Impulsspitzen intern	extern	Eigenkalibrierung	1-Jahr	2-Jahre	
Biolase Technology	Waterlase MD	●					●			●					●											64.900,00 €
Biolase Europe	Waterlase™ YSGG	●					●			●					●											54.000,00 €
	Waterlase C100	●					●			●					●											32.000,00 €
DEKA Lasertechnol.	DEKA Smart 2940D Plus	●					●			●				●												30.000,00 €
elexxion	elexxion duros	●					●			●				●							●	●				49.000,00 €
	elexxion delos		●		● ²		● ¹			●				●							●	●				59.000,00 €
Henry Schein	Fidelis Plus III , Fidelis Plus IIIId			●		● ⁴	● ¹			●				●						●	●					58.900,00 €
	Fidelis III Er:YAG	●					●			●				●						●	●					45.000,00 €
KaVo Dental	KaVo KEY Laser 3 ⁺	●					●			●										●	●					53.950,00 €
NMT München	OpusDuo Aqualite		●				● ¹		● ³	●				●			●	●	●	●	●	●				54.500,00 €
	LiteTouch	●					●			●				●						●	●		●*			44.500,00 €
Schütz Dental	WDL 2940	●					●			●				●						●	●					auf Anfrage
Syneron Dental	LiteTouch	●					●			●				●						●	●		●*			45.000,00 €

Die Marktübersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Stand: August 2009

* 3 Jahre