

# **Der Diodenlaser, richtig eingesetzt!**

Dr. med. dent. Gérald Mettraux, Bern 2011

**Die Diodenlaser sind für das Verständnis die kompliziertesten Laser, weil ihre Effekte oft nicht unmittelbar ersichtlich sind und auch tiefer gehen als oft erwünscht. Sie sind jedoch bereits in vielen Praxen vertreten und werden für die Biostimulation, für die PDT und für die Dekontamination von Taschen und Wurzelkanälen eingesetzt. Ihr breites Anwendungsgebiet und die Gefahr einer möglichen Schädigung des Auges veranlassen mich, dem Diodenlaser ein spezielles Kapitel in der Laserserie zu widmen.**

Vorab möchte ich die Bemerkung anbringen, dass Behandlungen mit einem Laser mit einer Leistung von mehr als 500 mW nur vom Zahnarzt(in) durchgeführt werden dürfen (SUVA).

Die Diodenlaser erzeugen das Laserlicht in einer Halbleiter-Diode. Dadurch können sie als Kleingeräte gebaut werden. Typische Diodenlaser im Alltag sind der Laserpointer, die optischen Speichergeräte, CD, DVD und BlueRay und der Laserdrucker.

Die Diodenlaser in der Medizin verwenden, entsprechend der Zusammensetzung der Halbleiter-Diode, Wellenlängen zwischen 600 und 980 nm. Demzufolge gibt es Diodenlaser, welche im sichtbaren Rotbereich strahlen (600-750nm) und solche, deren Strahlung von Auge nicht sichtbar ist (Infrarot, >750nm).

Zu den vielfältigen Anwendungen der Diodenlaser im Alltag und in der Zahnmedizin kommt seine wertvolle Eigenschaft hinzu, die es uns erlaubt mit Pigmenten, Enzymen und Farbstoffen in den Zellen arbeiten zu können.

Aus dem Absorptionsdiagramm in Abbildung 1 ist deutlich ersichtlich, dass die Wellenlängen der Diodenlaser (ca. 600 bis 900 nm) in ein optisches Fenster zu liegen kommen. Das heisst, dass sie tief ins Gewebe eindringen können, da sie von Wasser und Knochen kaum und nur von Pigmenten absorbiert werden.

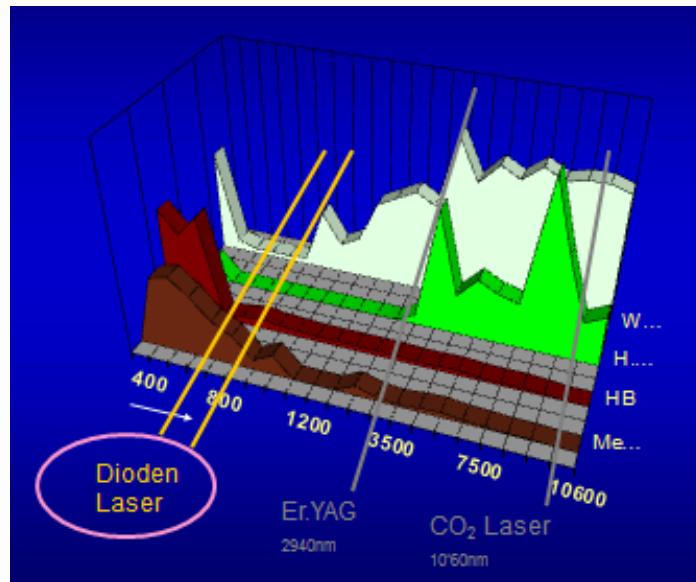


Abb. 1 Absorption der Diodenlaser in Wasser (weiss), Hydroxylapatit (grün), Hämoglobin (rot), Melanin (braun).

Die Energie der Diodenlaser dringt daher einerseits tief in wasserhaltiges Gewebe ein und kann von Zellen in tieferen Schichten genutzt werden (Biostimulation). Andererseits werden tiefer liegende Gewebe auch immer mitbestrahlt, auch wenn die Indikation der Diodenlaser Behandlung sich auf die Oberfläche beschränkt (Dekontamination in Taschen oder in den Wurzelkanälen, kleine chirurgische Behandlungen).

