

Schlüsselkonzepte der Laserzahnmedizin

In seinem neuen Werk „Grundlagen der Laserzahnheilkunde“ stellt Autor Dr. Rene Franzen/Aachen die Schlüsselkonzepte der Laserzahnmedizin auf leicht verständliche Art vor. Dabei stellt er besonders solche Punkte heraus, die für die Wirkung der Laserstrahlung im Gewebe verantwortlich und damit relevant für die tägliche klinische Praxis sind. Im folgenden Artikel handelt es sich um einen Auszug aus diesem Basiswerk der Laserliteratur.

Dr. Rene Franzen

■ Eine der kürzesten Definitionen für einen medizinischen oder dentalen Laser ist die folgende:

Ein Laser ist ein Konzentrador von Energie.

Dies ist genau das, was ein Laser für den therapeutischen Einsatz leisten muss. Die Konzentration von Energie erfolgt dabei auf verschiedenen Qualitätsebenen. Wir könnten auch feststellen, dass hieraus folgende Eigenschaften ableitbar sind:

Ein Laser besitzt eine hohe spektrale Energie- bzw. Leistungsdichte.

Da es sich hierbei um das Kernstück der medizinischen Laseranwendung handelt, schauen wir uns die Bedeutung dieser Feststellung genauer an. Wir beginnen mit Energie bzw. Leistung. Dies sind unterschiedliche Parameter, die Energie wird in Joule gemessen und die Leistung in Watt. Die Joules stellen die Menge an Energie dar, und diese Energiemenge ist nichts anderes als der verabreichte Wirkstoff, den wir als eine Art Pseudomedikament auffassen können. Dieses wird eingesetzt, um unterschiedliche Effekte oder Folgeerscheinungen am Gewebe auszulösen.

In der Pharmakologie messen wir die Wirkstoffmenge in Milligramm. Oft wird diese oral oder intravenös verabreicht und wirkt systemisch. Beim Laser ist der Wirkstoff die in das Gewebe eingestrahlte Energie, die einen Effekt auslösen soll. Sie wirkt hierbei immer nur in einem begrenzten Areal des Körpers und wirkt nicht systemisch, was Laser zu einem idealen Therapiemittel für minimalinvasive oder selektiv wirkende Prozeduren macht.

Die Leistung, die „Watts“, definieren sich als Energie pro Zeit. Ein Watt ist ein Joule in einer Sekunde. Wenn Sie das gleiche Joule in nur 0,1 Sekunden abstrahlen, haben Sie eine Leistung von 10 Watt benutzt. Die Energie (1 Joule) ist beide Male gleich, aber der er-

zielte Effekt im Gewebe ist möglicherweise ein anderer. Dies ist vergleichbar mit einem pharmakologischen Wirkstoff, den Sie über verschieden lange Zeiten anwenden.

Energie und Zeit

Beispiel: 100 Pillen eines Schmerzmittels. Ihr Patient nimmt diese in einem Zeitfenster von 100 Tagen. Wenn hingegen die gleiche Wirkstoffmenge in nur 100 Minuten genommen wird, ist die Wirkung wahrscheinlich fatal, da es sich um eine massive Überdosis handelt. Die Wirkstoffmenge ist in beiden Fällen identisch (100 Pillen), aber es kommt sehr auf die Zeit an. Dasselbe gilt für die applizierte Energie des Lasers – bezogen auf die Zeit hängt sie mit der Dosis zusammen.

Der Zusammenhang zwischen Energie und Leistung ist die Zeit, die es braucht, um diese Energiemenge in das bestrahlte Gewebavolumen (auch Region of Interest oder ROI genannt) einzubringen. Und dies ist auch direkt die erste Qualität, in der ein Laser Energie konzentrieren kann. Bei zahlreichen medizinischen und zahnmedizinischen Anwendungen ist es das Ziel, die Energie in sehr kurzer Zeit im Gewebavolumen zu deponieren und hiermit einen gewünschten Effekt, eine Veränderung oder einen Abtrag von Gewebe hervorzurufen, indem ein gepulstes Lasersystem eingesetzt wird, das eine hohe Leistung während des Pulses aufweist.

Kommen wir zurück auf die verbleibenden Worte der obigen

Zeile. Da Energie und Leistung über die Zeit verknüpft sind, haben wir noch „hohe spektrale Leistungsdichte“. Nun, das Wort „hoch“ ist einfach zu verstehen, oder? Oftmals denkt man beim Wort Laser an Hochleistungsgeräte, gebündeltes Licht, konzentrierte Strahlung und so fort.



