

Medizingeräte Diodenlaser



Bisher dominierten in der Medizin teure und große Lasersysteme. Effiziente Laserdioden mit einer Wellenlänge von 14xx nm bieten jetzt ganz neue Möglichkeiten.

Sichere Laser für tragbare Geräte

Die Wellenlänge
bestimmt die
Absorptionsart

Die photodynamische Therapie mithilfe von Lasern wird in der Dermatologie und Augenheilkunde meist dort genutzt, wo durch Licht eine ausgewählte Hautregion erhitzt werden soll, um eine Reaktion hervorzurufen. Das kann beispielsweise eine Gewebeerstörung sein. Das umgebende gesunde Gewebe soll dabei geschont werden [1-4]. Nur mit der richtigen Lichtquelle lässt sich ein gutes Resultat erzielen. Einfluss haben die Wellenlänge, Leistung, Impulsdauer (Einschaltdauer des Lasers), Wiederholfrequenz, auch Duty Cycle genannt, die Lichtfleck-

größe (Behandlungsgegend), Sicherheit, Einfachheit der Anwendung und natürlich auch die Kosten.

Für eine effektive Behandlung muss das Licht die Zielregion erreichen und vom Ziel absorbiert werden. Die Absorption ruft einen Temperaturanstieg hervor, der so kontrolliert werden muss, dass die gewünschte Temperatur im Ziel erreicht wird, die umgebende Region aber unbeschädigt bleibt. Ein Erhitzen innerhalb der Hautschichten kann durch die Absorption von Melanin, Wasser und Hämoglobin ausgelöst werden. Die Absorptionsart wird von der Wellenlänge bestimmt, mit der bestrahlt wird (Bild 1).

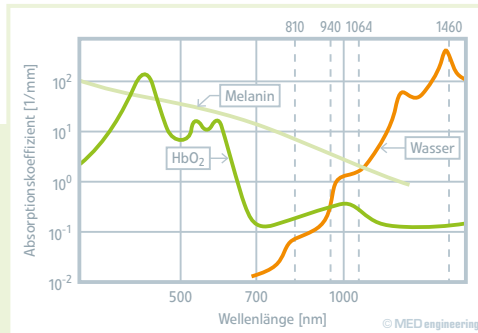
Bei handelsüblichen Lasersystemen mit Wellenlängen von 810, 940 und 1064 nm ist die Melaninabsorption dominierend. Bei einer Behandlung mit diesen Wellenlängen müssen Leistung und Pulsdauer an das Melaninvorkommen in der Behandlungsgegend [5, 6] angepasst werden. Hohe Melaninvorkommen absorbieren das Licht stärker, wodurch sich das Gewebe erwärmt. Das wiederum er-

Die Wellenlänge entscheidet:
Die 980 nm machen diesen Diodenlaser von Kavo für Chirurgie und Endodontie gewebeschonend



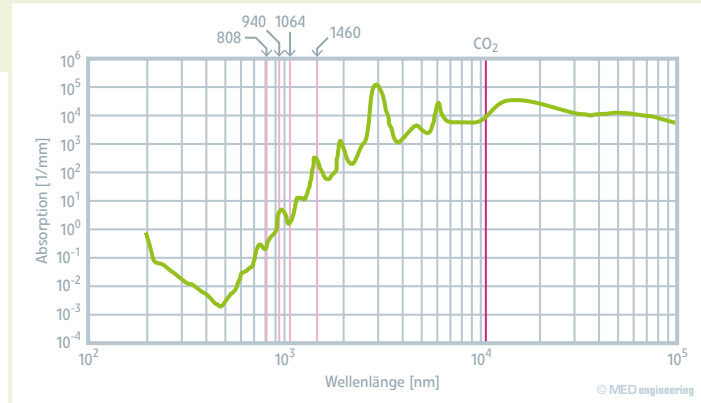
Bilder: Kavo Dental GmbH

MED engineering 5/6 2011



1 Absorptionsspektrum von Melanin, Wasser und Hämoglobin in Abhängigkeit von der Wellenlänge

2 Wasserabsorptionsspektrum: Die wichtigsten Laserwellenlängen sind 940, 1064 und 1460 nm



höht das Risiko, das umliegende Gewebe zu schädigen.