Dieser Effekt kann nun therapeutisch ausgenutzt werden, wenn man weiss, dass viele Pigmente in den Gewebezellen auf dieses Licht ansprechen. Die Zellen können durch die Kopplung mit Licht (600 bis ca. 900 nm) aktiviert werden. Je nach der Art und Funktion dieser lichtempfindlichen Enzyme werden damit enzymatische Prozesse wie die ATP Gewinnung in den Mitochondrien und proliferative Vorgänge durch Licht gefördert. Eine Biostimulation durch Proliferation von Geweben, Entzündungshemmung und Schmerzreduktion ist auf zellulärer Basis mit Licht möglich.

Die Modulation der enzymatischen Vorgänge ist jedoch stark leistungsabhängig. Weil bei den Primärreaktionen des Lichtes im Gewebe auch ein wenig Wärme entsteht, werden mit zunehmender Energiezufuhr durch den Laser die chemischen Vorgänge durch die Wärme gebremst. Werden die Enzyme durch die Lichteinwirkung und Wärmeentwicklung sogar denaturiert, ist kein stimulativer Vorgang mehr möglich und die Zelle stirbt sogar ab.

Diodenlaser mit einer Leistung kleiner als 500 milliWatt gehören zu den Softlasern. Ihre Leistung ist meistens zu schwach, um Zellen abzutöten.

In der Abbildung 2 wird diese Dosis abhängige Wirkung auf die Zellen im sog. Arndt-Schulz Gesetz deutlich erkennbar. Die biostimulative Wirkung nimmt mit zunehmender Energie zunächst zu, dann jedoch ab. Werden mehr als 25 Joules/cm<sup>2</sup> (log Skala) appliziert, stellt sich ein hemmender Effekt (Protein-Denaturierung, Hitze, Zelltod) ein.

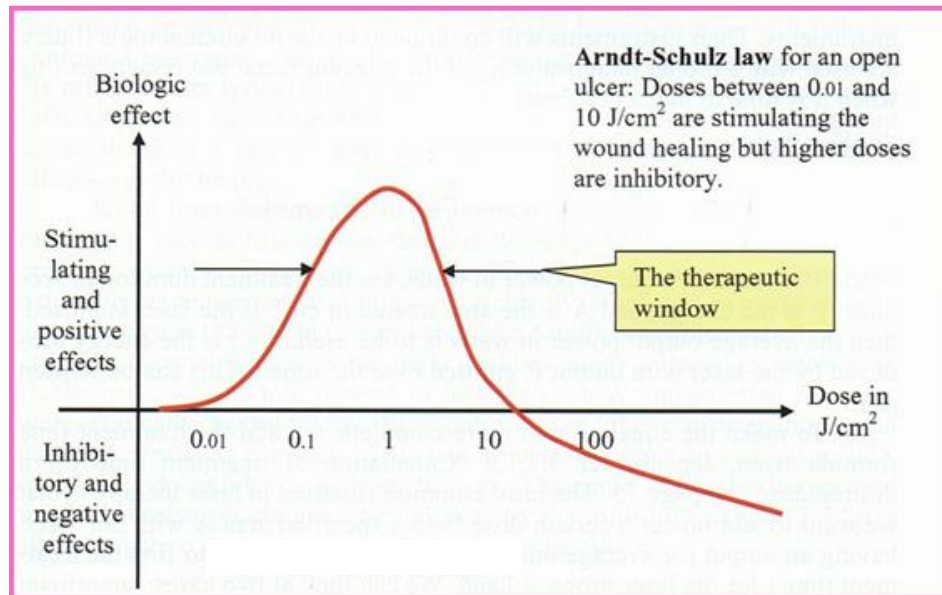


Abb.2 Arndt-Schulz Gesetz zur Dosierung der Laser Strahlung  
 (Quelle: Laser Therapy, Clinical Practice and Scientific Background.  
 Jan Tunér, Lars Hode, Primabooks AB, 2002)

