

## BLICKPUNKT

# Photobiomodulationstherapie (PBMT) und Low-Level-Laser-Therapie (LLLT)

Photobiomodulation therapy (PBMT) and low-level laser therapy (LLLT)

P. Kurz

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Low-Level-Laser-Therapie ist bereits über 50 Jahre alt. Es handelt sich dabei um eine sehr gut untersuchte Regulationstherapie, in der durch Bestrahlung von Haut und Wunden mit Photonen die ATP-Synthese in den Mitochondrien angeregt wird. Dadurch kommt es zu einer Vielfalt von biochemischen Reaktionen im gesamten Körper, welche einen anti-inflammatorischen und immunologischen Effekt, eine analgetische Wirksamkeit und die Förderung der Zellproliferation auslösen. Die optimale Wellenlänge des Lichts ist dabei zwischen 633 und 690 nm, also im roten Bereich. Die optimale Bestrahlungsdosis ist dabei 10 J/cm<sup>2</sup> [1, 9]. Im Zuge der technischen Weiterentwicklung weiß man mittlerweile, dass nicht unbedingt kohärentes, also Laser-Licht benötigt wird, um biologische Prozesse im Körper anzuregen – Geräte auf LED-Basis haben den gleichen Effekt. Ein Unterschied besteht in den Möglichkeiten der angewandten Energiedichte. Der Erfinder der Low-Level-Laser-Therapie, Andre Mester, hielt es daher auch für sinnvoll, den Begriff der Photobiomodulation zu verwenden. Diese Bezeichnung würde der Art und Weise, wie auf Haut und Wunde eingewirkt und das Gewebe beeinflusst wird, eher entsprechen [3, 13].

## SCHLÜSSELWÖRTER

Chronische Wunden, Low-Level-Laser-Therapie, Photobiomodulationstherapie

## SUMMARY

The low-level laser therapy is now over 50 years old. It is a very well researched regulation therapy in which the ATP synthesis in the mitochondria is stimulated by irradiation of skin and wounds with photons. This leads to a variety of biochemical reactions throughout the body, which trigger an anti-inflammato-

ry and immunological effect, analgesic efficacy and the promotion of cell proliferation. The optimal wavelength is between 633 and 690 nm i.e. in the red area. The optimum irradiation dose is 10 J/cm<sup>2</sup>. Now, however, the technology has evolved and we now know that it does not necessarily require coherent, i.e. laser light, to stimulate biological processes in the body. LED-based devices also stimulate. The difference lies in the possibilities of the applied energy density. Science therefore considers, it is useful to use the term of photobiomodulation, which was coined by the inventor of low-level laser therapy Andre Mester at the time. It would more match the way we act on the skin and wound, and can affect the tissue.

## KEYWORDS

Chronic wounds, low-level laser therapy, photobiomodulation therapy

## Einleitung

Die Wirksamkeit der sogenannten Lasertherapie wird in der Literatur immer wieder bestätigt. Trotzdem findet sie kaum Anwendung in der Wundbehandlung und ist noch immer mit einem gewissen Mythos belegt. Viele Behandler können sich nicht vorstellen, dass das „rote Licht“ eine relevante Auswirkung auf die Regenerationskraft des Organismus hat. Ihnen ist unklar, welche Technik eingesetzt, welche Leistung angewandt wird und wie lange eine Bestrahlung dauern sollte.

Man erkennt nicht sofort die Auswirkung der Behandlung und kann daher keinen kausalen Zusammenhang zum Ergebnis herstellen. Unser Wissen als Wundbehandler über die Vorgänge auf zellulärer Ebene ist wahrscheinlich marginal bis kaum vorhanden. Der Autor selbst ist jahrelanger Anwender von Lasertechnik in der Wundbehandlung und fasst in diesem Artikel alle rele-

## Korrespondierender Autor

Peter Kurz

WPM Wund Pflege

Management GmbH

Prof. Knesl-Platz 11

A-2222 Bad Pirawarth

E: peter.kurz@w-p-m.at

## Interessenkonflikt

Der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des Internationalen Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) besteht.

## Zitierweise

P. Kurz. Photobiomodulationstherapie (PBMT) und Low-Level-Laser-Therapie (LLLT) WUNDmanagement 2020; 14(5):229-234.

## Manuskriptdaten

Eingereicht: 4.8.2020

Revidierte Fassung

angenommen: 28.8.2020

vanten Informationen, welche auch wissenschaftlich basiert sind, zusammen. Es ist natürlich wichtig, das richtige Werkzeug auch richtig einzusetzen. Dazu benötigt es entsprechendes Know-how.