Aber hat jeder Laser eine hohe Leistung?

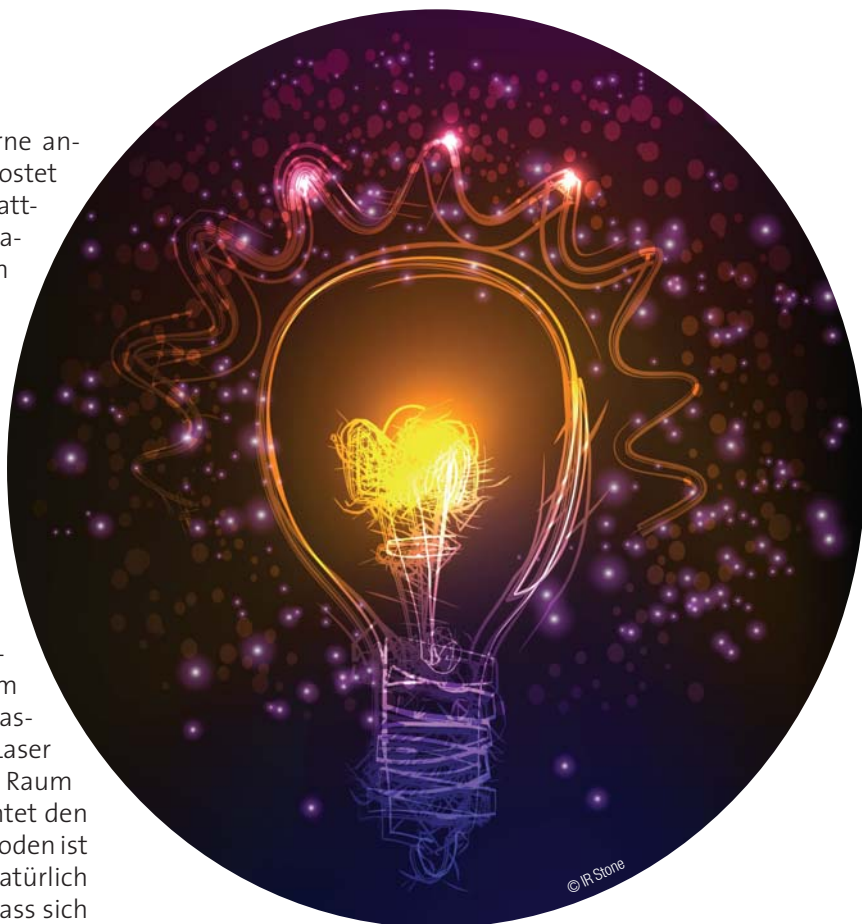
Warum benutzen wir keine 100-Watt-Glühbirne anstatt eines Lasers für eine Behandlung? Diese kostet zwischen 1 und 2 Euro. Dagegen kostet ein 7-Watt-Diodenlaser leicht 10.000 Euro, ein Festkörperlaser wie Erbium oder Neodym sogar noch mal ein Mehrfaches davon. Und in der Tat erwerben Sie mit der Glühlampe deutlich mehr Strahlungsleistung als mit den genannten Lasern. Aber Leistung alleine ist nichts wert. Leistung ist eine der Qualitäten eines Lasers, nämlich die zeitliche Konzentration der Energie. Eine Dauerlichtquelle wie eine Glühlampe oder ein cw-Diodenlaser konzentriert aber nicht, sondern streckt Energie als gleichmäßige Abgabe über einen längeren Zeitraum. Aber unsere Zeile von weiter oben sprach nicht direkt von hoher Leistung, sondern von hoher Leistungsdichte. Hiermit meinen wir die Konzentration der Energie im Raum, über die Querschnittsfläche des Strahls. Lassen Sie uns die 100-Watt-Glühbirne mit einem Laser vergleichen. Die Glühbirne hängen wir in einen Raum von ca. 25 Quadratmetern (m^2) und sie beleuchtet den Raum gleichmäßig in alle Richtungen. Der Fußboden ist beleuchtet, die Decke ebenso und die Wände natürlich auch. Der Einfachheit halber nehmen wir an, dass sich diese Flächen auf ca. $100 m^2$ aufaddieren. Die 100 W verteilen sich dann auf $100 m^2$ und ergeben eine Leistungsdichte oder Intensität am Fußboden von $1 W/m^2$.