Lasersysteme mit Wellenlängen von 800 bis 1100 nm sind mit hohen Leistungen kommerziell verfügbar. In der Dermatologie lässt sich damit eine ausreichende Absorption und Eindringtiefe erzielen, um die gewünschte Reaktion hervorzurufen. Wellenlängen bei oder nahe 1460 nm sind jedoch vorteilhafter, da in diesem Spektrum die Absorptionsempfindlichkeit von Wasser um wenigstens zwei Größenordnungen höher ist als die von Melanin und Hämoglobin [7]. Eine Wellenlänge von 1460 nm wird in einer Tiefe absorbiert, in der die eigentliche subkutane Zielregion liegt [8]. Aufgrund der höheren Absorption können 1460-nm-Laser eingesetzt werden, die im Vergleich zu Lasern mit 800 bis 1100 nm mit einer geringeren Leistung arbeiten, aber eine vergleichbare Energieabsorption erzielen.

Neben der Wellenlänge spielt das Energieniveau auf der Haut eine wesentliche Rolle bei der Bestrahlung. Eine effiziente Behandlung, ohne die umgebenden Regionen zu schädigen, erfordert ein kontrolliertes Erhitzen des angrenzenden Gewebes. Die lokale Erhitzung wird durch das An- und Ausschalten des Lasers (Impulsdauer) in einer bestimmten Häufigkeit kontrolliert (Wiederholrfrequenz). Während der Impulsdauer wird das Licht absorbiert, und die Temperatur der Zielregion steigt an. Hitze breitet sich von der Zielregion auf die Umgebung aus. Ist die Impulsdauer zu lang, können sowohl Zielregion als auch die Umgebung Schaden nehmen. Wird der Laserpuls kurz abgeschaltet, kann sich die Hitze ausbreiten, ohne die Umgebung zu schädigen. Durch eine optimale Abstimmung von Impulsdauer und Wiederholrfrequenz lässt sich die gewünschte Temperatur in der Zielregion erhalten, während die

Umgebung kühler und somit schadfrei bleibt.

Neben der optischen Leistung und der Behandlungsdauer spielt die Größe des Lichtpunkts (Spot) eine entscheidende Rolle. Während ein kleiner Lichtpunkt zwar eine hohe Konzentration an optischer Energie ermöglicht, nimmt die Eindringtiefe durch die stärkere Streuung ab. Größere Lichtpunkte hingegen eignen sich für tiefere Ziele unter der Haut, da sie weniger Streuung verursachen. Gleichzeitig kann dabei eine größere Behandlungsfläche mit nur einer Sitzung bestrahlt werden. Der Nachteil ist, dass nur wenig optische Energie auf das Ziel aufgebracht wird.

Lichtpunktgröße bestimmt die Eindringtiefe

Für ein anwenderfreundliches und sicheres Lasersystem sollte die Wellenlänge so gewählt werden, dass weder der Bediener noch der Patient geschädigt wird. Laser mit Wellenlängen > 1400 nm werden als augensicherer angesehen. ▶

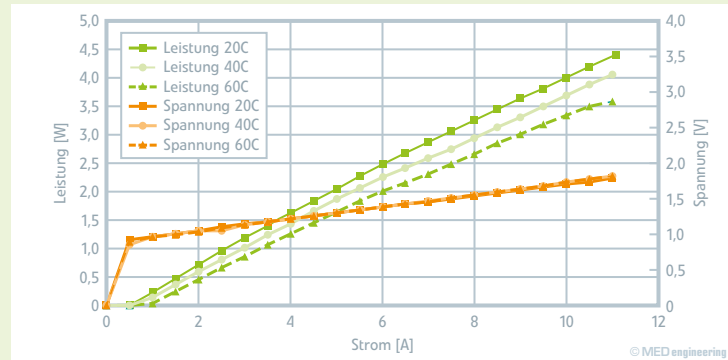
KONTAKT

LASER COMPONENTS GmbH
82140 Olching
Tel. +49 (0)8142 2864-0
Fax +49 (0)8142 2864-11
www.lasercomponents.com
LASER World of Photonics: B1.442

