



Fiat Lux ...

Es werde Licht! Und es ward Licht.

Etwa ähnlich schöpferisch müssen sich die beiden amerikanischen Forscher vorgekommen sein, als im Jahr 1960 aus ihrem beleuchteten Rubinkristall ein Lichtstrahl schoss! «Jetzt haben wir eine Lösung, aber noch kein Problem» war die Reaktion auf dieses Schauspiel. Hätte dies Einstein gesehen, hätte er lächelnd gesagt: «Ich habe doch recht gehabt mit der Lichtverstärkung, anno dazumal um 1918». Jedenfalls war der erste Laser erfunden. von René R. Pfister

WAS BEDEUTET DAS WORT LASER?

Dies ist eine Abkürzung für Light Amplification by Stimulated Radiation – auf Deutsch: Lichtverstärkung erzeugt mittels Aussendung einer stimulierten Strahlung. Nun, lieber einfach oder kompliziert erklärt?

Zuerst etwas kompliziert: Jedes Material besteht aus Atomen und Molekülen. Jedes Atom hat unter anderem Protonen, Elektronen und Neutronen. Wie im Leben sind die Neutronen bzw. Neutronen eher uninteressant und fallen auch hier nicht auf (mit Vorbehalt). Es sind die Elektronen, welche die Musik bzw. das Licht machen. Diese kreisen unermüdlich in einer Umlaufbahn um ihren Kern, ähnlich wie die Planeten um die Erde. Werden diese Elektronen durch ein äusseres Stimulans stimuliert bzw. angeregt, bekommen diese so viel Energie, dass bei denen unweigerlich das Gefühl entsteht, eines anderen Niveaus würdig zu sein, und tatsächlich vollziehen sie den vielbesagten Quantensprung in ein höheres Fermi-niveau (höhere Umlaufbahn). Bei diesem Sprung senden sie, um sich bemerkbar zu machen,

elektromagnetische Wellen aus, welche im wahrnehmbaren Bereich auch als sichtbares Licht erkennbar sind. Dabei ist zu bemerken, dass der Quantensprung der kleinst mögliche Sprung ist. So hoffe ich doch, dass Firmen bei der Verwendung der Floskel «Dies ist ein Quantensprung in unserer Firmengeschichte» in Zukunft doch etwas mehr zu bieten haben ...

Nun die einfache Variante: Ein Material wird mittels Energiezufuhr gezwungen, Licht auszusenden.

WAS IST LICHT? ODER – IM KOPF IST ES DUNKEL.

Wie breitet sich Licht aus? Wellen benötigen Wasser, Schall benötigt Luft und Lichtwellen? Benötigen nichts (wie bescheiden doch Licht ist), sie breiten sich durch elektromagnetische Wellen aus wie das WIFI, die Radiowellen, die Mikrowelle (Maser, als quasi Vorgänger des Laser) und unsere Handys G4, G5 und so weiter. Alle diese Technologien arbeiten mit elektromagnetischen Wellen, und nur ein Teil ist für uns Menschen sichtbar, der sog. VIS(visible)-Anteil. Was

heisst denn hier sichtbar? Licht ist an und für sich unsichtbar! Sonst würden wir es auch abends ausserhalb des Erdschattens sehen. Und, noch etwas abstrakter, in unserem Kopf ist es dunkel, kein Licht vorhanden, so hoffe ich doch! Genug verwirrt? Wollen wir etwas Licht ins Dunkel bringen?

Früher dachte man (hauptsächlich die alten Griechen), dass unsere Augen Licht aussenden und so die Umgebung beleuchten. Sollten Sie bei sich so etwas feststellen, bitte melden. Heute wissen wir, dass das Licht von einer Lichtquelle wie Sonne, Feuer, LED, Glühlampe, Laser etc. auf Gegenstände trifft und das Licht teilweise reflektiert wird, unsere Augenlinse passiert, scharf gestellt wird und auf der Netzhaut durch höchst empfindliche sog. Zäpfchen biochemisch und bioelektrisch umgewandelt wird, sodass auch unser Hirn etwas damit anfangen kann und ein farbiges Bild zaubert. Das Bild entsteht im Kopf eines jeden Individuums. So erscheinen Sprüche wie «Die Welt mit eigenen/anderen Augen sehen» oder «Der sieht etwas, was andere nicht sehen» etc. plötzlich plausibel. Bestimmte parapsychologische Phänomene könnten so erklärt werden: Das Hirn kann ja bekanntlich Bilder machen, ohne die Augen zu benutzen.