Vergleichen wir dies nun mit einem Laser. Wir nehmen hierfür einen ganz leistungsschwachen Laser, einen 1-mW-Laserpointer, der einen roten, sichtbaren Strahl abstrahlt, d.h. Sie benötigen 100.000 Pointer, um die gleiche Leistung abzustrahlen wie die Glühbirne, aber der Strahlfleck ist nur ca. $1 mm^2$ groß. Die Leistungsdichte ist dann $1 mW/mm^2$ oder $1.000.000 mW/m^2$, was letztendlich $1.000 W/m^2$ ist, also die tausendfache Intensität als bei der Glühbirne.

Wir brauchen hier nur grobe Zahlen, da es nur auf die Größenordnung der Zahlen ankommt. Der Laserpointer konzentriert seine Leistung im Raum, auf einen kleinen Strahlfleck, und erreicht somit trotz seiner deutlich unterlegenen Leistung eine 1.000-fach höhere Leistungsdichte.

Wenn wir diesen Vergleich mit einem 7-Watt-Diodenlasersystem fortsetzen, so kommen wir zu einer Leistungsdichte von ca. 7 Millionen Watt pro Quadratmeter an der Auskoppelfläche der Glasfaser.

Wir sind aber mit unserer Zeile noch nicht ganz fertig, ein Wort fehlt noch. Die Leistungsdichte ist nicht nur hoch, sie ist spektral hoch. Dies bezieht sich auf die Position der Emission im elektromagnetischen Spektrum und die involvierten Wellenlängen. Die Glühbirne strahlt weißes Licht ab, dies bedeutet, dass alle Spektralfarben vorhanden sind. Aber die Glühbirne ist ineffizient. Nur 5–10 % ihrer Strahlung ist sichtbares Licht, die restlichen 90 % entfallen auf Infrarotstrahlung, trägt also zum gewünschten Effekt, der Beleuchtung des Raumes, gar nicht bei.



Der Laserpointer hingegen strahlt nur eine Farbe ab, er ist monochromatisch. Seine Intensität von $1.000 W/m^2$ wird nur bei einer einzigen Wellenlänge von 650 nm abgegeben. Die Glühbirne strahlt natürlich unter anderem auch 650 nm ab. In einem strengen Vergleich, wenn wir einen Farbfilter vor die Lampe halten, der nur Licht zwischen 649 und 651 nm durchlässt, was bleibt dann noch übrig? Von den $1 W/m^2$ entfallen ohnehin bestenfalls 10 % auf den sichtbaren Bereich, das sind nur noch $0,1 W/m^2$. Und diese Leistungsdichte verteilt sich auf alle Spektralfarben. Der kleine Ausschnitt um 650 nm, der den Filter passieren würde, entspräche dann nur noch $0,001$ – $0,005 W/m^2$. Und diesen Wert müssen wir in Relation sehen zu den $1.000 W/m^2$ des Laserpointers – diese ist ca. 1 Million Mal höher!

Dies meinen wir, wenn wir einen Laser als einen Energiekonzentrator verstehen, der eine hohe spektrale Leistungsdichte besitzt. Er konzentriert die Energie (den Wirkstoff) auf eine kleine Fläche (Dichte, Querschnitt), in einer gewissen Zeit (Energie wird zu Leistung, insbesondere bei gepulsten Lasern) und auf nur eine Wellenlänge. Diese Monochromasie ist ein Schlüsselement für den minimalinvasiven Einsatz eines Lasers, denn so können wir die Energie genau dort hinbringen, wo sie einen Effekt bewirken soll. Monochromasie ermöglicht Selektivität, d.h. wir können die optischen Eigenschaften von Geweben bzw. Gewebekomponenten in Verbindung mit einer geeigneten Laserwellenlänge so ausnutzen, dass ein Gewebekomponente signifikant mehr Energie absorbiert als andere. Dieses Schlüsselement eröffnet eine Vielzahl an selektiv wirkenden Laserbehandlungen.

Selektivität

Einen medizinischen Laser selektiv einzusetzen heißt in der Tat nicht nur, die Energie in einem Zeitfenster in ein kleines Gewebavolumen zu applizieren, sondern darüber hinaus die Energie in diesem Volumen gezielt auf gewünschte Gewebestandteile bzw. Zielstrukturen zu konzentrieren.