### Etwas zur Geschichte

Wir erfahren intuitiv, dass natürliches Sonnenlicht für uns wohltuend ist. Rotes Licht wurde in der Medizin bereits in der Antike verwendet. Das sogenannte „Rot-Licht-Syndrom“ wurde im 19. Jahrhundert bereits beschrieben und zwischen 1890 und 1930 wurde hier viel an experimenteller Arbeit geleistet. Die Heilung mit rotem Licht gehörte zu den Methoden, die von Niels Ryberg Finsen (Abb. 1), einem färöisch-dänischen Dermatologen und dem Vater der zeitgenössischen Phototherapie, intensiv erforscht und breit angewandt wurde. Er erhielt den Nobelpreis für Medizin im Jahr 1903 für seine Erfolge bei der Behandlung von Pocken, Lupus



Abb. 1 Niels Ryberg Finsen

erythematodes und Hauttuberkulose (Abb. 2) mit konzentriertem, gekühltem Licht, welches reich an UV-Strahlung war. Vorher hatte er bereits Kinder, die an Rachitits litten, ebenfalls mit Licht behandelt, denn um diese Zeit war auch die Rachitis eine weit verbreitete, aber nicht verstandene Erkrankung bei Kindern in den Großstädten. Die Lichttherapie war noch nicht verstanden oder akzeptiert. Forscher konnten sich zum Beispiel den Zusammenhang der Wirksamkeit von Licht auf den Stoffwechsel nicht vorstellen. Erst nachdem der Vitamin-D-Stoffwechsel entschlüsselt wurde, wurde die Wichtigkeit von Sonnenlicht erkannt [5, 10, 12].

Nach der Entdeckung des Lasers (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation „Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung“) um 1960 kamen allmählich stark monochromatische Lichtquellen mit hoher Lichtausbeute zum Einsatz, die von medizinischen Forschern versuchsweise für Heilungszwecke genutzt wurden. Der erste Wissenschaftler, der hiermit therapeutische Effekte erzielte, war der Ungar Endre Mester, Pionier in der Lasermedizin und Vater der Photobiomodulationstherapie (PBMT) (Abb. 3). Ende der 60er Jahre veröffentlichte er seine ersten Ergebnisse mit einem Rubinlaser (633 nm). Im Laufe der Zeit stellte er fest, dass eine Behandlung mit rotem Licht eine beschleunigte Heilung unterschiedlichster Wunden herbeiführt. Er experimentierte mit Schnittwunden, Verbrennungen, diabetischen Ulzerationen, infizierten Wunden und Dekubiti. Seitdem wurde die heilende Wirkung von Licht zwischen 600 nm und 1000 nm auch auf viele andere Ge-

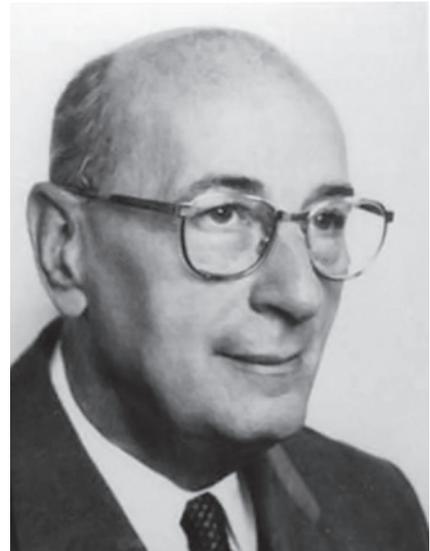


Abb. 3 Prof. Endre Mester

webearten festgestellt, wie Muskeln, Nerven, Sehnen, Zahnfleisch, Knorpel und Knochen [4, 6, 12, 13] (Tab. 1).

Wie man sieht, hat die Behandlung mit rotem Licht eine bereits lange erfolgreiche Geschichte hinter sich. Aber warum wird sie immer wieder in Frage gestellt und auch viel zu selten angewandt? Ein wichtiger Faktor ist die Zeit. Wir wollen Ergebnisse in kürzester Zeit und geben der Wunde und dem Gewebe kaum eine Chance, sich selbst zu regenerieren und zu reparieren. Ebenso fehlt vielerorts das notwendige Grundlagenwissen über die Vorgänge auf Zellebene. Die Photobiomodulationstherapie unterstützt auf verschiedenen Ebenen die Reparatur- und Regenerationsprozesse des Körpers, und wenn dann noch ein leistungsfähiges Gerät korrekt eingesetzt wird, dann schafft der Behandler sehr gute Ergebnisse in kurzer Zeit.