Mit derselbe Wellenlänge eines Diodenlasers (z.B. 670 nm, rot) lassen sich demnach 2 gegensätzliche, örtlich getrennte Effekte realisieren:

1. Denaturierung von Proteinen/Enzymen und Zelltod
2. Biostimulation

Gewebe welches, mit 1-10 Joules bestrahlt wird, zum Beispiel eine Extraktionswunde, erfährt eine Biostimulation. Gewebe und Zellen, z.B. Bakterien auf einer Implantat- oder Wurzeloberfläche oder im Endo Kanal, welche mit mehr als 50 Joules/cm<sup>2</sup> bestrahlt werden, gehen durch Denaturierung zugrunde. Die überschüssige Laser-Energie wird in das umgebende Gewebe abgestrahlt und abgeschwächt, so dass sie im abwehrenden Wirtsgewebe unterhalb 10 Joules/cm<sup>2</sup> fällt und damit biostimulativ wirksam wird.

Bei einer Diodenlaser Behandlung zur Dekontamination einer Tasche oder eines Wurzelkanales haben wir demzufolge zentral eine hohe Energiedichte, welche ausreicht, um die Bakterien, Viren und Pilze zu denaturieren und peripher einen Energie Beitrag, welcher das Wirtsgewebe zur Biostimulation anregen kann.

Diese beiden Effekte können bei der Therapie gezielt einfach und kombiniert eingesetzt werden. Mit Softlasern können nur biostimulative Effekte erzielt werden. Ist die Leistung des Lasers > 500mWatt können an der Spitze dekontaminative und in der Tiefe biostimulative Wirkung erzeugt werden.

In Abbildung 3 ist die Stellung der Diodenlaser (Soft- und Hardlaser) sowie der CO<sub>2</sub> und der Erbium Laser in der Zahnmedizin dargestellt.