Oder, denken Sie nicht an einen rosa Elefanten. Sollten Sie den Elefanten mit den Augen vor sich stehen sehen, bitte niemandem sagen. Nun kennen wir das künstliche Licht vom Laser, das natürliche Licht von der Sonne und haben das hoch empfindliche Linsensystem unserer Augen kurz beschrieben.

KLASSENEINTEILUNG

Nicht alles Künstliche muss schädlich sein. Beim Laserlicht ab Klasse 2 ist es jedoch so, und ab Klasse 3B und 4 wird es ganz gefährlich. Die Laser werden entsprechend der Gefährlichkeit für Haut und Augen sowie der Zugänglichkeit zum Strahl in Klassen eingeteilt. Klasse 1 (meist abgekapselt) ist unschädlich und Klasse 4 kann sehr schädlich sein, das heisst ein Strahl auf der Haut kann zu schweren Verbrennungen führen und ein direkter oder indirekter Blick in den Laserstrahl kann das Auge zerstören.

Nun gehören die meisten Laser in der Medizin und Kosmetik der Laserklasse 4 an, was heisst: Ernsthafte Verbrennungsgefahr für die Haut, ernsthafte und bleibende Schädigung der Augen, der Strahl ist frei zugänglich und die Laseraustrittsöffnung (Handstück) kann wie eine Schusswaffe frei im Raum irgendwohin gerichtet werden – «worst case» würde ich dazu sagen. Laser schneiden locker Metalle über 3 cm Dicke, geht durch wie Butter. Diese Anlagen sind während der Betriebsart «Betrieb» abgeschirmt und mutieren so zur Laserklasse 1. Ein anzustrebender Zustand, welcher eben in der Medizin nicht immer möglich ist. Nur in speziellen Betriebsarten wie Werkzeugwechsel, Kalibrierung etc. kann die Laserklasse 1 meist nicht mehr aufrechterhalten werden und es müssen spezielle Schutzmassnahmen wie Laserbrille, Justierbrille, Abschirmwände, Warnsignale etc. getroffen und eingehalten werden.

NUN WISSEN WIR, DASS LASER GEFÄHRLICH SEIN KÖNNEN, ABER WESHALB?

Mal ein Beispiel aus der Küche (zum Glück war vorher eins aus der Industrie, so ist die Verbindung Frau und Küche zu relativieren): Sie kochen Wasser in einer offenen Pfanne, Energiezufuhr Strom über Herdplatte, das Wasser fängt an zu kochen. Die Wassermoleküle

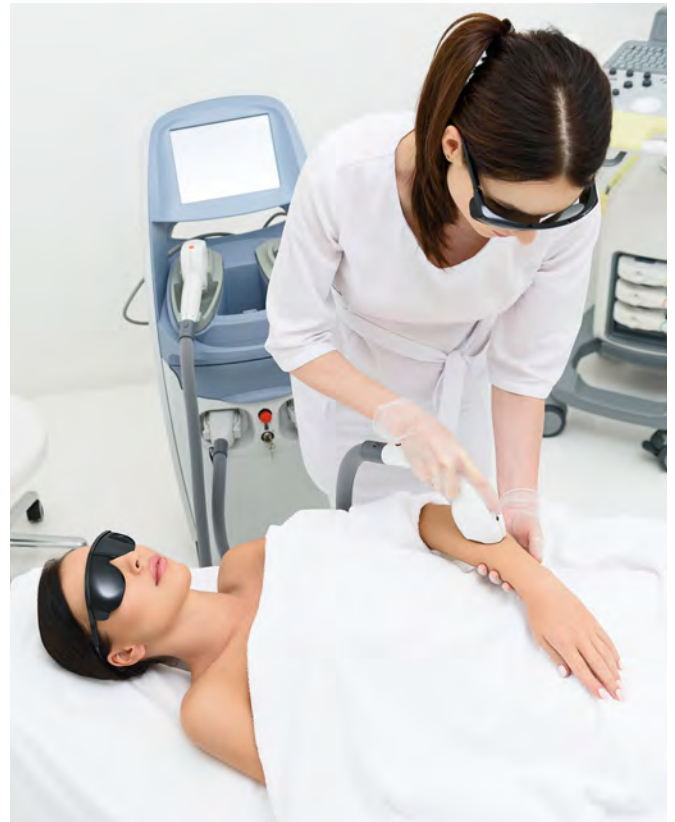
werden angeregt und verdampfen. Wenn Sie hier im beschriebenen Fall die Hand über den Dampf halten, ist es zum Aushalten. Ähnlich ist das normale, helle Tageslicht ohne Sonnenbrille für einen direkten Blick einen Moment auszuhalten.