### Definition der Low-Level-Laser-Therapie und Photobiomodulation

Darunter versteht man die Bestrahlung eines Gewebes, also in der Regel die Haut, mit Licht von entsprechend geringer Leistungsdichte, sodass es zu keinem Zeitpunkt zu einer thermischen oder athermischen Schädigung kommen kann. Die Bestrahlung wirkt ausschließlich stimulierend. Wichtig ist hier zu erwähnen, dass eine Erwärmung des Gewebes von der Leistungsdichte abhängt und nicht von der absoluten Leistung. Je fokussierter ich auf ein Gewebe einwirke, desto wärmer wird es in ihm. Die Bestrahlung wirkt dann wie ein Brennglas und es kann zu

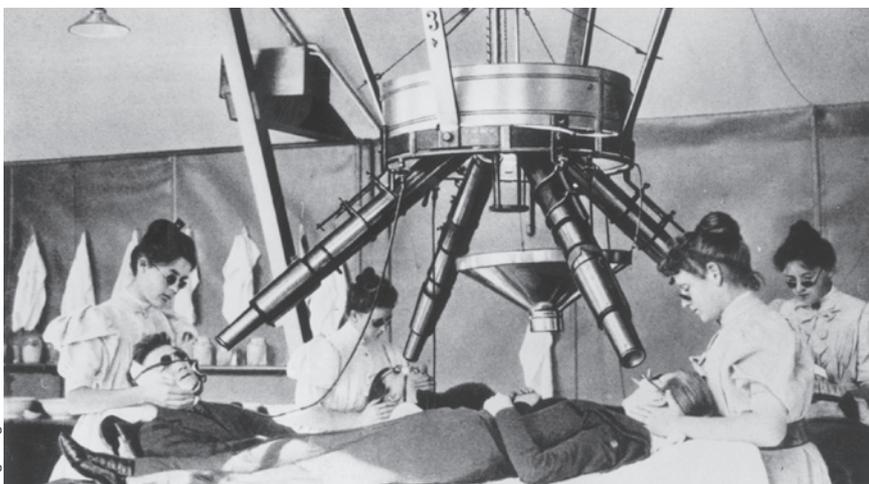


Abb. 2 Hauttuberkulose-Behandlung in Finsens Lichtinstitut in Kopenhagen

unerwünschten Schädigungen kommen. Deswegen gilt es einige Spielregeln einzuhalten, auf die später eingegangen wird [8, 10, 12, 13].

Makroskopisch gesehen gibt es folgende Haupteffekte (Tab. 1):

- anti-inflammatorischer Effekt
- immunologischer Effekt
- analgetische Wirksamkeit
- regulativ-regenerative Zellproliferation

Bei der Therapie mit niedrig dosierter Laserstrahlung zeigt sich also vor allem eine regulierende Eigenschaft. Die Laserstrahlung wirkt als Trigger für die körpereigenen Regelkreise, damit sie wieder richtig arbeiten können.

Walter schreibt 1997: „Bei einer schlecht heilenden Wunde sind meist die Sauerstoffkonzentration, der pH-Wert und damit der gesamte Zellstoffwechsel massiv gestört. Wird nun mit einem LLLT-Laser bestrahlt, kommt der Zellstoffwechsel wieder in Gang und zwar deswegen, weil sich der für die ATP-Synthese erforderliche Protonengradient über die innere Mitochondrienmembran aufbaut und alle ATP-getriebenen Membranpumpen nun gestartet werden, also alle wesentlichen Bedingungen für eine hohe Zellproliferation, immer vorausgesetzt es sind ausreichend Baustoffe verfügbar.“

Wird aber eine frische oder gut selbstheilende Wunde bestrahlt, wo die Zellproliferation mehr oder weniger hoch ist, findet man nur eine minimale oder gar keine Verbesserung durch LLLT. Mit anderen Worten: Wenn eine Zelle optimal funktioniert, gibt es nichts für den Laser zu stimulieren und damit keine erkennbare Verbesserung“ [13].