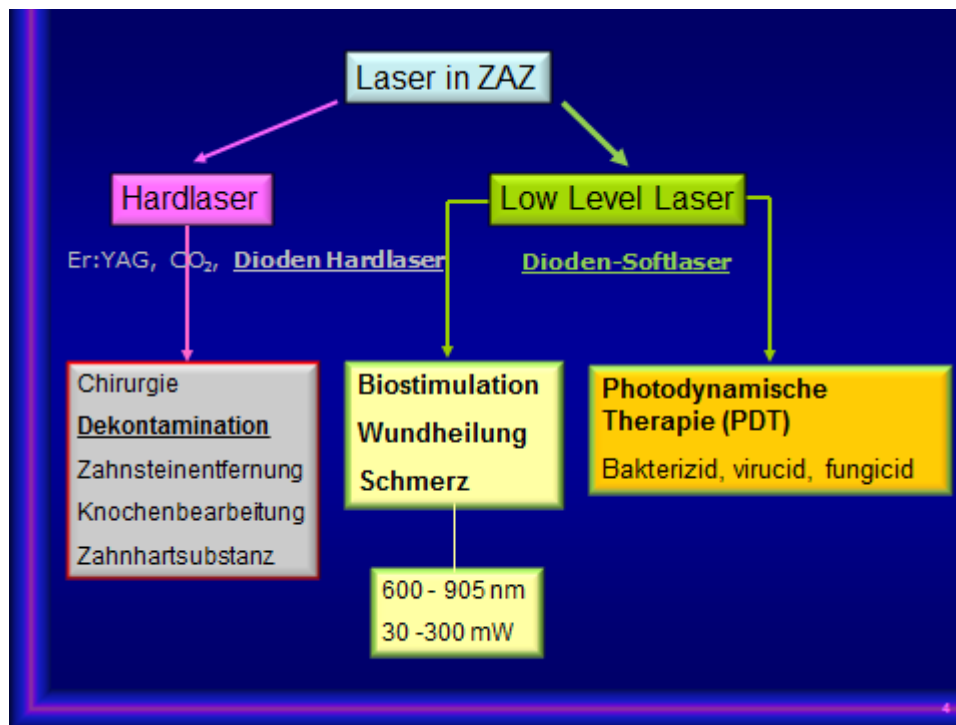


Abb.3 Diodenlaser in der Zahnmedizin für Dekontamination, Biostimulation und PDT

### Der Diodenlaser in der Hardlaser Anwendung

Der Diodenlaser eignet sich sehr gut zur Dekontamination. Somit sind Anwendungen im Endo-Kanal, in der geschlossenen Parotasche und bei Periimplantitis mit dem Ziel der Dekontamination indiziert. Die Energie wird dabei, wie oben beschrieben, in Pigmenten, Enzymen und Chromophoren der Zellen, Bakterien und Viren absorbiert. Viele Bakterienarten in den Paro- und Periimplantitis Taschen sind ausserdem schwarz pigmentiert und stellen dadurch eine gute Zielscheibe zur fotothermischen Zerstörung dar.

Der in Abbildung 4 dargestellte Periimplantitis Fall wurde mit dem Diodenlaser geschlossen behandelt. Durch die Dekontamination der Implantat-Oberfläche und damit Reduktion der Bakterienmassen sowie der gleichzeitigen Biostimulation in der Peripherie des Wirtsgewebes konnte die Balance im Gewebe zugunsten des Wirtes verschoben werden.

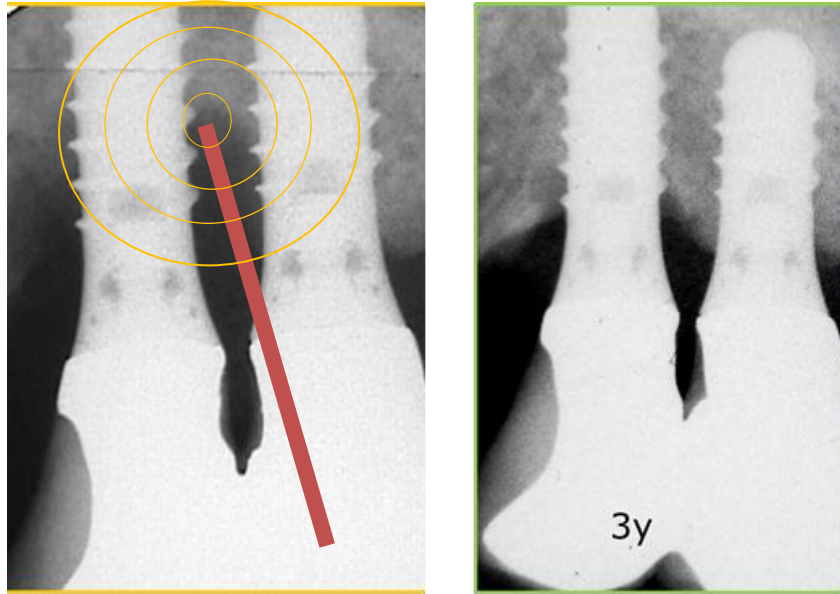


Abb. 4 Periimplantitis I 24 mit Diodenlaser, vor und 3 Jahre nach Laserbehandlung

Da der Diodenlaser das Licht in einer sehr dünnen Faser (200-400  $\mu\text{m}$ ) führt, kann die Dekontamination besonders gut in geschlossenen Räumen durchgeführt werden, wie z.B. in einer Periimplantitis Tasche. Die Behandlung einer parodontalen Tasche folgt nach denselben Überlegungen. Es ist jedoch unerlässlich, vorgängig die Konkremente mechanisch möglichst vollständig zu entfernen. Bei der Parodontaltherapie haben wir dafür gute Instrumente, welche jedoch bei der Implantat-Oberfläche nur mit kleinem Erfolg eingesetzt werden können.