Machen wir dasselbe mit dem Dampfkochtopf. Wir heizen, bis das Ventil auf dem ersten oder zweiten Ring steht. Wir drücken nun kurz das Überdruckventil (Q-Switch¹⁾ mit einem Handschuh runter und beobachten den zischenden Dampfaustritt. Halten Sie keinesfalls die Hand vor den austretenden Dampf, denn dieser ist extrem heiss und kommt mit so viel Druck aus der Ventilöffnung geschossen, dass Sie sich sofort stark verbrennen würden! Ähnlich ist es beim Laserlicht für die Augen!

LASERLICHT

Laserlicht ist ein künstlich erzeugtes und verstärktes Licht, wie es in der Natur nicht vorkommt. Laserlicht ist meist monochromatisch, das heisst ein Licht mit nur einer Wellenlänge bzw. engem Lichtspektrum. Laserlicht ist kohärent, das heisst gleichphasig, und meist gebündelt. Diese Eigenschaften, vor allem die Bündelung der Strahlen, ermöglichen eine Fokussierung des Strahls ohne Energieverlust. Das heisst, wenn ich den Durchmesser eines Laserstrahls mittels Linse auf das 100fache verkleinere und fokussiere, ist die Strahlenfläche 100mal kleiner und die Energie 100mal stärker. Sie kennen alle das Beispiel mit der Lupe und dem Ver-

Bei einer Behandlung mit einem Laser ist es nicht nur wichtig, die Kundin mit der richtigen Schutzbrille zu schützen, sondern auch sich selber und alle im Raum anwesenden Personen



¹⁾ Sie kennen den Q-Switch Nd:YAG Laser oder eben den gütegeschalteten Laser, welcher sehr kurz gepulst ist, im Nanosekunden- oder sogar im Picosekundenbereich. Viele Nanosekundenlaser werden als Pico Laser angepriesen, was grundsätzlich nicht falsch ist. Sie können einem Kilo auch 1000 Gramm sagen. Q Switch bezeichnet den Schalter, welcher den Strahl schaltet bzw. aus der Laserkammer entlässt. So quasi «Wehe werden sie losgelassen».

LASERSCHUTZ

GEFAHREN KENNEN – RICHTIG SCHÜTZEN

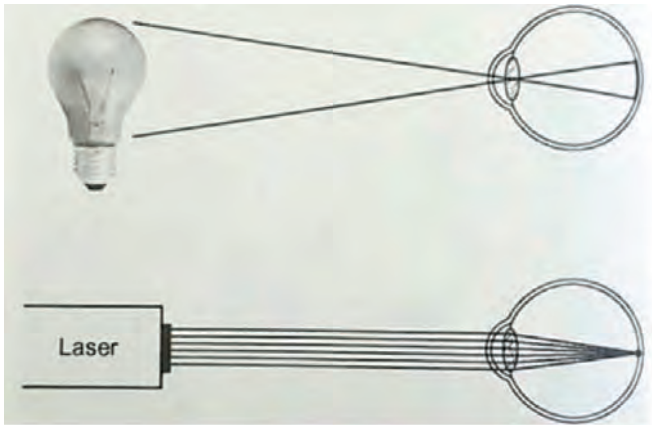


Abb. 1: Das gebündelte Licht eines Lasers auf der Makula ist voll fokussiert und die auftretende Energie wird entsprechend verstärkt. Im Gegensatz zu einem Gegenstand, welcher verkehrt und einfach kleiner auf der Netzhaut abgebildet wird.