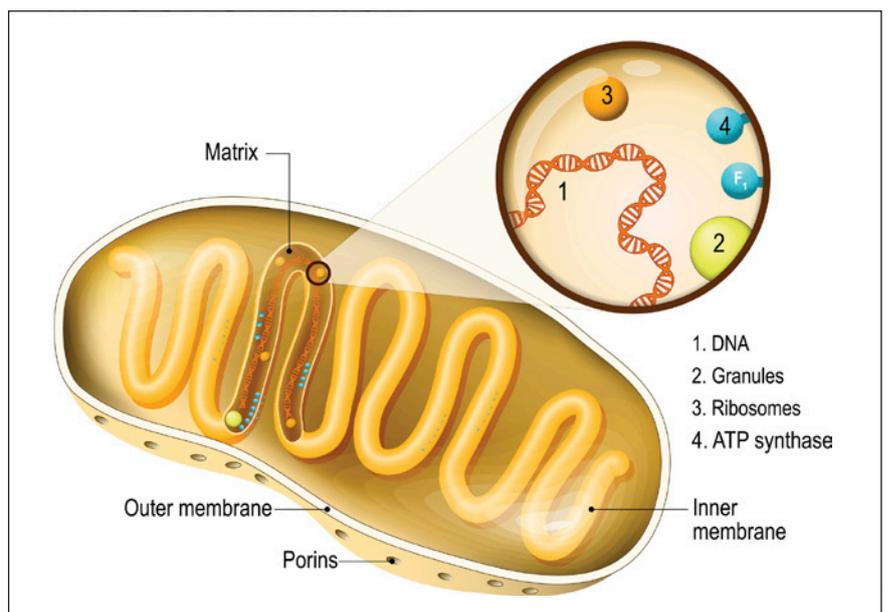
Die regulierende Eigenschaft zeigt sich aber auch bei zwei anderen LLLT-Effekten: Während bei einigen medizinischen Indikationen eine Verstärkung der Durchblutung notwendig ist (z.B. bei Zervikalsyndrom), existieren auch einige Indikationen, wo das Gegenteil, also die Reduktion der Durchblutung, erforderlich ist, z.B. bei Verbrennungen. Eine Durchblutungssteigerung bei Verbrennungen wäre sehr schmerzhaft. Entsprechend diesen gegensätzlichen Erfordernissen reguliert die niedrig dosierte Laserstrahlung die Durchblutung. Der Low-Level-Laser wirkt also als „Durchblutungsregler“ und nicht als „Durchblutungsverstärker“ [12, 13].

### Biochemische Grundlagen

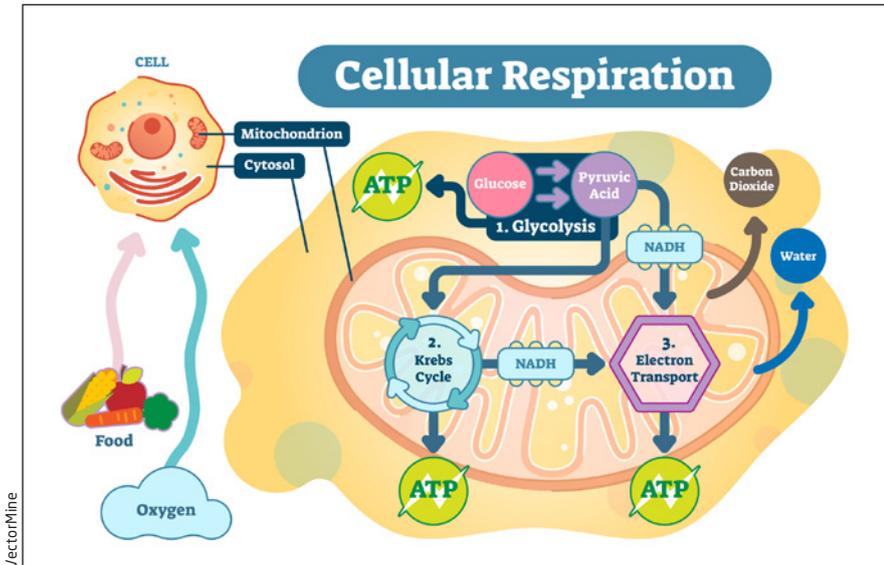
Die Russin Prof. Tiina Karu konnte in den 80er Jahren des letzten Jahrhun-

