

So wirkt Laserstrahlung auf Gewebe

Dr. Karl Stock, ILM Universität Ulm. Will man die biologische und physikalische Wirkung von Licht auf Gewebe beschreiben, muss man sich zunächst mit der Lichtausbreitung im Gewebe beschäftigen, um dann die verschiedenen Wechselwirkungen des Lichts mit dem Gewebe verstehen zu können.

Lichtausbreitung im Gewebe

Trifft Licht auf Gewebe, dann wird es im Wesentlichen reflektiert, transmittiert, gestreut oder absorbiert. Wird Licht absorbiert, wird die aufgenommene Lichtenergie entweder in Form von Wärme abgegeben oder als Fluoreszenz oder Phosphoreszenz. Je nach Wellenlänge des eingestrahnten Lichts und je nach Gewebeart treten die genannten Effekte zu unterschiedlichen Anteilen auf.

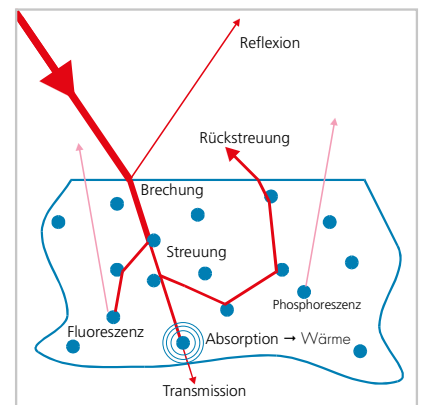
Der Anteil der **Reflexion** hängt im Wesentlichen vom Brechungsindexunterschied zwischen Luft und Gewebe sowie vom Einstrahlwinkel ab. Licht, das in das Gewebe eindringt, wird entweder absorbiert oder an mikroskopischen Strukturen, wie beispielsweise Zellbestandteilen, gestreut.

Die **Streuung** ist z.B. dafür verantwortlich, dass ein Laserstrahl nicht beliebig tief in das Gewebe fokussiert werden kann, sondern der Fleckdurchmesser durch die Streuung zunehmend größer wird.

Die **Absorption** ist der entscheidende Mechanismus, um die eingebrachte Laserenergie therapeutisch nutzen zu können. Die Wahrscheinlichkeit, mit der eingestrahktes Licht absorbiert wird, wird durch den Absorptionskoeffizienten μ_a beschrieben. Der Kehrwert von μ_a ist die mittlere freie Weglänge, die ein Photon im Gewebe zurücklegt, bis es absorbiert wird [1].

Wichtige Absorber im Gewebe sind:

- im UV-Bereich:
Peptidbindungen und Nukleinsäuren
- im VIS-Bereich:
Bilirubin, Karotin, Melanin und Hämoglobin
- im IR-Bereich:
Wasser und Hydroxylapatit.