Dem IPL liegt ein gestreutes Breitspektrum Licht (meist Xenon Lampe, ca. 200-1400 nm) zugrunde, IPL ist kein Laser. Eine IPL-Brille muss dieses gesamte Spektrum abdecken, jedoch nicht mit einem so hohen Schutzfaktor wie für Laser.

größerungsglas, wie man spielend ein Loch ins Papier brennen kann. Auf das Auge bezogen ist das Vergrößerungsglas unsere Augenlinse und das Blatt Papier unsere Netzhaut (Makula, mit diesen empfindlichen Zäpfchen, welche den Bildern in unserem Kopf das Laufen lehren ...). Wenn Sie sagen, die Sonne sei aber kein Laser, haben Sie recht, sonst könnten wir diesen Artikel nicht mehr lesen. Die Sonne ist jedoch so weit weg, dass die Strahlen auf der Erde fast parallel und somit gebündelt auftreffen.²

Das 100fache, Sie denken das ist viel? Wenn das Auge etwas scharfstellt, erzeugt das ein Abbild auf der Makula von nur 25 µm (25 tausendstel Millimeter). Wenn die Iris voll geöffnet ist, rechnet man mit einem Durchmesser der Lichteintrittsöffnung von 7 Millimeter. Werden diese beide Zahlen zur Querschnittsfläche ins Verhältnis gesetzt, erfolgt eine Verstärkung bzw. Verkleinerung von sage und schreibe 78 400. Das heisst, die Leistungsdichte auf der Netzhaut steigt fast um den Faktor 100 000. Zugegeben auf einer relativ kleinen Fläche, aber der Schaden ist verheerend und kommt einem Bild der Mondoberfläche ähnlich (nicht, dass dann doch plötzlich Licht im Kopf ist). Und leider ist es so, dass das gebündelte Licht eines Lasers auf der Makula voll fokussiert und die auftretende Energie entsprechend verstärkt wird. Im Gegensatz zu einem Gegenstand, welcher verkehrt und einfach kleiner auf der Netzhaut abgebildet wird (Abb. 1).



²⁾ Als Beispiel: Die Sonne hat auf der Erde eine Bestrahlungsstärke (Solarkonstante) von ca. 1000 W/m², was bereits den vereinfachten Grenzwert für Hornhaut von 10 W/m² deutlich übertrifft und schädlich ist für die Augen. Ein Laser mit 1 W und 1 mm Durchmesser erzeugt eine Strahlungsstärke von 1 000 000 Watt/m², nochmals in Worten: eine Million Watt pro Quadratmeter.

Als Beispiel der Diodenlaser: Ein langgepulster Diodenlaser 808 nm hat locker 50 Joule, bei 500 ms Pulsdauer, also eine Peak- Leistung von bis zu 100 Watt. Je nach Grösse der Austrittsöffnung und Divergenz des Strahls (Ausbreitungswinkel, Streuung) passiert eine grosse Leistung die Iris, selbst wenn nur noch 50 Watt/m² direkt ins Auge kommen, und das Auge fokussiert, haben wir im Brennpunkt auf der Netzhaut ca. 5 Mio. Watt/m². Bei dieser Leistung vaporisiert oder karbonisiert das Gewebe sofort in Bruchteilen von Sekunden (ähnlich wie beim Plasma Pen), ist jedoch im Gegensatz zur Augenlidstraffung auf der Netzhaut höchst unerwünscht!

So ganz nebenbei, die zulässige Leistung von Laserpointer liegt bei 0,04 mW und kann somit der Laserklasse 1 zugeordnet werden. Also nicht einmal ein Tausendstel Watt! Im Internet sind Pointer bis zu einer Stärke von 2 Watt erhältlich. Das sind aus Sicht obiger Ableitungen gefährliche Waffen.

NICHT GENUG ...