**Tabelle 1: Wirkungsbereiche der PBMT [12, 13]**

Wirkungseffekt	beteiligte Zelltypen	evidenzbasierte Einsatzgebiete (Auswahl)
anti-inflammatorisch	- von Entzündungsmediatoren (z.B. PDGF) über Megakaryozyten zu Thrombozyten - CD4- und CD8-Oberflächenrezeptoren der T-Lymphozyten zu TGF-β TNF-α bei der Entzündungshemmung	- Mukositis z.B. nach Strahlen- oder Chemotherapie - Rheuma - Herpes simplex, Herpes zoster - Otitiden, Rhinitiden - Tendopathien, Ansatzdendrosen - Achillodynie
analgetisch	- Degranulation von Mastzellen mit Freisetzung von Entzündungsmediatoren und Freisetzung von Lymphokinen aus Makrophagen - Lymphokin Interleukin-1 zu CRH zu ARH zu β-Endorphin ergibt eine Opioidrezeptor-vermittelte Analgesie	- traumatischer Schmerz - postoperativer Schmerz - Polyneuropathien - Fibromyalgien - Gelenkschmerzen - Post-Zoster-Neuralgien
regenerativ	- Thrombozyten (Gerinnung, Wundverschluss, Wachstumsfaktoren für Entzündungszellen) - Mastzellen, Lymphozyten, neutrophile Granulozyten, Makrophagen (Immunabwehr, Phagozytose) - Fibroblasten, Gefäßendothelzellen, Keratinozyten (Kollagensynthese, Angiogenese, Epithelisierung, Defektauffüllung durch Granulationsgewebe)	- Operationswunden (Kaiserschnitt, Bypass, nach Gelenkersatz, Kieferoperationen u.a.) - Diabetische Wundheilstörung - Verbrennungen - Muskelfaserriss - Sehnen- und Bänderverletzungen - Nervenverletzungen - Schürfwunden - Riss- und Quetschwunden - Knochen- und Knorpeldefekte - Hämatome
immunologisch	- Regulierung der Immunantwort durch Regulierung von reaktionsfreudigen Sauerstoffradikalen (ROS). It. Karu entstehen diese im NADHP-Oxidasesystem, in den Makrophagen und neutrophilen Granulozyten sowie in den Mitochondrien der Atmungskette - Steigerung der Erythrozyten-Deformierbarkeit - Leukozyten, Blutplasma	- rezidiv freiere Zeiträume z.B. bei Herpes - Verbesserung der Immun-Kompetenz z.B. bei Patienten auf der Intensivstation - chronische Allergien und Dermatosen - Erschöpfungszustände - Fettstoffwechselstörungen - Autoimmunerkrankungen - Diabetes mellitus



**Abb. 4** Aufbau eines Mitochondrions. Mitochondrien sind kleine grünliche Organellen mit einer Länge von 0,5-2 µm (1 µm entspricht einem Tausendstel Millimeter) [7]. Besonders hoch ist der Anteil an Mitochondrien in Zellen mit hohem Energieverbrauch wie Muskelzellen, Nervenzellen oder Eizellen. In Herzmuskelzellen beträgt der Volumenanteil von Mitochondrien ca. 36 % [2].



**Abb. 5** Bei der Zellatmung wird biochemische Energie in ATP umgewandelt.

derts beweisen, dass die Hauptphotoakzeptoren die Enzyme der Atmungskette in den Mitochondrien sind (z. B. Acetyl-Coenzym-A) (Abb. 4).

Um nun zu verstehen, wo die Laserstrahlung eingreift, muss man den Kohlehydratabbau und die Zellatmung betrachten (Abb. 5).

Die Zellatmung umfasst folgende Teilprozesse: die Glykolyse, den Citratzyklus und die Endoxidation in der Atmungskette.

Die komplexen Bestandteile unserer Nahrung werden zunächst in ihre Einheiten, also Glucose, Fettsäuren, Glycerin und Aminosäuren und schlussendlich in Acetyl-Coenzym A abgebaut. Im Citronensäure-Zyklus wird eben dieses Enzym zu  $\text{CO}_2$  oxidiert.

Die Atmungskette stellt einen Spezialfall einer Elektronentransportkette dar und spielt sich beim Menschen in der inneren Membran der Mitochondrien ab [2, 12, 13]. Damit wird ein biologischer Prozess bezeichnet, bei dem mehrere elektronenübertragende Moleküle beim Transport von Elektronen von einem Donator zu einem oder mehreren Akzeptoren zusammenwirken. Die dabei freiwerdende Energie treibt die Synthese des energiereichen ATP (Adenosintriphosphat) aus dem ADP (Adenosindiphosphat) an. Am Ende des Abbauweges gewinnt die Zelle mit Hilfe der frei werdenden Energie die energiereiche Verbindung Adenosintriphosphat (ATP), die für viele Stoffwechselfvorgänge als universelle Energiequelle für den Organismus erforderlich ist. ATP stellt also ein sehr vielseitiges

Transportmolekül dar, das mit vielen verschiedenen Energiekopplungsenzymen des Stoffwechsels interagiert. Reginald Garret und Charles Grisham bezeichneten das ATP in ihrem Grundlagenwerk „Biochemistry“ als „Intermediate Energy-Shuttle-Molecule“ [2].

Die Autoren des Buches rechnen in einem Beispiel aus, dass ein Mensch von 70 kg Körpergewicht, der ca. 2.800 Kalorien pro Tag verbraucht, dabei 65 kg ATP pro Tag umsetzt, fast sein eigenes Gewicht. Durch das hocheffiziente



**Abb. 6** Flächige Anwendung einer Laserbehandlung. Abstand hier 10 cm



**Abb. 7** Punktueller Bestrahlung bei gleicher Energie aber mit 1,5 cm einem geringeren Abstand - dadurch erhöhte Energiedichte.