Lassen Sie uns mit einem einfachen Alltagsbeispiel anfangen. Stellen Sie sich vor, Sie machen Urlaub im Süden, in einem schönen Hotel mit einem Swimmingpool. Der Pool ist eingefasst mit weißen und schwarzen Fliesen. Der Himmel ist stahlblau und die Sonne brennt. Sie gehen nach dem Frühstück zum Pool. Was finden Sie? Die weißen Fliesen werden noch kühl von der Nacht sein, während die schwarzen Fliesen schon unangenehm warm oder gar heiß sind (deswegen werden Sie auch fast nirgends schwarze Bodenbeläge an Pools finden!). Dies ist so, da die Beziehung

Leistung ist Energie dividiert durch Zeit

auch als

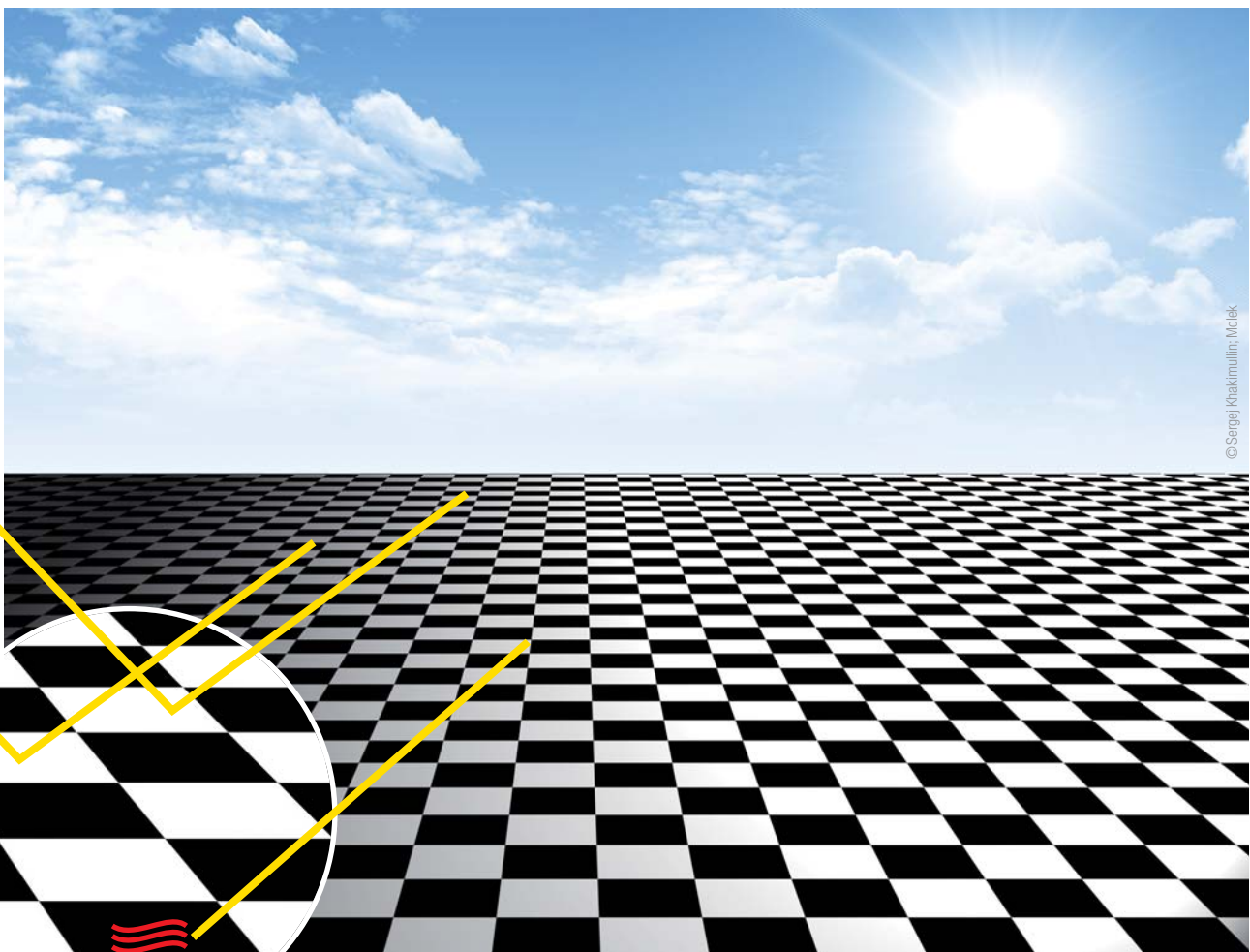
Energie ist Leistung multipliziert mit Zeit

ausgedrückt werden kann. Oder in diesem Beispiel: die absorbierte Energie (Wärme der Fliesen) ist absorbierte