Bei der Behandlung einer Tasche mit der 400  $\mu\text{m}$  Faser sind folgende Punkte zu beachten:

- Vorgängig mechanische Behandlung der Zahnoberfläche unerlässlich
- Bei Implantaten Debridement und Spülen
- Fiber vom Fundus der Tasche flächendeckend nach cervical bewegen
- Fiber immer in Bewegung halten
- Ca.3 x 30 Sek. pro Tasche intermittierend (2-3 Sekunden aktiv) behandeln
- Kontrolle der Fiber auf Hotspots
- Mit Ringerlösung simultan das Blut (Pigment) aus der Tasche spülen
- Verhüten von Hotspots !
- Wiederholung 1-2x im Wochenabstand

Bei der Behandlung der Periimplantitis ist die Führung der Fiber in der Tasche etwas komplizierter wegen der schlechten Reinigungsmöglichkeit in der Tasche. Die Leistung beträgt 2.5 Watt.

Die Durchführung einer adäquaten Mundhygiene ist eine unabdingbare Voraussetzung für die erfolgreiche Behandlung. Weitere Therapieansätze zu Parodontitis- und Periimplantitis- Behandlungen mit dem Laser vermittele ich in den entsprechenden Kursen.

In der Endodontie wird der Diodenlaser zur Dekontamination des Wurzelkanales nach erfolgter mechanischer Aufbereitung eingesetzt. Die gute Durchdringung im Zahnmaterial erlaubt es der Energie tiefer in die Dentintubuli einzudringen als die Spüllösungen. Bakterien dringen bis 1'100 µm in die Dentintubuli ein, chemische Desinfektionsmittel jedoch nur ca. 100 µm. Der Diodenlaser dringt tiefer als 1'000 µm ein, da er vom Apatit und Wasser nicht absorbiert wird.

Damit ermöglicht uns der Diodenlaser einen zusätzlichen Weg zur Dekontamination der tieferen Dentin-Bereiche, welche klassisch nicht erreichbar sind. Auch hierfür gibt es ein konkretes Protokoll für den Einsatz des Diodenlasers im Wurzelkanal.

Wie bei der Taschenbehandlung haben wir auch in der Endo mit dem Diodenlaser 2 verschiedene Effekte, welche ganz wichtig sind:

- Die Dekontamination im Kanal rund um die Fiber
- Die Biostimulation im Parodont und Knochengewebe.

Für die oralchirurgischen Behandlungen am Weichgewebe ist der Diodenlaser nicht geeignet, da seine Wellenlängen das stark wasserhaltige Weichgewebe der Mundhöhle durchdringen. Erst mit dem Erscheinen von Pigmenten (Blut) wird die Energie gekoppelt und führt zur Koagulation und damit zur Erwärmung des Gewebes. In Abbildung 5 ist die thermische Schädigungszone des Diodenlasers, welche im Durchschnitt 5-mal tiefer reicht als der CO<sub>2</sub> Lasers, dargestellt.

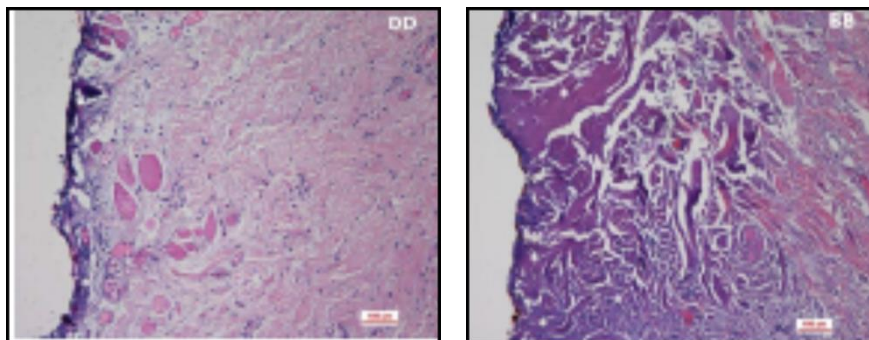


Abb. 5 Thermische Schädigungszone (violett) nach CO<sub>2</sub> Laser Schnitt (links) und Dioden Laser Schnitt (rechts).  
Quelle: Suter V. et al. 2010

Im Zahnhartgewebe und im Knochen kann der Diodenlaser aus Gründen der mangelnden Absorption keine Wirkung erzielen (siehe Abb.1). Die Wirkung der Biostimulation bleibt jedoch erhalten. Damit ist klar, dass die Energie auch in die Sinus und an den Apex gelangen kann und für die Biostimulation einsetzbar ist.