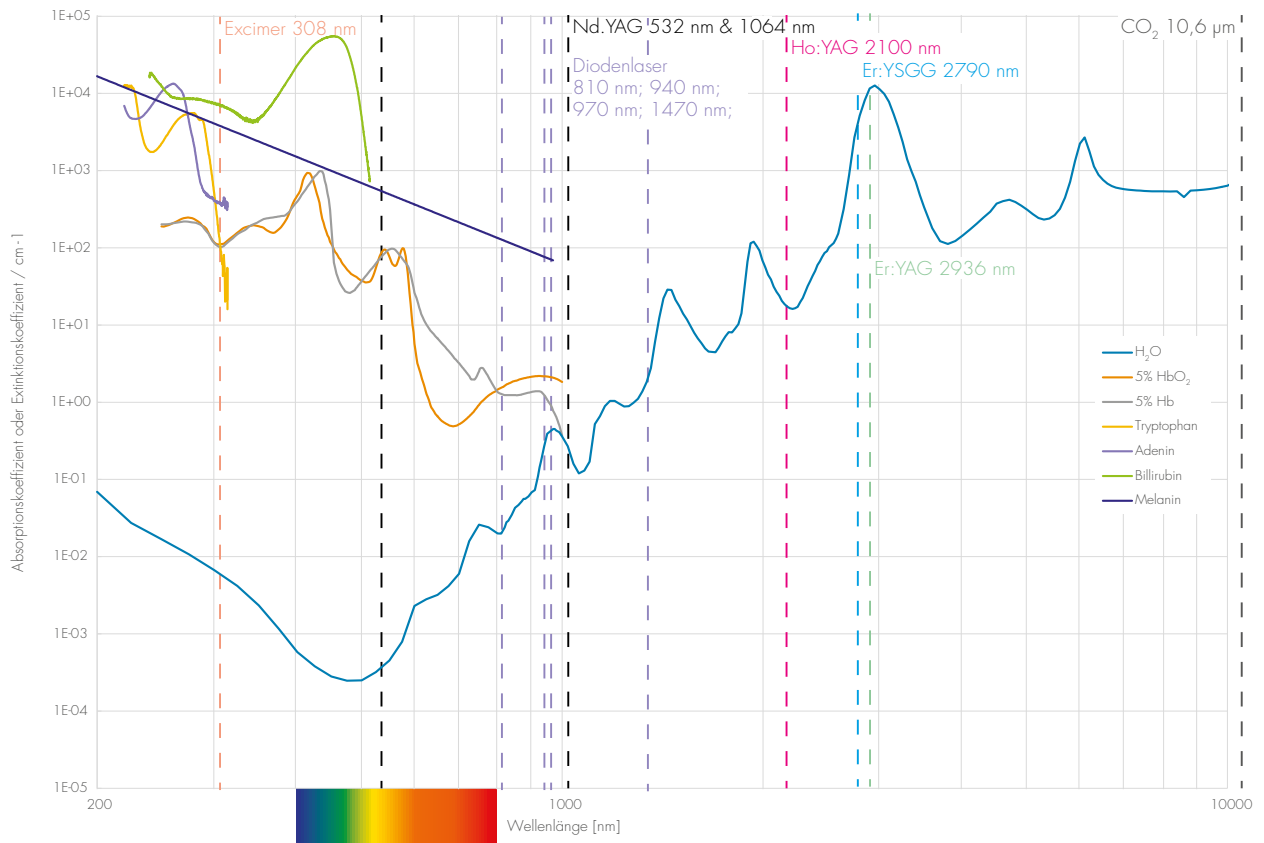


© Karl Stock, ILM ULM

Abb. 1:
Auf tretende Effekte bei der Lichtausbreitung im Gewebe.

[1] Lasertherapie der Haut, S. 26,
R. Steiner,
Springer-Verlag Berlin Heidelberg,
2013

Wie die blaue Kurve in Abb. 2 zeigt, ist die Absorption im Wasser im infraroten Spektralbereich besonders hoch (nur 1 µm Eindringtiefe bei 3 µm Wellenlänge). Deshalb sind der 2,94 µm Er:YAG-Laser und der 10,6 µm CO₂-Laser besonders gut zum Schneiden und Abtragen von Weichgewebe geeignet, welches zu großen Teilen aus Wasser besteht.



Daten basieren auf:

W. B. Gratzler, Med. Res. Council Labs, Holly Hill, London

N. Kollias, Wellman Laboratories, Harvard Medical School, Boston

Abb. 2:

Wellenlängen abhängige Absorptionskoeffizienten (Wasser, Blut, Melanin) bzw. molare Extinktionskoeffizienten (Tryptophan, Billirubin, Adenin) von biologischen Gewebebestandteilen

Wechselwirkung des Lichts mit dem Gewebe

Abhängig von den Eigenschaften des Gewebes, aber auch von den Bestrahlungsparametern (Wellenlänge, Intensität, Pulsenergie, Bestrahlungsdauer) treten verschiedene Effekte auf:

Geringe Lichtleistungen

Bei geringen Lichtleistungen ist zum einen die **Fluoreszenz** zu nennen, die für die Diagnostik, z.B. zur Erkennung von Blasen Tumoren, genutzt werden kann. Zum anderen kommen **Photochemische Prozesse** in der Low Level Lasertherapie (LLT) und in der photodynamischen Therapie zum Einsatz, beispielsweise in Kombination mit Metylenblau zum Abtöten von Bakterien.