Recyclingsystem für die ATP/ADP-Nutzung recycelt unser Körper die aufgenommene Energie durch den Zwischenstoffwechsel zu ATP, so dass sie wiederverwendet werden kann. Jedes ATP-Molekül in unserem Körper muss in dem Rechenbeispiel rund 1.300 Mal pro Tag recycelt werden! In diesen Begriffen gewinnt die Fähigkeit der Biochemie, die wunderbare Aktivität und Kraft der Organismen aufrechtzuerhalten, unseren Respekt und unsere Faszination [2].

### Photobiomodulation - Prinzip

Wird nun eine Zelle zusätzlich mit Licht bestrahlt (Abb. 6 und 7), werden die vorher genannten Enzymkomplexe durch die so genannte Photooxidation in ihrem Redox-Vorgang unterstützt. Elektronen sind im Anregungszustand weniger stark an das Molekül gebunden als im Grundzustand. Die Energie absorbierter Photonen wird also chemisch auf die Redoxzentren der Enzymkomplexe der Atmungskette übertragen und wirkt dort in gewisser Weise regulierend.

Der genaue Prozess ist nicht bekannt, man vermutet aber, dass die interne Zellregulation bei Bestrahlung besser funktioniert und Reparaturprozesse angestoßen werden.

Prof. Tiina Karu konnte mit spezifischen Untersuchungen in Übereinstimmung mit den klinischen Erfahrungen beweisen, dass für eine maximale Stimulation nicht nur die Energiedichte in einem bestimmten Bereich liegen muss, sondern auch die Leistungsdichte und damit die Bestrahlungszeit [11, 12].

Die durch die Bestrahlung lichtinduzierte Zunahme der ATP-Synthese führt zu einer verstärkten Aktivität verschiedener Transportsysteme. Es wird infolge die DNA- und RNA-Synthese stimuliert. In der „Lichtsignalübertragungskette“ wurde von Karu erstmals nachgewiesen, dass diese Prozessabläufe zu einer verstärkten Zellproliferation führen. Ergänzend darf noch gesagt werden, dass zum Beispiel der vom ATP angetriebene Ionencarrier  $\text{Ca}^{2+}$  fast alle Prozesse im menschlichen Körper steuert, wie zum Beispiel die Muskelkontraktion, die Blutgerinnung oder die Signalübertragung bei den Nerven. Es ist also seit drei Jahrzehnten in der Literatur beschrieben, dass die Bestrahlung mit Licht die ATP-Synthese for-

### Effekte unterschiedlicher Wellenlängen

- Je kürzer die Wellenlänge, desto höher der Energieinhalt der einzelnen Photonen.
- Nahes Infrarot (750–1000 nm): dringt tiefer ein, aber wegen des geringeren Energiegehalts weniger Unterstützung der ATP-Synthese. Für Heilungsprozesse tiefer liegenden Gewebes, wie Muskeln, Sehnen, Knochen und Knorpel.
- Rotes Licht (600–750 nm): Vorzugsweise für die Heilung offener Hautwunden oder Schleimhautwunden.
- Blaues Licht (420–500 nm): wenn ausreichend angewandt, dann bakterientötende Eigenschaften.
- Violettes Licht (380–420 nm) bis nahes ultraviolettes Licht (200–380 nm): stärkere bakterien- und virentötende Eigenschaften.

ciert sowie über die damit verbundene Anregung der Botenstoffe weitreichende Auswirkungen auf Prozesse im Körper hat [2, 3, 10–13].

### Optimale Wellenlänge

Es werden auch im nahen UV- und Blaubereich dieselben Stimulationsergebnisse erzielt wie im roten und infraroten Bereich, dennoch ist es besser, eine Bestrahlung im roten Lichtbereich zu verwenden. Es ist wichtig, das auch die Eindringtiefe beachtet wird, und diese ist wellenabhängig. Der beste Kompromiss zwischen Eindringtiefe und Wirksamkeit sind Wellenlängen im roten Bereich zwischen 633 und 690 nm [11]. Die optimale Dosis bei der Behandlung von menschlichem Gewebe ist  $10 \text{ J/cm}^2$  [1, 3]. Die Effekte der unterschiedlichen Wellenlängen sind im Kasten oben dargestellt.

### Immunantwort

Eine schlecht heilende Wunde kann auch durch ein Fehlen der Immunantwort prolongiert werden. Die Laserstrahlung verstärkt oder schwächt die Erzeugung notwendiger Sauerstoffradikale. Sie ist auch in diesem Fall ein Regulationstherapie [13].