Leistung (Strahlung der Sonne) multipliziert mit der Zeit (Bestrahlungszeit; hier: die Zeit seit Sonnenaufgang). Die absorbierte Leistung auf den weißen Fliesen ist gering, da der Großteil des Sonnenlichtes reflektiert und gestreut wird. Das ist genau der Grund dafür, dass die Fliesen weiß aussehen, denn das Licht wird von ihnen zurückgeworfen und kann unsere Augen erreichen – viel Licht kommt bei uns an, also sehen die Fliesen hell aus.

Die schwarzen Fliesen absorbieren hingegen den Großteil der eingestrahlt Leistung. Nur ein kleiner Anteil wird zurückgestrahlt und kann ins Auge fallen – die Fliese sieht dunkel oder schwarz aus. Schwarz an sich ist keine Farbe, sondern einfach die Abwesenheit von Licht und damit auch von ausgestrahlter Lichtenergie. Da hier viel Leistung über die Sonne eingestrahlt wird, aber nur wenig Leistung reflektiert ist, nimmt die Energie der Fliese im Laufe der Zeit zu – sie wird heiß. Wärme ist auch nur eine spezielle Form der Energie. Die hellen und die dunklen Fliesen verhalten sich unter der gleichen Bestrahlung anders, dies ist selektive Absorption von optischer und infraroter Strahlung. Sie erhalten eine unterschiedliche optische Antwort von zwei Komponenten, auch wenn sich diese in unmittelbarer Nachbarschaft befinden.

Allerdings müssen wir noch einen sehr wichtigen Effekt berücksichtigen. Sie gehen um 17 Uhr noch einmal zu dem Pool, die Sonne schien den ganzen Tag. Die schwarzen Fliesen sind immer noch heiß, aber die weißen sind



© Sergej Khakimullin, Molek

es nun auch. Die weißen Fliesen, also die schwachen Absorber, heizen sich langsamer auf, da die absorbierte Leistung deutlich geringer ist, aber unter einer genügend langen Bestrahlungszeit sammelt sich trotzdem viel Energie (hier Wärme) an. Nun spüren wir keinen Unterschied mehr zwischen Schwarz und Weiß unter unseren Füßen. Die Selektivität ist im Laufe des Tages verloren gegangen.

Sie können die Selektivität verlieren, wenn Sie zu lange bestrahlen

Wir können das Pool-Beispiel leicht zu einem zahnmedizinischen Beispiel ausbauen: Eine laserunterstützte endodontische Behandlung folgt genauso dem Konzept der Selektivität. Eines der Hauptprobleme endodontischer Problemfälle sind Mikroorganismen, die in die lateralen Dentintubuli migrieren. Aus der Literatur ist bekannt, dass Bakterien wie *Streptococcus mutans* 1.100 µm in die Tubuli einwandern können, während die konventionellen Spüllösungen nur bis ca. 100 µm effektiv sind. Ebenso machen Sekundärkanäle, Isthmen oder ein apikales Delta eine konventionelle Reinigung nahezu unmöglich. Hier können wir jedoch eine optisch selektive Situation ausnutzen. Mehr als 95 % dieser Mikroorganismen sind pigmentiert und die restlichen < 5 % sind thermolabil und somit anfällig für Restwärmen nach einer Bestrahlung. Das Dentin selbst ist nicht pigmentiert. Die Mikroorganismen verhalten sich wie die schwarzen Fliesen und das Dentin entspricht den weißen. Wir können nun eine Laserwellenlänge auswählen, die stark in Pigmenten bzw. Melanin absorbiert und gleichzeitig im Dentin nur gestreut und transmittiert wird. Die Frage stellt sich nach der Dosis, der Menge an Wirkstoff (Energie!), die wir benötigen, um die Bakterien abzutöten. Die Frage ist äquivalent zu der Frage „Wann muss ich zum Pool gehen, um die weißen Fliesen kühl vorzufinden, die schwarzen aber schon heiß?“. Wir beobachten das einen Tag lang und finden eine Antwort wie z.B. „Um 10.23 Uhr!“.