Medizingeräte Diodenlaser



3 Leistungs-, Strom- und Spannungskennlinie bei verschiedenen Temperaturen für eine auf einem temperaturgeregelten Kupferträger montierte 14xx-nm-Laserdiode

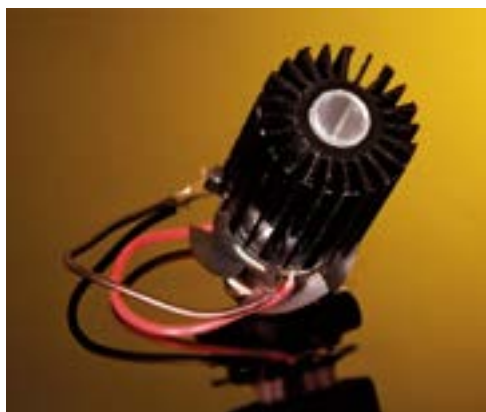


► Laser mit 1460 nm sind dabei wesentlich augensicherer als solche mit noch größeren Wellenlängen. Bild 2 zeigt, dass die Absorption von Wellenlängen < 1400 nm in Wasser geringer ist als die bei über 1400 nm. Da Licht mit einer Wellenlänge > 1400 nm zu einem großen Teil in der Hornhaut absorbiert wird, trifft weniger Licht auf die empfindliche Netzhaut, wodurch diese geschont wird. Bei Wellenlängen über 2000 nm ist die Wasserabsorption größer als bei 1460 nm, und die Absorptionstiefe der Horn-

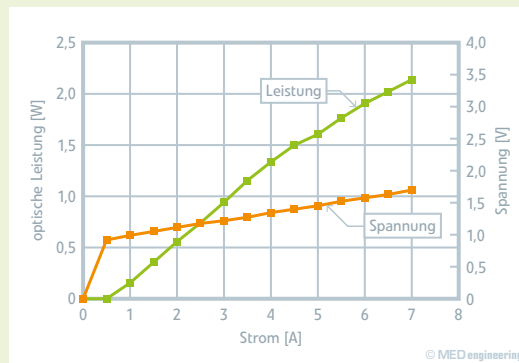
haut erreicht Werte in der Größenordnung von 0,1 mm. Aufgrund der geringen Absorptionstiefe ist die Grenze zur Schadensschwelle an der Hornhaut niedrig. Demzufolge sind Laser mit längeren Wellenlängen wie beispielsweise Erbium und CO₂, die bei 2940 nm beziehungsweise bei 10 600 nm emittieren, weniger sicher für das Auge als 1460-nm-Laser.

Die meisten photothermischen Anwendungen erfordern entweder einen Gaslaser (CO₂ bei 10 600 nm), einen Festkörperlaser (Nd:YAG bei 1064 nm) oder eine starke Pulsquelle (500 bis 1200 nm). Diese Systeme sind zwar effektiv, aber auch sehr groß und schwer (> 20 kg), was ihren Einsatz auf einen stationären Gebrauch in Kliniken oder Arztpraxen einschränkt. Konventionelle Laserdioden mit 1300 bis 1600 nm wiederum nutzt man in erster Linie in der Telekommunikation, wo Laser mit einigen 10 bis 100 mW mit hohen Frequenzen Daten übertragen. Um eine entsprechend hohe Leistungsdichte für medizinische Anwendungen zu erreichen, müssen daher mehrere Halbleiterlaser miteinander verbunden werden. Die Verbindung benötigt in leistungsstarken Systemen mehr Bodenfläche und Elektrizität und schränkt die Möglichkeit ein, sie als Massenware kostengünstig zu produzieren. Um diese Einschränkungen zu minimieren, wurde jeder dieser Aspekte überprüft. Mit dem Ziel, eine hohe Leistung und Effizienz bei erhöhten Temperaturen zu produzieren, wurde eine spezielle Laserstruktur entwickelt. Der optische Resonator ist so ausgelegt, dass die Verluste klein bleiben. Optimale Ergebnisse liefern eine Emittiergröße von 95 µm und ein Laserresonator von 2,5 mm Länge. Der längere Laserresonator verteilt die Hitze effizient und kühlt die aktive Region. Tests im Labor haben gezeigt, dass derartige Laserdiodenchips, assembliert auf einem thermoelektrisch kontrollierten Kupferträger, (Bild 3) optische Leistungen von > 5 W, eine elektrooptische Effizienz > 30 Prozent und einen Wirkungsgrad > 40 Prozent erreichen. Während höhere Temperaturen die optische Leistung be-