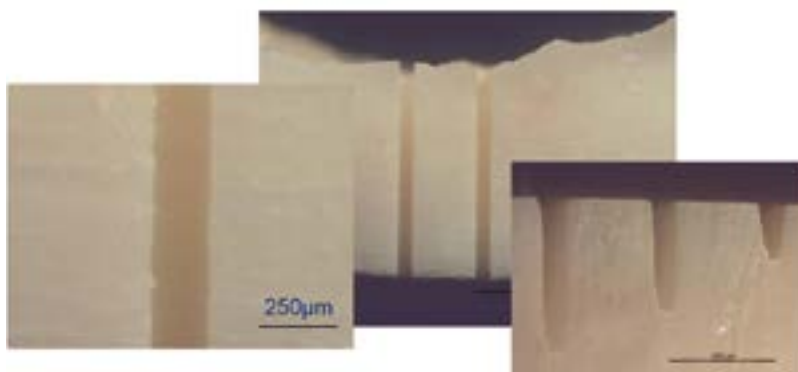
Höhere Lichtleistungen

Bei höheren Leistungen spielen die **thermischen Effekte** zunehmend eine Rolle. Während bei der Thermotheapie noch keine thermische Schädigung des Gewebes auftritt, wird ab ca. 60 °C das Gewebe koaguliert (z.B. zum Veröden von Blutgefäßen) und ab ca. 300 °C das Gewebe verdampft, die sogenannte **Vaporisation** des Gewebes. Letzteres ist der Effekt, der z.B. in der Chirurgie zum Schneiden von Weichgewebe mit dem CO₂-Laser oder mit Diodenlasern genutzt wird.

Laser und ihre Wirkungsweisen

Pulslaser hoher Leistung

Eine besonders effiziente Art des Gewebeabtrags stellt die **thermomechanische Ablation** dar, die beim Einsatz von gepulsten Lasern und hoher Absorption im Wasser auftritt. Durch die hohe Absorption und die hohe Leistung im Laserpuls wird das Gewebe schlagartig erhitzt. Bei etwa 100 °C will das Wasser verdampfen und es findet ein rapider Druckanstieg im Gewebe statt, der zu einem explosionsartigen Gewebeabtrag führt. Durch den schnellen und effizienten Abtrag ist die thermische Schädigung des Gewebes wesentlich geringer als bei der Vaporisation. Auch in Hartgewebe, Knochen, Zähne, Blasen- und Nierensteine, kann ein effizienter und präziser Abtrag insbesondere mit dem Er:YAG-Laser erzielt werden (s. Abb. 3).



© Karl Stock, ILM Ulm

Abb. 3:
Hochpräzise Knochenschnitte mit einem diodengepumpten Er:YAG-Laser
(Institut für Lasertechnologien, Ulm).

Excimer-Laser

Werden Excimer-Laser im UV-Bereich mit kurzen Pulsen und hoher Intensität verwendet, ist nicht nur die Absorption im Gewebe, sondern auch die Energie des einzelnen Photons so hoch, dass ein Abtrag einzelner Atome stattfindet. Diese **Photoablation** kommt insbesondere in der Augenheilkunde bei der Korrektur der Hornhautkrümmung zum Einsatz.

Ultrakurzpuls-Laser

Bei der **Photodisruption** werden mit Lasern mit ultrakurzen Pulsdauern im Nano-, Piko-, oder gar Femtosekundenbereich die Atome im Fokus ionisiert und es entsteht ein Mikroplasma, das sich extrem schnell ausdehnt und eine akustische Stoßwelle erzeugt. Diese Stoßwelle führt beispielsweise beim LASIK-Verfahren zu einem hochpräzisen Abtrag der ebenfalls zur Korrektur der Fehlsichtigkeit genutzt wird. In tieferliegendem Gewebe lassen sich durch das Plasma beispielsweise auch die Pigmente von Tätowierungen zertrümmern.

Autor

Der Doktor der Humanbiologie und studierte Ingenieur Karl Stock ist stellvertretender Direktor des Instituts für Lasertechnologien in der Medizin und Messtechnik ILM an der Universität Ulm und Leiter der Arbeitsgruppe Geräteentwicklung. Hier werden vornehmlich Geräte und Applikatoren für medizinische und zahnmedizinische Anwendungen entwickelt - häufig für Industriepartner: so z.B. Laserverfahren für chirurgische und diagnostische Anwendungen, u.a. für die Fachbereiche HNO-Heilkunde, Urologie, die allgemeine Chirurgie und die Augenheilkunde.



© Karl Stock, ILM ULM