### Analgetischer Effekt

Die analgetische Wirkung ist immer wieder ein sehr beeindruckender Effekt der Lasertherapie. Die Mechanismen sind aber sehr kompliziert. Je nachdem, was und wo bestrahlt wird, kann ein peripherer Stimulus mit dem Laser direkt über komplexe Wege das Zentralnervensystem und das Immunsystem stimulieren. Mehrere Studien konnten nachweisen, dass es zum Ausschneiden von  $\beta$ -Endorphinen und somit Opioidrezeptor-vermittelter Analgesie kommt und weiters zum Ausschneiden von Cortison und anderen Glucocorticoiden aus der Nebennierenrinde, was eine Immunsuppression und Entzündungshemmung bewirkt. Es kommt aber auch zu einer Reduktion des Ödems im Wundgebiet. Das Ödem kann Druck auf die umliegenden sensorischen Nervenendigungen ausüben, wodurch mitunter starke Schmerzen entstehen können. Durch die stark anti-ödematöse Wirkung des Lasers kommt es hier sehr rasch zu einer Schmerzreduktion.

### Fallbeispiel

In der nachfolgenden Fotostrecke ist der Heilungsverlauf eines 62-jährigen Mannes dargestellt, welcher sich eine traumatische Verletzung am Ringfinger zugezogen hatte. Es kam nach der OP zu einem septischen Verlauf durch Anaerobier. Es musste kurze Zeit später eine Revision durchgeführt werden. Tag 1 ist eine Woche nach der letzten OP (Abb. 8). Der Patient litt unter großen Schmerzen. Der Verband konnte nur mit Mühe abgenommen werden. Der gesamte Finger ist ödematös geschwollen und zeigt auf der supersensiblen Fingerkuppe bereits wieder nekrotische Anteile. Es erfolgte nach der Reinigung mit einer hypochlorigen Wundspüllösung eine Laserbehandlung mit 400 Joule im cw-Modus. Danach wurde der Finger mit einem PU-Schaumstoff auf Silikonhaftbasis versorgt. Bereits direkt nach der Bestrahlung war der ödembedingte Druckschmerz weg. Der nächste Verbandwechsel erfolgte zwei Tage später und wurde nach derselben Vorgangsweise durchgeführt (Abb. 9). Der Verband verblieb nun für 4 Tage. Am Tag 7 sieht man, was die Laserbestrahlung bewirkt hat (Abb. 10). Eine hohe analgetische Wirkung, die Zellproliferation wurde massiv an-

geregt, die Immunantwort ist ebenfalls angesprungen und die Keimlast ist deutlich reduziert.

Abbildung 11 zeigt die Wundsituation 4 Wochen nach Erstbehandlung. Der Patient hat sich  $2 \times$  täglich mit einem Stabläser weiterbehandelt. Er kann wieder Sport machen und war z.B. auch Paraglider und mit dem Mountainbike unterwegs.

### Fazit

Bleibt man bei der Photobiomodulation in einem gewissen Spektrum und Leistungsbereich, so hat man eine Technik zur Verfügung, die einen regulierenden Einfluss auf den Zellstoffwechsel, speziell auf die Zellatmung hat. Nebenwirkungen sind in der Literatur nicht bekannt, aber auch nicht auszuschließen. Daher sollte eine Anwendung immer mit einer niedrigeren Bestrahlungsdosis begonnen werden, die nach Bedarf und Erfahrung gesteigert werden kann.

Die genaue Anzahl an Photonen, die die Zellen benötigen, um sich regulieren und reparieren zu können, ist nicht



**Abb. 8** Fallbeispiel Tag 1. Ansicht oben: distal, Ansicht unten: Fingerkuppe. Der gesamte Finger ist ödematös geschwollen und zeigt auf der supersensiblen Fingerkuppe bereits wieder nekrotische Anteile.

Peter Kurz



**Abb. 9** Fallbeispiel Tag 3. Die Schmerzen sind geringer und die Zellproliferation wurde angeregt.

bekannt. Ein Laser mit nur 1 mW und einer Wellenlänge von 670 nm emittiert allein schon  $3 \times 10^{15}$  Photonen pro Sekunde [2, 3, 12, 13].

Behandler benötigen daher ein gewisses Maß an Wissen, Zeit, Erfahrung und Gefühl, um die besten Ergebnisse zu erzielen. Aber wenn man die nötige Geduld aufbringt und dem Körper die Möglichkeit zur Regulation durch Photobiomodulation gibt, dann wird man rasch erkennen, dass diese Technik Menschen mit schlecht heilenden Wunden sehr wertvolle Dienste leisten kann.