## Der Diodenlaser in der Biostimulation

Diodenlaser im Wellenbereich zwischen 600 und 900 nm eignen sich sehr gut zur Biostimulation, da in den meisten Wirtszellen Lichtrezeptoren in Form von Membran- und Enzymsystemen vorhanden sind, welche in diesem Lichtbereich empfindlich sind und die Energie aufnehmen können.

Die Biostimulation oder Biomodulation besteht aus 3 Wirkungen: Entzündungshemmung, Wundheilung und Schmerzreduktion.

In der Abbildung 6 sind die zellulären Effekte dargestellt, welche durch die Bestrahlung von Gewebe mit Laserlicht (600 -900 nm) aus Studien bekannt sind.

	Wundheilung Förderung	Entzündung Reduktion	Schmerz Reduktion
<b>ATP</b> Bildung	+		
Ionenpumpen, ATP-asen	+		+
Membran Hyperpolarisation			+
<b>Prostaglandin</b> Synthese Hemmung		+	+
<b>Zytokin</b> Synthese Hemmung		+	+
<b>ROS</b> Produktion	+	+	
<b>NO</b> Produktion	+		

Abb. 6 Zelluläre Effekte bei der Biostimulation

Die Dosierung zur Erzielung der Biostimulation wird in der Literatur mit ungefähr 4 Joules/cm<sup>2</sup> angegeben. Oberflächliche Wunden werden mit 4 Joules/cm<sup>2</sup> behandelt, während man bei tieferen Geweben bis 10 Joules/cm<sup>2</sup> anwenden kann. (siehe Abbildung 2).

Bei der Verwendung von Softlaser Kleingeräten wird die Glasspitze direkt auf die Wunde geführt, ausser bei kontaminierten und nässenden Wunden. Beim WhiteStar® Laser kann der Ansatz mit 2-5 cm Distanz über das zu behandelnde Gewebe geführt werden, da die Ausgangsleistung, zwischen 0.5 und 2 Watt, relativ hoch eingestellt ist. Dies ermöglicht die Behandlung auch von tiefer liegenden Läsionen.

Die Indikationen zur Biostimulation sind sehr zahlreich. Gehen wir von der Tatsache aus, dass die Biomodulation in einem Gewebe erst dann erfolgen kann, wenn das Gewebe eine Schädigung oder ein Trauma erlitten hat, so kann man festhalten, dass die Biostimulation nach jeder zahnärztlichen Therapie, bei welcher Gewebe „traumatisiert“ wird, sinnvoll und heilsam sein kann. Also nach chirurgischen, parodontalen Eingriffen, aber auch bei Endo und nach dem Deep Scaling durch die Dentalhygienikerin etc..

In Abbildung 7 ist eine Wundheilung dargestellt, die durch einmalige Laserbehandlung postoperativ (MED-701, 670 nm, 350 mW, 2 min) begünstigt wurde. Man beachte den fortgeschrittenen Epithelverschluss nach 7 Tagen.