Selbst diffuse Reflexionen von Laserlicht können für das Auge schädlich sein. Es können chemische Reaktionen im Auge bzw. in der Linse ausgelöst werden (Glaukom, Verbrennungen etc.). Licht kann Materialien chemisch verändern. Als bekannte Beispiele seien erwähnt: UV-Licht zur Gelhärtung, Filme belichten, Sonnenbrand erzeugen – der Hinweis: «Vor Licht geschützt aufbewahren» ... Sie sehen, Licht ist weit mehr als nur der Verursacher von Sehen und Gesehenwerden ...

IMMER NOCH NICHT GENUG ...

Wir haben gesehen, dass Laserstrahlen gebündelt sein können und die volle Energie in diesem Strahlenbündel steckt. Nun, diese Energie bleibt auf weite Distanzen erhalten, was den Laserstrahl auch auf lange Distanzen genau gleich gefährlich macht. Berechnungen in Laserschutzkursen ergeben für einen YAG Laser mit 1000 mJ und einer geringen Divergenz (Streuung) sog. Sicherheitsabstände (NOHD für Nominal Ocular Hazard Distance) von über 100 Metern!

Sollten Sie immer noch Zweifel haben an der Gefährlichkeit von Lasern für die Augen, kann ich Ihnen das gerne einmal mit Experimenten vor Augen führen.

SCHUTZMASSNAHMEN

Nun kennen wir die Gefahren und können zum Glück entsprechende Schutzmassnahmen treffen. Als oberstes Gebot bei Behandlungen mit Lasern gilt: **Alle im Raum befindlichen Personen müssen die richtige Schutzbrille tragen!** Das ist keine Empfehlung, das ist eine Vorschrift! Wird im Gesicht in Augennähe gearbeitet, muss der Patientin eine Spezialbrille mit besonderem Schutz aufgesetzt werden.

WAS HEISST DIE RICHTIGE BRILLE?

Die Schutzstufe zum Schutz der richtigen Wellenlänge muss stimmen, der aufgedruckte Wellenlängenbereich muss die Wellenlänge des Lasers abdecken, die Angaben betreffend Dauer oder Impulsbetrieb müssen passen, das CE muss vorhanden sein und evtl. die Normbezeichnung DIN EN 207 für Anwenderlaserbrillen oder DIN EN 208 für Laserjustierbrillen. Sollten diese Angaben fehlen, insbesondere Wellenlänge, Schutzfaktor und CE, darf die Brille nicht benutzt werden!

Beispiel 190-540 & 8001400 nm, LB6+, DI, CE:

- 190-540 & 800-1400 nm kennzeichnet den Bereich, wo die Brille mit der angegebenen Schutzstufe schützt.
- LB6+ ist die Schutzstufe, die Zahl 6+ bedeutet einen Schutz von 10⁶ oder mehr (also eine Abschwächung von 1 Mio.).
- DI bedeutet Dauerbetrieb und Impulsbetrieb.

- CE, mit der Konformität bezeugt der Hersteller, sich an die geltenden Normen zu halten.

WESHALB VERSCHIEDENE BRILLEN?

Jedem Laser liegt ein bestimmtes Material zugrunde, welchem ein Laserstrahl mit einer für dieses Material charakteristischen Wellenlänge entlockt wird: Alexandrit 755 nm, Halbleiterlaser (Diodenlaser, Kantenemitter, Planar Laser) 808 nm, Rubin 695 nm, Nd:YAG (Neodym, Yttrium-Aluminium-Granit) 1064 nm, halbiert mit KPT Kristall 532 nm, Erbium 2940 nm, CO² Gas 10 600 nm und so weiter. Bei jedem dieser Materialien müssen die angeregten Elektronen mehr oder weniger weit springen, um das nächste Niveau zu erreichen. Diese unterschiedliche Distanz ergibt, einfach ausgedrückt, die verschiedenen Wellenlängen. Diese verschiedenen Wellenlängen werden von verschiedenen Stoffen (Blut, Melanin, Wasser, Gelb, Rot, Blau etc.) unterschiedlich absorbiert, was schliesslich den Verwendungszweck des Lasers bestimmt. Davon noch später.



Laserbrillen haben einen hohen Schutzfaktor, jedoch immer nur für ein bestimmtes Wellenlängenspektrum.

Es kommt immer wieder die Frage: Kann ich denn eine IPL-Brille für den Diodenlaser tragen? Dem IPL liegt ein gestreutes Breitpektrum Licht (meist Xenon Lampe, ca. 200-1400 nm) zugrunde, IPL ist kein Laser. Eine IPL-Brille muss dieses gesamte Spektrum abdecken, jedoch nicht mit einem so hohen Schutzfaktor wie für Laser. Würde eine IPL-Brille den Schutzfaktor von LB 5+ und mehr aufweisen, würden Sie fast nichts mehr sehen.

Laserbrillen haben einen viel höheren Schutzfaktor, jedoch nur für ein bestimmtes Wellenlängenspektrum, zum Beispiel 750 nm bis 860 nm, LB 6. Das heisst, diese Brille dämpft den Lichtdurchlass im Bereich von eben 750 nm bis 860 nm um den Faktor 1 000 000 (6 Nullen) und mehr. Das restliche Licht wird relativ gut durchgelassen. LB 6 ist in den meisten Fällen ausreichend bei einer Arbeitsdistanz von ca. 20 cm, jedoch nicht, um direkt in den Strahl zu schauen! Um direkt in den Strahl zu schauen, sind sog. Justierbrillen notwendig. Eine hochwertige Brille filtert den Strahl so gut, dass Sie diesen durch die Brille gar nicht sehen und denken, das Gerät funktioniere nicht! Bitte trotzdem nicht direkt reinschauen ... Werden verschiedene Laser im selben Raum benutzt, hat sich die Markierung der Brillen und Laser mit jeweils denselben Farbpunkten bestens bewährt.

LASERSCHUTZ

GEFAHREN KENNEN – RICHTIG SCHÜTZEN



Für Tätowierer
interessant,
Welcher Laser
eignet sich für
welche Farben.

	rot	orange	gelb	grün	blau	violett	schwarz	braun
QS-Nd:YAG Laser 1064nm	-	-	-	-	sehr gut	-	sehr gut	sehr gut
QS-Nd:YAG Laser 532nm	sehr gut	gut	gering	-	-	-	-	gering
Alexandrit-Laser 755nm	-	-	-	sehr gut	sehr gut	-	sehr gut	gering
Rubin-Laser 694nm	-	-	-	sehr gut	sehr gut	gering	sehr gut	gering
Pigm.Farbstoff-Laser 510nm	sehr gut	sehr gut	gering	-	-	gering	-	-



Abb. 2: Diese Grafik zeigt auf, welche Wellenlänge von welchem Stoff (Chromophor) wie stark absorbiert wird.

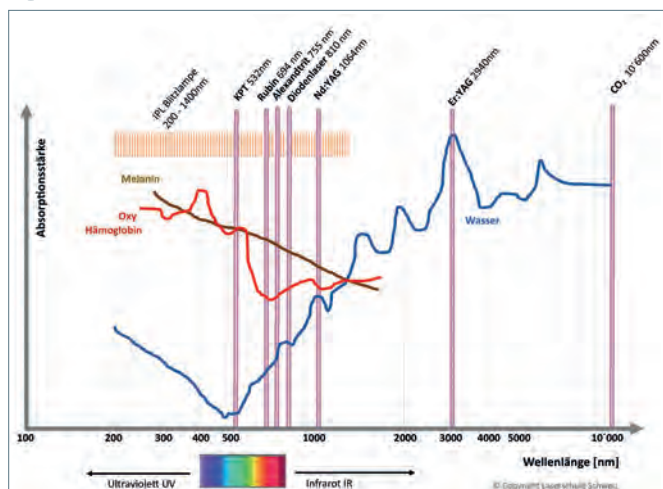
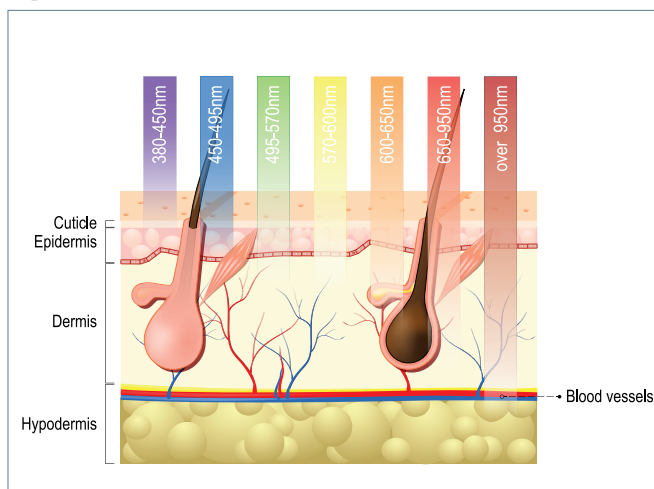


Abb. 3: Diese Grafik zeigt, wie tief verschiedene Wellenlängen in die Haut eindringen.