**Sicherer für
das Auge: 1460 nm**



4 **Komplette Laser Engine, bestehen aus Hochleistungslaserdiode, Kühlkörper, Ventilator und Linse**



5 Leistungs-, Strom- und Spannungskennlinie der Laser Engine

einflussen, erzielt der Laser bei einer Trägertemperatur von 60 °C immer noch eine Leistung von über 3,5 W und eine optische Effizienz von 26 Prozent. Die Eigenschaft, effiziente Betriebsparameter bei erhöhten Temperaturen aufrechtzuerhalten, ermöglicht eine Aufbau-Verbindungstechnik mit einer einfachen Luftkühlung. Da sich die Laserdiode bei erhöhten Temperaturen betreiben lässt und eine hohe optische Leistung liefert, profitiert der Systementwickler von einer wesentlich kleineren und kostengünstigeren Bauform.

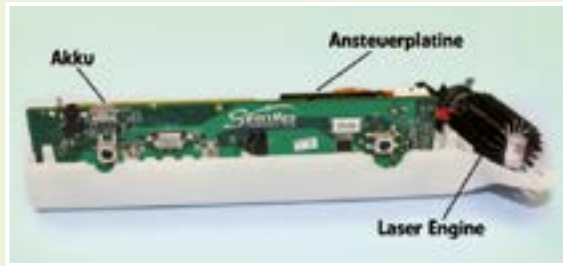
Das Einhalten der Arbeitstemperatur eines Lasers ist für die Einhaltung der Betriebsparameter kritisch. Daher ist ein Kühlkörper erforderlich. Hierzu wurde ein kleiner Träger entwickelt, auf dem die Laserdiode mit einer Standardaufbau-Verbindungstechnik assembliert ist. Der Träger sichert eine ausreichende Kühlung bei einem ständigen Stromfluss von > 8 A. Die assemblierte Laserdiode ist im gerippten Radialkühlkörper integriert. Ein Niedervolt-Ventilator auf der Rückseite des Kühlkörpers erlaubt die aktive Kühlung der gesamten Einheit. Auf der Stirnseite des Kühlkörpers ist eine Linse befestigt, um die gewünschte Spotgröße für die photothermische Behandlung zu erreichen. Die gesamte Einheit wird als Laser Engine [13] bezeichnet (Bild 4) und wiegt bei einer Größe von 25 x 45 mm (Durchmesser x Länge) weniger als 20 g. Leistungs-, Strom- und Spannungskennlinien für die Laser Engine zeigt Bild 5. Der Laser kann eine optische Leistung von über 2 W abgeben bei einer elektrisch-optischen Effizienz von 25 Prozent. Durch das Anpassen von Pulsdauer und Frequenz lässt sich die Energie, die die Einheit abgibt, mit der vergleichen, mit der man Akne [2, 3, 9, 10] und Falten [4, 11, 12] behandelt.

Hochleistungslaserdioden benötigen einen Betriebsstrom von bis zu 10 A. Dermatologische Behandlungen werden im Puls- oder Quasi-Dauerstrichmodus (QCW – quasi continuous wave) ausgeführt, bei dem die Pulsdauer einige Millisekunden beträgt. Handelsübliche Lasertreiber, die sowohl große Betriebsströme liefern als auch den QCW-Betrieb ermöglichen, eignen sich für Labore ▶

**Arbeits-
temperatur
beeinflusst
Laserleistung**

MEDengineering 5-6 2011

Medizingeräte Diodenlaser



6 Laserdiodensystem mit integrierter Laser Engine, Ansteuerlektronik und Akku

► und medizinische Zentren. Aber Größe, Gewicht und der erforderliche Netzanschluss machen diese Geräte für die Großserie und den Verbrauchermarkt ungeeignet, da sie nicht tragbar und teuer sind.

Daher hat SemiNex ein kleines, tragbares Laserbehandlungssystem entwickelt, das in hohen Stückzahlen kostengünstig produziert werden kann. Bei einer Größe von zirka 17 x 4 x 4 cm und einem Gewicht von lediglich 145 g integriert das System die Laser Engine, die Ansteuerlektronik und den Akku (Bild 6). Je nach Behandlung lassen sich verschiedene Betriebsparameter einstellen. Die Haut lässt sich somit kontrolliert erhitzen und abkühlen. Über einen USB-Anschluss werden Parameter wie Betriebsstrom, Pulslänge, Pulsfrequenz, Anzahl von Pulsfolgen (Bursts) sowie die Anzahl der Bursts, die wiederholt werden sollen, und die Zeit zwischen den einzelnen Bursts pro-

Kleine Engine für tragbare Geräte

Einstellbare Parameter	Min	Max	Einheit
Betriebsstrom	0	8	A
Pulslänge	1	500	ms
Pulsfrequenz	2	250	Hz
Anzahl von Pulsen/Burst	1	1000	
Pulsverzögerung	50	2000	ms
Anzahl von Pulszyklen	1	250	

A Einstellbare Parameter

grammiert. Die Einstellbereiche listet **Tabelle A** auf. Einmal programmiert, wird die Behandlung mit dem Auslöseknopf am Bediengriff ausgelöst. Der Bereich und die Auswahl der Parameter ermöglichen die Bestrahlung innerhalb einer bestimmten Zeit. Mit einer Linse, die einen 5 x 5 mm großen Fleck erzeugt, und mit den einstellbaren Parametern, kann das Laserdiodensystem mit einem einzigen Puls über 4,1 J/cm² abgeben.

Eine Studie sollte die Effektivität der nicht wärmeabsorbierenden Hauterneuerung und Aknereduktion bei der Behandlung mit der Laser Engine belegen. Für diese Studie wurde eine Laser Engine

mit einer Wellenlänge von 1460 nm eingesetzt, die einen Fleck von 5 x 5 mm ausleuchtet. Anders als bei vorangegangenen Studien [2, 4, 11], wurde zwischen den Pulsen nicht aktiv oder dynamisch topisch oder mit Kältesprühmittel gekühlt. Stattdessen wurde durch den Lüftungskanal an der Vorderseite der tragbaren Einheit eine leichte Konvektionskühlung durch den integrierten Ventilator erreicht. Dabei kamen keine Arzneimittel oder Salben zum Einsatz, um eventuelle Unannehmlichkeiten bei der Laserbehandlung zu reduzieren. Zehn Testpersonen wurden innerhalb von zehn Wochen jeweils einmal wöchentlich behandelt. Vor der Behandlung mussten sie das Gesicht mit einem Tuch, das mit 70 Prozent Isopropanol getränkt war, reinigen, um die Hautoberfläche von Öl zu befreien und teilweise zu denaturieren. Das minimiert die optische Absorption. Stirn, Augen- und Mundregion wurden bei jeder Testperson mehrmals behandelt. Jede Behandlungsfläche erhielt eine kontrollierte Dosis mit 1460 nm bei jedem Arbeitsgang. Die Behandlung lag zwischen zehn und 15 Minuten. Jede Behandlung wurde fotografisch dokumentiert. Im Durchschnitt schätzten die Testpersonen die Faltenreduktion im Augen- und Mundbereich auf > 25 bis 35 Prozent. Die Testpersonen, die gegen Akne behandelt wurden, berichteten von einer Verbesserung von über 50 Prozent. Weitere Personen- und In-vivo-Studien sollen gewährleisten, dass optimale Parameter bestimmt werden, die die gewünschten Langzeitergebnisse hervorrufen. ■

LITERATUR

[1] Junh J. Y., Choi, Yoon Y. S., Minn S. U., Suh D. H.: Comparison of a Pulsed Dye Laser and a Combined 585/1,064-nm laser in the Treatment of Acne Vulgaris; Dermatological Surgery, 35, 1181–1187, 2009

[2] Astner S., Tsao S.S.: Clinical Evaluation of a 1,450 nm Diode Laser as Adjunctive Treatment for Refractory Facial Acne Vulgaris; Dermatological Surgery, 34, 1054–1061, 2008

[3] Laubach H., Chan H. H., Rius F., Anderson R. R., Manstein D.: Effects of Skin Temperature on Lesion Size in Fractional Photothermolysis; Lasers in Surgery and Medicine, 39, 14–18, 2007

[4] Nouri K., Zhang Y. P., Singer L., Zhu L., Huo R., Ricotti C., Prodanovich S., Li J.: Effect of the 1,450 nm Diode Non-Ablative Laser on Collagen Expression in an Artificial Skin Model; Lasers in Surgery and Medicine, 37, 97–102, 2005

[5] Bhatt N., Alster T.: Laser Surgery in Dark Skin; Dermatological Surgery, 34, 184–195, 2008

[6] Chan H. H. L.: Effective and Safe Use of Lasers, Light Sources, and Radiofrequency Devices in the Clinical Management of Asian Patients with Selected Dermatoses; Lasers in Surgery and Medicine, 37, 179–185, 2005

[7] Carroll L., Humphreys T.R.: Laser-Tissue Interactions; Clinics in Dermatology, 24, 2–7, 2006

[8] Paithankar D., Ross E. V., Bilal A. S., Blair M. A., Graham B. S.: Acne Treatment With a 1,450 nm Wavelength Laser and Cryogen Spray Cooling; Lasers in Surgery and Medicine, 31, 106–114, 2002

[9] Bernstein E. F.: A Pilot Investigation Comparing Low-Energy, Double Pass 1,450 nm Laser Treatment of Acne to Conventional Single Pass, High Energy Treatment; Lasers in Surgery and Medicine, 39, 193–198, 2007

[10] Bernstein E. F.: Double-Pass, Low-Fluence Laser Treatment Using a Large Spot-Size 1,450 nm Laser Improves Acne; Lasers in Surgery and Medicine, 41, 116–12, 2009

[11] Tanzi E., Williams C. M., Alster T.: Treatment of Facial Rhytides with Nonablative 1,450 nm Diode Laser: A Controlled Clinical and Histological Study; Dermatological Surgery, 29, 124–128, 2003

[12] Kopera D., Smolle J., Kaddu S., Kerl H.: Nonablative laser treatment of wrinkles: meeting the objective? Assessment by 25 dermatologists; British Journal of Dermatology, 150, 936–939, 2004

[13] Callahan J. J., McIntyre E., Rafferty C., Yanushefski L., Bean D. M.: SemiNex Corporation, Low cost/high efficiency lasers for medical applications in the 14xxnm regime

MD110064
www.med-eng.de



JOHN J. CALLAHAN PH. D.
ist VP Engineering & Development bei der SemiNex Corporation in Peabody (MA, USA).
jcallahan@semnexus.com



WINFRIED REEB
ist Produktingenieur & Gruppenleiter bei LASER COMPONENTS in Olching.
w.reeb@lasercomponents.com

MEDengineering 5-6 2011