In der Lasermedizin ist die Antwort nicht so einfach zu finden, hier wird ein gewisser Aufwand an Forschung benötigt, um sicherzustellen, dass die benötigte Dosis mit dem richtigen Behandlungsprotokoll in die richtigen Gewebereiche appliziert wird. Für die laserunterstützte Endodontie hat bereits in den 1990er-Jahren Prof. Dr. Norbert Gutknecht, der auch das Vorwort zu diesem Buch verfasste, an der RWTH Aachen die Bakterienreduktion in infizierten Wurzelkanälen untersucht und ein geeignetes Behandlungsprotokoll entwickelt. Diese Technik, die heute auch als Aachener Protokoll bezeichnet wird und die wir in unseren Kursen an der RWTH Aachen lehren, beinhaltet genaue Angaben zu den Einstellwerten für geeignete Wellenlängen, Energie, Leistung, Pulsrepetitionsrate, Fasertyp und Bewegungsvorschrift für den Applikator. Dies ist unser „10.23 Uhr“. Bei einer solchen Behandlung können wir exzellente Ergebnisse erzielen, weil wir Energie auf eine geeignete Art und Weise konzentrieren: in der Zeit (gepulst, gesteuert über die Repetitionsrate und Pulsdauer), im Raum (Be-

wegungsvorschrift der Faser, Fasertyp, optische Eindringtiefe des Laserstrahls), spektral (starke Absorption in Melanin, geringe Absorption in Dentin).

In unserem Beispiel des infizierten Wurzelkanals konzentrieren wir die Energie in den Bakterien, die dann durch die absorbierte Strahlung lokal überhitzen und absterben, ohne dabei das umliegende Gewebe signifikant zu erwärmen. Das Ziel ist es, den Wirkstoff (Energie) selektiv den Mikroorganismen zuzuführen.

Und genau wie in der Pharmakologie kann der Wirkstoff über- oder unterdosiert werden. Wenn Sie zu zaghaft sind, eine zu geringe Leistung einsetzen und mit der Faser den Wurzelkanal zu schnell verlassen, dann können das Dentin und benachbarte Knochenstrukturen keine thermische Schädigung erleiden. Aber den Bakterien schadet es auch nicht. Das ist so, als ob Sie kurz nach Sonnenaufgang zum Pool gingen, alles ist noch kühl, auch die schwarzen Fliesen. Dies ist die Unterdosierung.

Andererseits wird, wenn jemand 10 W einsetzt, nur weil der Laser diese Leistung hergibt, und dann ganz langsam die Faser im Kanal bewegt, überdosiert. Die Bakterien sterben ab, der umliegende Knochen höchstwahrscheinlich ebenso, das Dentin karbonisiert. Der Pool um 16.00 Uhr; alles ist heiß, es gibt keine Selektivität mehr.

An diesem Punkt sei deutlich betont, dass es sehr wichtig ist, sich mit den Behandlungsprotokollen intensiv auseinanderzusetzen. Die Einstellwerte, die meist von den Herstellern der Geräte mitgeliefert werden, sind nur die halbe Miete. Mindestens genauso wichtig, eigentlich noch wichtiger, ist die korrekte Handhabung und Führung der Faser bzw. des Laserhandstücks. Die Bewegung des Handstücks ist in der Tat ein eigenständiger Laserparameter, da er maßgeblich die räumliche Verteilung der Energie bestimmt. Diesen Parameter können Sie in keiner Tabelle nachschlagen. Viele Dinge sind hier fundamental anders als z.B. die Vorgehensweisen mit dem Skalpell oder der Turbine, die Sie im Studium erlernt haben. Die korrekte Führung muss geübt werden, im Hands-on-Training am Skill-Modell.

In diesem Buch werden Sie mit den Schlüsselkonzepten vertraut gemacht, warum Laser in der Zahnmedizin sinnvoll eingesetzt werden können und wie sie wirken. Dieses Verständnis wird Ihnen beim Besuch weiterführender klinischer Workshops von enormem Nutzen sein. ■

„Grundlagen der Laserzahnheilkunde“ ist auf Deutsch, Englisch und Griechisch, gedruckt oder als E-Book unter www.lulu.com/spotlight/renefranz sowie über www.amazon.de, iBookstore und iTunes erhältlich. Infos zu weiterführenden Workshops finden Sie unter www.aalz.de

■ KONTAKT

Dr. Rene Franzen
Roermonder Straße 112
52072 Aachen
rene.franzen@me.com