WESHALB VERSCHIEDENE LASER?

Man kann sich auch fragen, welcher Laser wofür? Nun, wir haben gesehen, dass das Laserlicht entsprechend dem Laser eine spezifische Wellenlänge besitzt. In der Medizin werden Laser hauptsächlich auf der Haut eingesetzt. Dies besteht vereinfacht aus Wasser, Blut und dem Hautfarbstoff Melanin. Wenn wir tätowiert sind, haben wir noch Tinte eingelagert, welche meistens auch noch aus verschiedenen Farben besteht (sonst wäre es ja zu einfach). In Abbildung 2 sehen wir, welche Wellenlänge von welchem Stoff (Chromophor) wie stark absorbiert wird. So können wir ablesen, dass der Diodenlaser bei 808 nm das Melanin sehr gut sieht, das Blut viel weniger und das Wasser kaum. Das ist einer der Gründe, weshalb der Diodenlaser die Haare sehr gut entfernt, ohne das umliegende Gewebe zu schädigen, eben sehr selektiv ist. Der Alexandrit Laser liegt in der Nähe mit 755 nm und macht keinen grossen Unterschied. Ein IPL ist kein Laser und erzeugt ein Breitspektrum Licht von ca. 200 nm bis 1200 nm, erwärmt ebenfalls am meisten das Melanin, jedoch auch Blut und Wasser, was eben der Grund für zum Teil schmerzvolle Behandlungen sein kann. Mit sog. Cut-Off-Filtern wie 540 nm, 680 nm wird der Wellenlängenbereich unterhalb dieser Angaben herausgefiltert und so das Blut geschont.

NUN, DAS IST IMMER NOCH NICHT ALLES ...

Verschiedene Wellenlängen dringen verschieden tief in die Haut ein, wie Sie der Abbildung 3 entnehmen können. Unterhalb einer Wellenlänge von 200 nm (UVC) und ab einer Wellenlänge von 1400 nm dringt die Strahlung kaum mehr in die Haut ein. So arbeitet zum Beispiel der CO₂-Laser (10 600 nm, auch als Fraktionslaser bekannt) an der Oberfläche, ausser er wirkt lange genug ein. Ein CO₂-Laser erkennt das Wasser sehr gut, welches beim Auftreffen

des Strahls sofort verdampft und so die Haut je nach Anwendung eben invasiv fraktioniert (in einem einstellbaren Muster durchlöchert bzw. schneidet) oder eben auf der Oberfläche ablativ abträgt.

Man könnte sich noch über die Ionisationseigenschaften, der Puls-länge Dauerstrich, Millisekunden, Nanosekunden und Picosekunden, über die verschiedenen Wirkungen wie thermische Wirkung, fotochemische Wirkung, Fotodisruption, Fotoablation und selektive Fotothermolyse unterhalten, aber ich denke, für's Erste ist es genug ... oder?

FAZIT

Immer eine Brille tragen, nicht dass Sie auf einmal nur noch imaginäre rosa Elefanten sehen müssen. In diesem Sinne wünsche ich ein erfolgreiches und sicheres Arbeiten mit dem Laser.

Zur Autor

Rene R. Pfister ist Dipl. El. Ing., Exec. MBA HSG und Inhaber der Artmed GmbH in Basel. Als Gründer und Dozent Laserschule Schweiz; Vorstand des Schweizerischen Laserschutzverbandes; Dozent für technische Kosmetik und Laseranwendungen, berät er Kunden aus der Versicherung, der Industrie und dem Gesundheits-/Kosmetikwesen betreffend sicherem Betrieb von Laseranlagen auf Basis rechtlicher Grundlagen der Schweiz und Deutschlands.