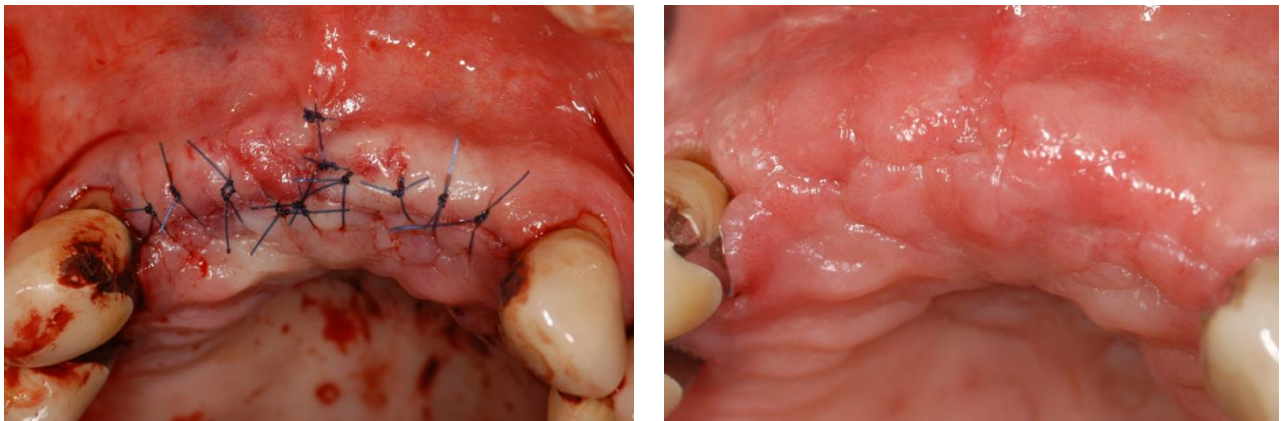


Abb. 7 Wundheilung nach 7 Tagen mit Biostimulation

### **Der Diodenlaser zur Antimikrobiellen Photodynamischen Therapie (PDT)**

Diodenlaser mit wenig Leistung können in Kombination mit einem Farbstoff (z.B. Methylenblau) auch für die antibakterielle Photodynamische Therapie eingesetzt werden (PDT). Dazu muss die Wellenlänge des Lasers mit dem Absorptionsmaximum des Farbstoffes (Photosensitizer) übereinstimmen.

Wird der Photosensitizer in eine Bakterien Zellwand aufgenommen, kann durch Bestrahlung mit dem Laser in Anwesenheit von Sauerstoff das Bakterium zerstört werden. Das Prinzip folgt der Energieübertragung vom Laserlicht auf den Farbstoff, welcher in einen Triplett Zustand wechselt und damit seine Energie dem Sauerstoff übergeben kann. Dieser wechselt von seinem Triplett in den Singulett Zustand. Singulett Sauerstoff ( $^1O_2$ ) zerstört die Zellwände der Bakterien. Da die Wellenlänge des Lasers bei der Anwendung von Methylenblau als Photosensitizer bei 670 nm im Gebiete der biostimulativen Wellenlängen liegt, erfolgt gleichzeitig eine Biostimulation gratis dazu.



## **Strahlenschutz bei Diodenlasern**

Bei der Sicherheit in der Behandlung mit dem Diodenlaser ist vor allem der Schutz der Augen wichtig. Wellenlängen im sichtbaren Bereich sind nicht so gefährlich, weil sie blenden und sich das Auge reflexartig schliesst. Bei unsichtbaren Wellenlängen der Diodenlaser fehlt dieser Reflex, weil das Licht nicht wahrgenommen wird. Es dringt jedoch ungehindert ins Auge bis zur Netzhaut durch. Thermische Schädigungen der Netzhaut sind daher möglich, weil dort die ersten Pigmente vorhanden sind. Das Auge muss deshalb bei Diodenlaser Behandlungen durch eine adäquate Schutzbrille geschützt werden. Sonnenbrillen schützen hier nicht!

Desweiteren muss man der Pigmentierung der Haut und Schleimhaut Rechnung tragen. Ein dunkler Hauttyp sowie pigmentierte Schleimhaut absorbieren die Diodenlaserstrahlung stärker und können zu unangenehmen Hitzeeinwirkungen führen.

## **Fazit**

Die Verwendung der interessanten Wellenlängen zwischen 600 und 900 nm eröffnet ein neues Behandlungsspektrum mit Möglichkeiten, welche mit der klassischen Methode schlecht oder gar nicht denkbar sind. Die richtige Anwendung dieser Wellenlängen erfordert eine gründliche theoretische und praktische Vorbereitung. Vorsicht geboten ist bei der unsichtbaren Strahlung.