## Literatur

1. Al-Watban FAH, Zhang XY, Andres BL: Low-level laser therapy enhances wound healing in diabetic rats: a comparison of different lasers. In: Photomedicine and laser surgery 2007; 25 (2): 72–77. DOI: 10.1089/pho.2006.1094.



**Abb. 10** Fallbeispiel Tag 7. Es besteht nur noch eine kleine Wunde auf der Fingerspitze. Keine Schmerzen mehr und nur mehr dezent ödematös geschwollen.



**Abb. 11** Fallbeispiel Tag 28. Alles ist gut abgeheilt. Noch leichte Bewegungseinschränkungen, aber bereits voll belastbar.

2. Garrett R, Grisham CM (Hrsg.): Biochemistry. Brooks/Cole Cengage Learning, Belmont CA, 2010.

3. Hamblin MR: Photobiomodulation or low-level laser therapy. Journal of biophotonics 2016; 9 (11-12): 1122–1124. DOI: 10.1002/jbio.201670113.

4. Moskvín SV: Low-Level Laser Therapy in Russia: History, Science and Practice. Journal of lasers in medical sciences 8 (2), 2017, 56–65. DOI: 10.15171/jlms.2017.11.

5. Nobel Lectures: Physiology or Medicine 1901–1921. Online im Internet: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1903/finsen/biographical/>. Zuletzt abgerufen am 01.08.2020.

6. Gaspar L: Tribute to Professor Andre Messter: Father of Photobiomodulation, 2009.

7. Robijns J, Censabella S, Bulens P, Maes A, Mebis J: The use of low-level light therapy in supportive care for patients with breast cancer: review of the literature. Lasers in medical science 32 (1), 2017, 229–242. DOI: 10.1007/s10103-016-2056-y.

8. Safdari R, Pouremadi N, Talebzadeh E, Mottaghi A, Amini S, Hossienzadeh A, Movahedian Attar B: The Impacts of Low-Level Laser Therapy – A Complementary Treatment in the Management of Side Effects After Implant Surgery. Journal of lasers in medical sciences 9 (3), 2018, 207–211. DOI: 10.15171/jlms.2018.37.

9. Taradaj J, Halski T, Kucharzewski M, Urbanek T, Halska U, Kucio C: Effect of Laser Irradiation at Different Wave-

lengths (940, 808, and 658 nm) on Pressure Ulcer Healing: Results from a Clinical Study. Evidence-based complementary and alternative medicine eCAM 2013, 960240. DOI: 10.1155/2013/960240.

9. Taradaj J, Shay B, Dymarek R, Sopol M, Walewicz K, Beeckman D, Schoonhoven L, Gefen A, Rosińczuk J: Effect of laser therapy on expression of angio- and fibrogenic factors, and cytokine concentrations during the healing process of human pressure ulcers. International journal of medical sciences 2018; 15 (11): 1105–1112. DOI: 10.7150/ijms.25651.

10. Tata D, Waynant RW: Laser therapy: A review of its mechanism of action and potential medical applications. Laser & Photonics Reviews 5, 2011, 1–12. DOI: 10.1002/lpor.200900032.

11. Tatmatsu-Rocha JC, Ferraresi C, Hamblin MR, Damasceno MF, do Nascimento, NRF, Driusso P, Parizotto NA: Low-level laser therapy (904nm) can increase collagen and reduce oxidative and nitrosative stress in diabetic wounded mouse skin. Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology 164, 2016, 96–102. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2016.09.017.

12. Karu TI: Photobiological Fundamentals of Low-Power Laser Therapy. IEEE Journal of Quantum Electronics (QE-23), 1987.

13. Walter H, Walter A: Photobiological Basics of Low-Level-Laser-Application-Walter. DZA (2/97), 1997.

www.wund-online.de

# WUND MANAGEMENT

Keine verstaubten Zeitschriftenberge  
mehr, und trotzdem ist alles da!

➤ Bestellen Sie Ihr **ePaper-Abo**  
und Sie haben **sofort Zugriff auf**  
**8 Jahre WUNDmanagement.**

- + Auch unterwegs.
- + Für weniger Geld.
- + Kein Warten auf die Post.
- + Super geeignet für wissenschaftliches  
Arbeiten: Markieren und zitieren Sie  
die Textpassagen, die Sie benötigen.

Unterstützen Sie  
Ihre Mitarbeiter mit eigenen  
ePaper-Abos. Auch IP-gesteuert.  
Sprechen Sie uns an:  
[vertrieb@mhp-medien.de](mailto:vertrieb@mhp-medien.de)

Bestellen Sie Ihr **ePaper-Abo**  
**noch heute!** Einfach über  
[www.bit.ly/WM-ePaper-Abo](http://www.bit.ly/WM-ePaper-Abo)  
oder den QR-Code scannen:

