

# **White Paper**

Anwendung von  
Rotlicht & Nahinfrarot  
für Photobiomodulation und LLLT

© Medical Light Consulting, 2024  
Version 1.6



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ALLGEMEINE BEMERKUNGEN.....</b>	<b>5</b>
1.1	EINLEITUNG.....	5
1.2	ANWENDUNGSBEREICHE .....	5
1.3	WAS SIND DIE VORTEILE DER PBM? .....	5
<b>2</b>	<b>DETAILS ZU DEN ANWENDUNGSBEREICHEN DER PBM (ROT/NIR).....</b>	<b>7</b>
2.1	PBM, SPORT UND REGENERATION .....	7
2.2	PBM UND ANTI-AGING .....	9
2.3	PBM UND HAUTVERJÜNGUNG.....	10
2.4	PBM UND FUNKTIONSSTÖRUNGEN DER HAUT .....	11
2.5	PBM UND CHRONOBIOLOGIE/SCHLAF.....	12
2.6	PBM UND WINTERDEPRESSION/SAD .....	13
2.7	ANWENDUNGSBEREICHE VON ROTLICHT UND NAHINFRAROT MIT ANEKDOTISCHER EVIDENZ.....	13
<b>3</b>	<b>VORTEILE DER GANZKÖRPER-ANWENDUNG .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>ZUR TECHNIK UND GESCHICHTE DER ROTLICHT-ANWENDUNG.....</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>ANWENDUNGSPARAMETER FÜR DIE PBM .....</b>	<b>16</b>
5.1	WELCHER WELLENLÄNGENBEREICH WIRD FÜR DIE PBM VERWENDET? .....	16
5.2	DOSIERUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DIE GANZKÖRPER-PHOTOBIOMODULATION .....	19
5.3	ÜBERSICHT DER EMPFOHLENE ANWENDUNGSPARAMETER FÜR DIE WB-PBM: .....	19
<b>6</b>	<b>FAZIT.....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>ABKÜRZUNGEN UND GLOSSAR .....</b>	<b>22</b>
<b>8</b>	<b>DISCLAIMER .....</b>	<b>25</b>
<b>9</b>	<b>ÜBER DEN AUTOR .....</b>	<b>25</b>

## Zusammenfassung

Photobiomodulation (PBM), auch bekannt als Low-Level Light Therapy (LLLT), wurde zunächst unter Verwendung von Lasern punktförmig und lokal eingesetzt. Neue Technologien, insbesondere leistungsfähige LED-Strahler, ermöglichen heute auch die großflächige Anwendung, womit neben lokalen auch systemische Wirkungen erzielt werden. Die medizinische PBM nutzt nicht-thermisches Rotlicht und Nahinfrarot (NIR) zur Behandlung von Hautproblemen wie Akne, Pruritus, Neurodermitis und Psoriasis, Wundheilungsstörungen, Durchblutungsstörungen, Entzündungen, Schmerzen und neurologischen Erkrankungen.

PBM reguliert den Schlaf-Wach-Rhythmus und hilft effektiv bei saisonaler affektiver Störung (SAD, Winterdepression). PBM ist nicht-invasiv, praktisch nebenwirkungsfrei und schmerzlos, was sie nicht nur zu einer attraktiven Therapieoption macht, sondern auch Anwendungen im sportlichen Umfeld ermöglicht. Neben der Präkonditionierung der Muskulatur und Reduktion von Muskelkater stehen hier effektive Regeneration und die Pflege von Faszien und Gelenken im Fokus. Im Wellnessbereich haben sich Anti-Aging-Anwendungen zur Steigerung der Kollagen- und Elastinbildung sowie zur Faltenreduktion, zur Verbesserung der Hautdurchblutung und allgemein zur Steigerung der Zellenergie in tieferen Gewebeschichten bewährt.

Empfohlene Bestrahlungsstärken für Ganzkörper-Anwendungen liegen bei 10 - 60 mW/cm<sup>2</sup>, Energiedosen bei 10 - 60 J/cm<sup>2</sup>, und die Anwendungsdauer beträgt geräteabhängig zumeist 10 - 20 Minuten.

Anwendung von  
Rotlicht & Nahinfrarot  
für Photobiomodulation und LLLT

Version 1.6

Verfasser:  
Medical Light Consulting

Dr. med. Alexander Wunsch  
Neumühlweg 3  
67454 Haßloch/Pfalz  
mobil: +49 179 69 15 123  
wunschart@gmail.com

# 1 Allgemeine Bemerkungen

## 1.1 Einleitung

Die Verwendung von Licht zur Behandlung von Krankheiten und Verletzungen hat eine lange Geschichte, die bis in die Antike zurückreicht. Bereits Ägypter, Römer und Griechen verwendeten Sonnenlicht und Feuerschein, um Wunden und bestimmte Haut- und Stoffwechselkrankheiten zu behandeln. Seit etwa 100 Jahren war die Rotlicht-Therapie, basierend auf Glühlampen als Wärme-lichtquelle, in Arztpraxen und Privathaushalten weit verbreitet und bestens etabliert.

Wie heute bekannt ist, erzeugen Glühlampen nicht nur sichtbares Licht und fühlbare Wärme, sondern auch einen Spektralbereich, der lange Zeit von der Photobiologie vernachlässigt wurde, da er weder sichtbar ist noch ein deutlich spürbares Wärmegefühl hervorruft: Nahinfrarot (NIR) oder Infrarot A.

Während die positiven Effekte von rotem Licht also seit vielen Jahrzehnten gut bekannt und geschätzt waren, ist das Nahinfrarot ein weiterer „Protagonist“ auf der Bühne der effektiven Lichtanwendungen, der in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewinnt. Mit der Entwicklung neuartiger Lichtquellen ist heute eine wirksame Anwendung von rotem Licht ohne unerwünschte Wärmeanteile (= nicht-thermisches Rotlicht) und je nach Anwendungszweck zusätzlich mit intensiven Nahinfrarot-Anteilen möglich. Diese Anwendungsform wird zumeist als LLLT (= Low Level Light Therapie, niedrig-energetische Lichttherapie) oder PBM (= Photobiomodulation) bezeichnet. In diesem Dokument werden LLLT, nicht-thermische Rotlichttherapie, Nahinfrarot-Anwendungen und PBM synonym verwendet und der Einfachheit halber als PBM bezeichnet.

## 1.2 Anwendungsbereiche

In den letzten Jahrzehnten wurde die Anwendung der PBM bei verschiedenen Gesundheitsproblemen wie Hautproblemen, Wundheilungsstörungen, Durchblutungsstörungen, Entzündungen, Schmerzen und neurologischen Erkrankungen wie Schlaganfall und Alzheimer vielfach untersucht. Die Forschungsergebnisse sind vielversprechend und die Photobiomodulation mit rotem Licht und Nahinfrarot wird immer häufiger als weitestgehend nebenwirkungsfreie, eigenständige sowie ergänzende Therapie eingesetzt. Auch in den Bereichen von Sport, Gesundheitspflege und Kosmetik hat sich die gezielte Anwendung der PBM zu einer sehr beliebten, weil sanften und wirkungsvollen Methode entwickelt.

## 1.3 Was sind die Vorteile der PBM?

Die PBM bietet eine Reihe von Vorteilen gegenüber anderen Therapieformen. Hier sind einige der wichtigsten Vorteile:

- *Nicht-invasiv*: Die PBM ist eine nicht-invasive Therapieform, die keine Injektionen, Medikamente oder Operationen erfordert. Dies macht sie zu einer sichereren und weniger belastenden Alternative zu anderen Therapien.
- *Keine Nebenwirkungen*: Die PBM hat in der Regel keine unerwünschten Nebenwirkungen, wenn sie ordnungsgemäß angewendet wird. Im Gegensatz zu Medikamenten oder invasiven Verfahren gibt es keine Risiken wie allergische Reaktionen, Infektionen oder Blutungen.
- *Schmerzfrei*: Die PBM ist in der Regel schmerzfrei und kann sogar bei der Behandlung von Schmerzen eingesetzt werden. Es gibt keine Schmerzen oder Unannehmlichkeiten während oder nach der Behandlung.

- *Breites Anwendungsspektrum:* Die PBM kann bei einer Vielzahl von Gesundheitsproblemen eingesetzt werden, darunter Hautproblemen, Wundheilungsstörungen, Durchblutungsstörungen, Entzündungen, Schmerzen und neurologischen Erkrankungen wie Schlaganfall und Alzheimer. Die breite Palette an Anwendungen macht sie zu einer vielseitigen und nützlichen Therapieform.
- *Effektiv:* Die PBM hat in zahlreichen Studien ihre Wirksamkeit bei der Behandlung verschiedener Gesundheitsprobleme unter Beweis gestellt. Sie ist einfach anzuwenden und hat ein hohes Sicherheitsprofil, wenn zugelassene Geräte verwendet und die Anweisungen des Herstellers befolgt werden.

Insgesamt bietet die PBM eine Reihe von Vorteilen gegenüber anderen, insbesondere pharmakologischen Therapieformen. Die Therapieform wird in der medizinischen Praxis sowie im Bereich der Kosmetik und privaten Gesundheitspflege immer häufiger eingesetzt und wird voraussichtlich auch in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen.

#### **Ausgewählte Studien:**

Chung, H. *et al.* The Nuts and Bolts of Low-level Laser (Light) Therapy. *Ann Biomed Eng* **40**, 516–533 (2012).

Chang, B. *et al.* The Effects of Photobiomodulation on MC3T3-E1 Cells via 630 nm and 810 nm Light-Emitting Diode. *Medical Sci Monit Int Medical J Exp Clin Res* **25**, 8744–8752 (2019).

Zhao, H. *et al.* Comparative study on Photobiomodulation between 630 nm and 810 nm LED in diabetic wound healing both in vitro and in vivo. *J Innov Opt Heal Sci* **15**, 2250010 (2022).

## 2 Details zu den Anwendungsbereichen der PBM (Rot/NIR)

### 2.1 PBM, Sport und Regeneration

Die Anwendung der PBM im Sport hat mehrere Zielsetzungen, wobei hier zumeist Geräte zum Einsatz kommen, die sowohl Rot- als auch Nah-Infrarot-Spektren erzeugen, da sowohl oberflächliche, systemische als auch Tiefenwirkungen erwünscht sind:

1. Präkonditionierung von Muskeln, Knochen, Faszien und Gelenken
2. Optimierung von Stoffwechsel-Parametern zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit
3. Nachbehandlung zur Verringerung von Muskelkater und schnellerer Reparatur von muskulären und fasziellen Mikrotraumata sowie zur Vorbeugung von Knorpelschädigungen
4. Kombination mit Physiotherapie und
5. Kombination mit physikalischen Maßnahmen wie z.B. Kälteapplikation

Zu 1:

Die Anwendung der PBM vor der Erbringung sportlicher Leistungen kann die Leistungsfähigkeit gesteigert werden, da vermehrt Zellenergie (ATP), Sauerstoff und auch Schutzstoffe (Antioxidantien) bereitgestellt werden. Zusätzlich wird die Ausschüttung von Entzündungsparametern reguliert, was unangenehme Nachwirkungen intensiver sportlicher Betätigung reduzieren kann. Bindegewebe profitiert generell von der PBM, da dies zu einem großen Teil aus Kollagenfasern besteht, die von Fibroblasten bzw. Osteoblasten gebildet werden. Die funktionale Struktur von Faszien und Knochengewebe wird durch die PBM gestärkt. Knorpelgewebe wird nicht über Blutgefäße, sondern über Diffusion aus der Gelenkflüssigkeit heraus ernährt und versorgt. Hier wirkt die PBM vorteilhaft, da sie in der Synovialflüssigkeit den Nährstoffgehalt optimiert sowie für den Knorpel schädliche Entzündungsmediatoren reduziert.

Zu 2:

PBM kann zum Beispiel einen Einfluss auf den Laktatgehalt im Blut haben. Laktat ist ein Stoffwechselprodukt, das während intensiver körperlicher Aktivität oder bei Sauerstoffmangel im Körper gebildet wird. Ein erhöhter Laktatspiegel im Blut wird oft mit Müdigkeit, Muskelkater und einer beeinträchtigten Leistungsfähigkeit in Verbindung gebracht. Die Senkung des Laktatgehalts im Blut, die in verschiedenen Studien gezeigt werden konnte, ist ein Indikator dafür, dass die PBM den Zellstoffwechsel verbessert, die Durchblutung erhöht und die Sauerstoffversorgung und -Utilisation im Gewebe verbessert. Dies führt dazu, dass Laktat schneller aus den Muskeln entfernt und abgebaut werden kann. Seit langem ist zudem bekannt, dass PBM in positiver Weise auf das zellulär verfügbare ATP einwirkt und Durchblutung und Sauerstoff-Verfügbarkeit verbessert.

Zu 3:

Durch die Reduktion von Entzündungsparametern, Laktatkonzentration im Blut, optimierte Wundheilung und Verbesserung von Reparaturvorgängen profitieren Muskulatur, Faszienapparat, Knochen und Gelenke auch von einer Nachbehandlung mit PBM nach intensiver sportlicher Betätigung. Da die meisten Gelenke leicht von der Lichtstrahlung erreicht werden können, ist auch ein positiver Einfluss auf die Gelenkhäute (Synovia) anzunehmen, die für die Produktion von Gelenkflüssigkeit (Synovialflüssigkeit) zuständig sind. Kommt es zu einer Reduktion von Entzündungsparametern in der Synovialflüssigkeit, hat dies positive Auswirkungen auf den Gelenkknorpel und dessen Regenerationsfähigkeit nach mechanischer Belastung.

Zu 4:

Die Kombination von PBM mit Physiotherapie bietet eine vielversprechende Synergie zur Verbesserung von Heilungsprozessen und Schmerzlinderung. In Kombination mit physiotherapeutischen Techniken wie Massage, Dehnübungen und Bewegungstherapie kann PBM die Effizienz der Behandlung steigern. Physiotherapie zielt darauf ab, die körperliche Funktion und Mobilität wiederherzustellen, während PBM die zellulären Mechanismen unterstützt, die für die Gewebereparatur und Schmerzlinderung verantwortlich sind. Zusammen bieten sie eine umfassende und effektive Behandlungsstrategie für Patienten.

Zu 5:

Ganzkörper-Kryotherapie setzt den Körper extrem niedrigen Temperaturen aus, um die Leistungsfähigkeit zu erhöhen, Schmerzen zu lindern und die Durchblutung zu verbessern. Der Kältereiz auf der Haut bewirkt eine Zusammenziehung der Kapillargefäße, was zu einer Verlagerung des Blutvolumens in die Tiefe führt. Nach

der Kälteeinwirkung kommt es zu einer reflektorischen Hyperämie mit einer verstärkten Durchblutung der Hautgefäße.

Die Kombination von PBM und Ganzkörper-Kryotherapie führt zu einer Wirkungsverstärkung beider Methoden, da die PBM durch ihre Tiefenwirkung die Effekte des oberflächlichen Kältereizes ergänzt. Zusammen können diese Therapien den Heilungsprozess beschleunigen, die Muskelregeneration fördern und Entzündungen effizienter bekämpfen. Diese Synergie kann besonders vorteilhaft für Leistungssportler und Patienten mit chronischen Schmerzen sein, die nachhaltige Leistungssteigerung, Regeneration und Schmerzlinderung suchen.

### **Ausgewählte Studien:**

Abufoul, R., Gavish, L. & Haddad, M. Photobiomodulation self-treatment at home after rotator cuff arthroscopic repair accelerates improvement in pain, functionality, and quality of life: A double-blind, sham-controlled, randomized clinical trial. *Lasers Surg. Med.* **55**, 662–673 (2023).

Ferlito, J. V., Ferlito, M. V., Leal-Junior, E. C. P., Tomazoni, S. S. & Marchi, T. D. Comparison between cryotherapy and photobiomodulation in muscle recovery: a systematic review and meta-analysis. *Laser Med Sci* **37**, 1375–1388 (2022).

Forsey, J. D. *et al.* Whole-body photobiomodulation improves post-exercise recovery but does not affect performance or physiological response during maximal anaerobic cycling. *Laser Med Sci* **38**, 111 (2023).

Giovanini, B. *et al.* Preconditioning Effects of Photobiomodulation on Repeated-Sprint Ability of Professional Basketball Players. *J Strength Cond Res* **37**, 224–229 (2023).

González-Muñoz, A. *et al.* Efficacy of Photobiomodulation Therapy in the Treatment of Pain and Inflammation: A Literature Review. *Healthc* **11**, 938 (2023).

Jankaew, A., You, Y.-L., Yang, T.-H., Chang, Y.-W. & Lin, C.-F. The effects of low-level laser therapy on muscle strength and functional outcomes in individuals with knee osteoarthritis: a double-blinded randomized controlled trial. *Sci Rep-uk* **13**, 165 (2023).

Larkin-Kaiser, K. A. *et al.* Photobiomodulation delays the onset of skeletal muscle fatigue in a dose-dependent manner. *Laser Med Sci* **31**, 1325–1332 (2016).

Shaikh-Kader, A. & Houreld, N. N. Photobiomodulation, Cells of Connective Tissue and Repair Processes: A Look at In Vivo and In Vitro Studies on Bone, Cartilage and Tendon Cells. *Photonics* **9**, 618 (2022).

Vanin, A. A., Verhagen, E., Barboza, S. D., Costa, L. O. P. & Leal-Junior, E. C. P. Photobiomodulation therapy for the improvement of muscular performance and reduction of muscular fatigue associated with exercise in healthy people: a systematic review and meta-analysis. *Laser Med Sci* **33**, 181–214 (2018).

## 1.2 PBM und Anti-Aging

Mit zunehmendem Alter nehmen zahlreiche Funktionen des Organismus ab, wie zum Beispiel Durchblutung, Stoffwechselleistung, antioxidative Kapazität, Regenerationsfähigkeit, Flexibilität von Bindegewebe und Gefäßen, Zellteilungsrate und Exaktheit der Informationsweitergabe bei der Zellteilung. Für all diese Funktionen gibt es mittlerweile zahlreiche Hinweise, dass die PBM hier zu einer Optimierung führt.

Hierbei stehen insbesondere drei grundlegende Wirkmechanismen der PBM im Fokus:

- Einfluss auf kapillare Durchblutungsrate, intra- und extrazelluläre Membrandurchlässigkeit und Stofftransport (Penetrationsverstärker).
- Energiebereitstellung durch die Mitochondrien (Zellkraftwerke), dadurch vermehrte Verfügbarkeit von ATP.
- Einfluss auf die Telomere („Schutzkappen der Chromosomen“), damit Optimierung der Zellerneuerung und Reduktion von altersbedingten Fehlern bei der Zellteilung.

Zu 1:

Im Rahmen natürlicher Alterungsvorgänge verliert das Gewebe zunehmend an Flexibilität und Elastizität, was sich negativ auf die Stoffwechselleistung auswirkt. Zellmembranen werden weniger durchlässig und auch die Durchlässigkeit des Gefäßsystems nimmt stetig ab. Dadurch werden Nährstoffe nicht mehr so effektiv an- und Abfallstoffe abtransportiert.

Die Energie- und Sauerstoffversorgung sind reduziert. PBM mit geeigneten Wellenlängen wirkt dieser Entwicklung entgegen, indem die Durchblutung und der Stoffaustausch verbessert werden. Dadurch wird auch weniger Druck im Gefäßsystem benötigt, um die adäquate Versorgung der Zellen aufrecht zu erhalten. Die Penetrationsverstärkung von Licht wird auch im Rahmen der Einschleusung von Wirkstoffen in der Kosmetik und Anti-Aging-Medizin genutzt.

Zu 2:

Praktisch alle Alterungserscheinungen hängen direkt und/oder indirekt mit der Performance der Mitochondrien (Zellkraftwerke) zusammen. Mitochondrien liefern den Zellen den „chemischen Treibstoff“ für praktisch alle Funktionen, die auf Energie angewiesen sind. Der Treibstoff, den die Mitochondrien herstellen, heißt ATP (Abk. für Adenosintriphosphat) und ist für die Aufrechterhaltung aller Lebensfunktionen unverzichtbar. Ein Mensch produziert in 24 Stunden etwa soviel ATP, wie er wiegt. Funktionieren die Mitochondrien nur eingeschränkt, hat dies unmittelbar ungünstige Auswirkungen auf den Organismus. Eine Stabilisierung und Optimierung der Mitochondrienfunktion wirkt sich daher positiv auf den Gesamtorganismus aus, der dadurch auf Zellebene gestärkt wird.

Die genauen Wellenlängen, die hierbei besonders wirksam sind, werden seit vielen Jahren intensiv erforscht und sind heute bestens bekannt. ATP wirkt übrigens nicht nur am Ort der Anwendung, sondern kann auch über die Blutbahn im gesamten Körper verteilt werden. Hierbei spielen die Thrombozyten (Blutplättchen) eine wichtige Rolle, da sie die Blutkörperchen mit der höchsten Konzentration im Blut darstellen und (anders als die roten Blutkörperchen) zahlreiche Mitochondrien enthalten.

Zu 3:

Eine Reihe von Studien konnte zeigen, dass sich die PBM positiv auf die Telomerase-Konzentration auswirkt. Dabei handelt es sich um ein Enzym/einen Katalysator, der in der Lage ist, die Telomere (= „Schutzkappen“ auf den Enden der Chromosomen) zu verlängern und damit zu verhindern, dass bei häufiger Zellteilung die eigentliche Erbinformation beschädigt wird. Dieser Vorgang ist geeignet, die Alterung von Gewebe hinauszuzögern, da sich die Zellen häufiger teilen und damit effektiver regenerieren können.

Fazit: Die Behandlung typischer Probleme des alternden Organismus mit PBM ist ein zunehmend bedeutsamer Einsatzbereich für lichtbasierte Anwendungen.

### **Ausgewählte Studien:**

Arabadjiev, B., Pankov, R., Vassileva, I., Petrov, L. S. & Buchvarov, I. Photobiomodulation with 590 nm Wavelength Delays the Telomere Shortening and Replicative Senescence of Human Dermal Fibroblasts In Vitro. *Photobiomodulation Photomed Laser Surg* **38**, 656–660 (2020).

Colombo, E. *et al.* Experimental and Clinical Applications of Red and Near-Infrared Photobiomodulation on Endothelial Dysfunction: A Review. *Biomed* **9**, 274 (2021).

Otberg, N. *et al.* Water-filtered infrared-A (wIRA) can act as a penetration enhancer for topically applied substances. *Ger. Méd. Sci. : GMS e-J.* **6**, Doc08 (2008).

Raafat, B. B. M., Aziz, S. W., Hanafy, N. A. L. and 4 A. M. & Hanafy, A. M. human telomerase reverse transcriptase (htert) gene expression in rheumatoid arthritis patients after usage of low level laser therapy. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* **10**, 1–8 (2011).

Trajano, L. A. da S. N. *et al.* Low-power infrared laser modulates telomere length in heart tissue from an experimental model of acute lung injury. *Photochem Photobio S* **20**, 653–661 (2021).

## 2.3 PBM und Hautverjüngung

Die Anwendung von PBM zur Hautverjüngung ist ein vielversprechender Einsatzbereich, der gut untersucht ist. Die PBM hat eine regenerierende Wirkung auf die Haut, indem sie spezifische Zellen zur Kollagenproduktion und Elastinsynthese anregt und den Stoffwechsel der Hautzellen verbessert. Hier sind einige der Vorteile der Anwendung von PBM zur Hautverjüngung:

- Reduzierung von Falten und Fältchen: Die PBM kann dazu beitragen, das Auftreten von Falten und Fältchen zu reduzieren, indem sie die Fibroblastentätigkeit in der Haut stimuliert. Fibroblasten produzieren Kollagen und Elastin, dies sind Proteine, die für Zugfestigkeit, Elastizität und Fülle der Haut verantwortlich sind. Um sich besser im Bindegewebe bewegen zu können, produzieren Fibroblasten außerdem Hyaluronsäure, die in der Lage ist, große Mengen Wasser zu binden und dadurch die Hautstrukturen auf natürliche Weise sanft „aufpolstert“. Eine erhöhte Fibroblastenaktivität kann zu strafferer und glatterer Haut führen.
- Verbesserte Hauttextur und -ton: Die PBM kann auch dazu beitragen, die Textur und die natürliche Tönung der Haut zu verbessern, indem sie die Zellerneuerung fördert und die Produktion von Hautzellen stimuliert.
- Verbesserung der Durchblutungssituation und damit optimierter Zellmetabolismus.
- Die Stimulation regenerativer und reparativer Vorgänge in allen Schichten der Haut trägt auch zu einer beschleunigten Wundheilung bei. Dieser Effekt gehört zu den am längsten erforschten Wirkungen der PBM und wird sogar häufig im Kontext invasiver Prozeduren zur Hautverjüngung genutzt, um die Erholungszeiten („social downtime“) effektiv zu verkürzen.
- Verbesserung des Antioxidations-Status der Haut z.B. im Sinne einer Präkonditionierung vor einer UV-Exposition. Nach der Anwendung von UV-haltigem Licht trägt die PBM zur natürlichen Hautpflege und Regeneration bei.
- Reduzierung von Pigmentflecken: Die PBM kann auch dazu beitragen, das Auftreten von unerwünschten Pigmentflecken und Hautverfärbungen zu reduzieren. Das rote Licht kann dazu beitragen, die Melaninproduktion zu regulieren und so die Aufhellung hyperpigmentierter Haut zu fördern. Hautstellen mit zu wenig Pigment werden dagegen zur Bildung von fehlendem Pigment angeregt.
- Keine Ausfallzeit: Eine der Vorteile der PBM ist, dass sie, anders als die meisten anderen Methoden zur Hautverjüngung, keine Auszeit nach sich zieht. Die Behandlung ist nicht-invasiv und erfordert keine Erholungszeit, was bedeutet, dass die täglichen Aktivitäten sofort nach der Behandlung wieder aufgenommen werden können.
- Sicher und schmerzfrei: Die PBM ist eine sichere und schmerzfreie Behandlung, die keine Nebenwirkungen hat, wenn sie ordnungsgemäß angewendet wird.

Insgesamt bietet die Anwendung von PBM zur Hautverjüngung eine vielversprechende Therapiemöglichkeit, um das Aussehen der Haut zu verbessern und Zeichen der Alterung zu reduzieren. Dabei wirken die sichtbaren Wellenlängenbereiche eher auf die Zellschichten der Oberhaut (Epidermis) ein, während die unsichtbaren Nahinfrarot-Anteile ihre Wirkungen hauptsächlich in den tieferen Schichten der Lederhaut (Dermis) entfalten.

Die Wirkungen einer kombinierten Anwendung verschiedener Spektralbereiche ergänzen sich somit in idealer Weise, da sie die Lichtverteilung in der Natur abbilden.

#### **Ausgewählte Studien:**

Calderhead, R. G. The Photobiological Basics Behind Light-emitting Diode (LED) Phototherapy. *Laser Ther.* **16**, 97–108 (2007).

Kim, H. *et al.* A Flexible and Wavelength-Designable Polymer Light-Emitting Diode Employing Sandwich-Encapsulation for Wearable Skin Rejuvenation Photomedicine. *Adv Mater Interfaces* **8**, 2100856 (2021).

Ng, J. N. C., Wanitphakdeedecha, R. & Yan, C. Efficacy of home-use light-emitting diode device at 637 and 854-nm for facial rejuvenation: A split-face pilot study. *J Cosmet Dermatol-us* **19**, 2288–2294 (2020).

Wunsch, A. & Matuschka, K. A Controlled Trial to Determine the Efficacy of Red and Near-Infrared Light Treatment in Patient Satisfaction, Reduction of Fine Lines, Wrinkles, Skin Roughness, and Intradermal Collagen Density Increase. *Photomed Laser Surg* **32**, 93–100 (2014).

## **2.4 PBM und Funktionsstörungen der Haut**

Die generelle Eigenschaft der PBM, Organ- und Körperfunktionen, die aus dem Gleichgewicht geraten sind, zu normalisieren, kann auch zur Harmonisierung der Funktionen des größten „Lichtorgans“ des Körpers, der Haut, eingesetzt werden. So kann die PBM z.B. die Talgproduktion normalisieren helfen, verbessert das Hautbild bei Entzündungen, beschleunigt die Wundheilung und kann sogar die Symptome chronischer Hauterkrankungen wie Akne, Schuppenflechte (Psoriasis), Neurodermitis oder Rosacea lindern.

Details zu den einzelnen Funktionsstörungen der Haut:

- *Wundheilung*: PBM kann die Wundheilung beschleunigen, indem es die Produktion von Kollagen und Fibroblasten stimuliert. Es kann bei der Behandlung von chronischen Wunden, Verbrennungen und postoperativen Wunden hilfreich sein.
- *Akne*: Verschiedene Studien haben gezeigt, dass PBM die Talgproduktion reduzieren und entzündliche Prozesse bei Akne verringern kann. Dadurch kommt es zu einer Reduktion der Akne-Läsionen und zu einer Verbesserung des Erscheinungsbildes der Haut. Es kann auch helfen, die Heilung von Akne-Läsionen zu beschleunigen.
- *Psoriasis*: PBM kann bei der Behandlung von Psoriasis-Symptomen wie Juckreiz, Schuppenbildung und Entzündungen hilfreich sein. Die Anwendung kann die Zellregeneration fördern und das Immunsystem modulieren. Es konnten in verschiedenen Studien signifikante Verbesserungen der klinischen Symptome sowie der Lebensqualität gezeigt werden.
- *Neurodermitis*: Die regulierende Wirkung der PBM kann sich positiv auf Juckreiz und Entzündungen auswirken. Da die Erkrankung häufig im Kindesalter auftritt, ist eine nebenwirkungsarme und UV-freie Therapieoption wie die PBM von besonders großer Bedeutung.
- *Rosacea*: PBM kann die Hautbarriere stärken, Entzündungen reduzieren und die Symptome von Rosacea wie Rötung und Gefäßweiterungen verbessern.

Als Wirkmechanismen im Rahmen der Behandlung o.g. Hauterkrankungen werden diskutiert:

- Normalisierung des Zellmetabolismus.
- Modulation von zellulären Signalwegen und Entzündungsparametern.
- Optimierung des Energiehaushalts (ATP).
- Enzymatische Freisetzung von Stickstoffmonoxid (via NOSs), Effekte auf die NO-Speicher in der Epidermis.
- Moderate Freisetzung von ROS und daher Einfluss auf die ROS-assozierten zellulären Signalwege.

### **Ausgewählte Studien:**

Barolet, A. C., Villarreal, A. M., Jfri, A., Litvinov, I. V. & Barolet, D. Low-Intensity Visible and Near-Infrared Light-Induced Cell Signaling Pathways in the Skin: A Comprehensive Review. *Photobiomodulation, Photomed., Laser Surg.* **41**, 147–166 (2023).

Kemény, L., Varga, E. & Novak, Z. Advances in phototherapy for psoriasis and atopic dermatitis. *Expert Rev. Clin. Immunol.* **15**, 1205–1214 (2019).

Salman, S. *et al.* Photobiomodulation Controls Keratinocytes Inflammatory Response through Nrf2 and Reduces Langerhans Cells Activation. *Antioxidants* **12**, 766 (2023).

Wu, S., Su, Y., Wang, L., Sun, B. & Jiang, X. The effects of photobiomodulation therapy on inflammatory mediators, immune infiltration, and angiogenesis in a mouse model of rosacea. *Ann. Transl. Med.* **0**, 0–0 (2022).

## **2.5 PBM und Chronobiologie/Schlaf**

Die PBM kann auch bei der Verbesserung des Schlafs helfen. Die Anwendung von rotem Licht am Abend kann dazu beitragen, den natürlichen Schlaf-Wach-Rhythmus des Körpers zu regulieren und die Produktion von Melatonin, einem Hormon, das den Schlaf und die Regeneration fördert, zu erhöhen.

Eine Studie aus dem Jahr 2012 untersuchte die Auswirkungen der Anwendung von PBM auf den Schlaf bei Sportlerinnen. Die Teilnehmerinnen wurden über 14 Tage jeweils am Abend für 30 Minuten mit einem Ganzkörper-PBM-Gerät bestrahlt. Die Behandlung verbesserte die Schlafqualität, erhöhte die Melatonin-Spiegel im Blutserum und verbesserte zusätzlich auch die Ausdauerleistung.

Eine aktuelle Studie aus dem Jahr 2023 diskutiert die positiven Effekte der transkraniellen Rotlicht-Anwendung auf das glymphatische System im menschlichen Gehirn. Das glymphatische System ist ein kürzlich entdecktes Abfallsammelsystem im Gehirn, das Abfallprodukte aus dem Gehirn entfernt. Das System ist nach dem Gehirnentwässerungssystem benannt, das überwiegend aus glialen Zellen besteht und das Gehirn mit der cerebrospinalen Flüssigkeit (CSF) verbindet. Die PBM mit rotem Licht hat offenbar einen anregenden Einfluss auf dieses System und trägt dadurch zur regenerativen Effizienz des Schlafes bei.

Weiterhin gibt es Hinweise darauf, dass die Anwendung von rotem sowie nahinfrarotem Licht nicht nur bei Schlafstörungen wie Schlaflosigkeit und Schlafapnoe hilfreich sein kann, weil eine Unterdrückung der Melatoninproduktion verhindert wird. Die Anwendung kann die Melatoninproduktion auch bei direkter Bestrahlungen der Haut und der darunter liegenden Gewebeschichten erhöhen. Diese konzentrierten Effekte regulieren dadurch nicht nur den zirkadianen Rhythmus, sondern können die Erholungsqualität des Schlafs bis hin zur Zellebene verbessern.

### **Ausgewählte Studien:**

Giménez, M. C. *et al.* Effects of Near-Infrared Light on Well-Being and Health in Human Subjects with Mild Sleep-Related Complaints: A Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Study. *Biology* **12**, 60 (2022).

Tan, D.-X., Reiter, R. J., Zimmerman, S. & Hardeland, R. Melatonin: Both a Messenger of Darkness and a Participant in the Cellular Actions of Non-Visible Solar Radiation of Near Infrared Light. *Biology* **12**, 89 (2023).

Valverde, A. *et al.* Lights at night: does photobiomodulation improve sleep? *Neural Regen Res* **18**, 474 (2023).

Zhao, J., Tian, Y., Nie, J., Xu, J. & Liu, D. Red Light and the Sleep Quality and Endurance Performance of Chinese Female Basketball Players. *J Athl Training* **47**, 673–678 (2012).

## **2.6 PBM und Winterdepression/SAD**

PBM kann auch bei der Behandlung von saisonaler affektiver Störung (SAD), auch als Winterdepression bekannt, hilfreich sein. SAD ist eine Form von Depression, die auftritt, wenn sich die Tage im Herbst und Winter verkürzen und weniger Tageslicht verfügbar ist. Die Symptome können Müdigkeit, Erschöpfung, Traurigkeit, Antriebslosigkeit, Appetitlosigkeit und Gewichtszunahme umfassen.

Es wird angenommen, dass die Anwendung von PBM bei der Behandlung von SAD durch eine Hemmung der Melatoninproduktion im Gehirn wirken kann. Melatonin ist ein Hormon, das den Schlaf-Wach-Rhythmus reguliert und in den dunklen Wintermonaten häufig aus dem Takt gerät. Die Lichttherapie kann dazu beitragen, die Melatoninproduktion wieder in Einklang mit der vorherrschenden Lichtumgebung zu bringen und dadurch den natürlichen Schlaf-Wach-Rhythmus zu fördern.

Die Anwendung von Rotlicht kann dadurch, insbesondere wenn sie regelmäßig erfolgt, den Symptomen der SAD entgegenwirken, wobei die Wirkmechanismen sowohl direkter als auch indirekter Natur sind.

Eine Studie aus dem Jahr 1999 führte einen Vergleich der Wirksamkeit von konventioneller Lichttherapie mit intensivem weißem Licht (= Bright Light Therapie, BLT) und kaum sichtbarem Nahinfrarot-Licht (NIR) durch. Dabei konnte gezeigt werden, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen der BLT und der NIR-Anwendung gab. Dieses Ergebnis eröffnet der Anwendung von Rotlicht und Nahinfrarot einen neuen Anwendungsbereich und stellt eine augenschonende Alternative zu der klassischen BLT der SAD dar.

### **Ausgewählte Studien:**

Meesters, Y., Beersma, D. G. M., Bouhuys, A. L. & Hoofdakker, R. H. van den. Prophylactic treatment of seasonal affective disorder (SAD) by using light visors: bright white or infrared light? *Biol Psychiat* **46**, 239–246 (1999).

Chen, J., Okimura, K. & Yoshimura, T. Light and hormones in seasonal regulation of reproduction and mood. *Endocrinology* **161**, bqaal30- (2020).

## **2.7 Anwendungsbereiche von Rotlicht und Nahinfrarot mit anekdotischer Evidenz**

Die Anwendung von nicht-thermischem Rotlicht ist ein relativ neuer Forschungsbereich, in dem stetig neue Erkenntnisse und vielversprechende Einsatzbereiche hinzu kommen. Da sich die Wissenschaft in einem ständigen Wandel befindet, ist es ganz normal, dass es etablierte wie auch noch weiter zu erforschende Anwendungsgebiete gibt. Dies trifft auch für die PBM zu. Insbesondere bei multifaktoriellen Störungen wie Übergewicht, Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Depressionen sowie bei Erkrankungen, deren Ursachen noch nicht abschließend geklärt sind, wurden und werden teilweise vielversprechende Erfahrungen mit der PBM gemacht, auch wenn der Nachweis einer statistischen Evidenz noch nicht erbracht werden konnte. Zu diesen Störungen zählen zum Beispiel allgemeine Alterungsvorgänge, Cellulitis, Tinnitus, Adipositas, Bluthochdruck oder Fibromyalgie.

Dabei zeichnet sich ab, dass multifaktorielle Probleme idealer Weise mit multimodalen Therapieansätzen behandelt werden sollten, bei denen die PBM nur einen Faktor von mehreren gleichzeitig angewendeten Behandlungsansätzen darstellt. Als Beispiel mag hier die Behandlung von Übergewicht dienen: Die Therapie von Adipositas erfordert primär eine Ernährungsumstellung sowie vermehrte sportliche Betätigung. Die Effektivität dieses Programms kann durch PBM unterstützt werden, dadurch kommt es zu einer verbesserten Wirkung der Primärmaßnahmen.

### **Ausgewählte Studien:**

Barolet, D. Photobiomodulation in Dermatology: Harnessing Light from Visible to Near Infrared for Medical and Aesthetic Purposes. *Medical Research Archives* (2018).

Glass, G. E. Photobiomodulation: The Clinical Applications of Low-Level Light Therapy. *Aesthet Surg J* **41**, 723–738 (2021).

Navarro-Ledesma, S., Carroll, J., Burton, P. & Ana, G.-M. Short-Term Effects of Whole-Body Photobiomodulation on Pain, Quality of Life and Psychological Factors in a Population Suffering from Fibromyalgia: A Triple-Blinded Randomised Clinical Trial. *Pain Ther* **12**, 225–239 (2023).

Panhóca, V. H. *et al.* Effects of Red and Infrared Laser Therapy in Patients with Tinnitus: A Double-Blind, Clinical, Randomized Controlled Study Combining Light with Ultrasound, Drugs and Vacuum Therapy. *J Personalized Medicine* **13**, 581 (2023).

Szymańska, A., Budzisz, E. & Erkiert-Polguj, A. The Anti-Acne Effect of Near-Infrared Low-Level Laser Therapy. *Clin Cosmet Investigational Dermatology* **14**, 1045–1051 (2021).

## **3 Vorteile der Ganzkörper-Anwendung**

Die PBM wurde ursprünglich lokal eingesetzt. Einer der Gründe ist die Eigenschaft der anfänglich verwendeten Lichtquellen. So erzeugt ein Laser lediglich einen punktförmigen Strahl, womit sich eine großflächige Anwendung weitgehend ausschließt. Auch LEDs sind punktförmige Lichtquellen, somit standen in den ersten Jahrzehnten auch hier keine Geräte für die großflächige Applikation zur Verfügung.

Durch die Entwicklung spezieller Phosphore sowie durch die immer bessere Verfügbarkeit von Hochleistungs-LEDs für langwelliges Licht, die zu großflächigen Clustern zusammengefügt werden können, stehen heute moderne Lichtquellen zur Verfügung, mittels derer auch Geräte für eine Ganzkörper-PBM entwickelt werden konnten.

Aus der Lichtforschung ist seit etwa 100 Jahren bekannt, dass es neben den *lokalen* Wirkungen einer Lichttherapie auch so genannte *systemische* Wirkungen gibt. Dabei handelt es sich um Effekte, die nach einer Bestrahlung nicht nur am Ort der Anwendung, sondern im gesamten Organismus beobachtet werden können. Ein klassisches Beispiel dafür ist die Wirkung von Vitamin D, die unabhängig vom bestrahlten Hautareal im gesamten Körper in Wirkung tritt. Dabei ist es für systemische Wirkungen typisch, dass sie umso stärker sind, je großflächiger die Anwendung erfolgt. Für die Vitamin D-Bildung bedeutet dies, dass eine Bestrahlung von Händen und Gesicht niemals so effektiv sein kann, wie die Bestrahlung der gesamten Körperoberfläche. Das gleiche Prinzip gilt auch für die großflächigen Anwendungen von rotem und nahinfrarotem Licht.

Allen systemischen Wirkungen, die nicht über das Auge vermittelt werden, haben als Gemeinsamkeit einen Wirkmechanismus, der über Körperwasser und/oder Blut vermittelt ist: Am Ort der Bestrahlung entstehen durch photochemische Vorgänge Substanzen, die durch zirkulierende Körperflüssigkeiten im gesamten Organismus verteilt werden und daher auch dort wirken, wo die Lichtstrahlung nicht direkt einwirkt.

In der PBM-Forschung werden folgende systemische Wirkungen diskutiert:

- Effekte auf Immunzellen im Blut, dadurch Einfluss auf Entzündungsmediatoren und Wachstumsfaktoren.
- Effekte auf Thrombozyten (Blutplättchen), die zahlenmäßig die größte Zellpopulation im Blut repräsentieren und die über Mitochondrien verfügen. Dadurch kann die Menge von ATP (Adenosintriphosphat) gesteigert werden, die im Blut zirkuliert.

- Effekte auf NO (Stickstoffmonoxid) und Antioxidantien.
- Hormonelle Effekte über Auge, Zwischenhirn, Hypophyse und Zirbeldrüse.

Im Rahmen dieser möglichen Effekte werden in den letzten Jahren immer häufiger Anwendungen untersucht, die mit Ganzkörper-PBM arbeiten.

#### **Ausgewählte Studien:**

Mikhaylov, V. The use of Intravenous Laser Blood Irradiation (ILBI) at 630-640 nm to prevent vascular diseases and to increase life expectancy. *Laser Ther* **24**, 15–26 (2015).

Rentz, L. E., Bryner, R. W., Ramadan, J., Rezaei, A. & Galster, S. M. Full-Body Photobiomodulation Therapy Is Associated with Reduced Sleep Durations and Augmented Cardiorespiratory Indicators of Recovery. *Sports* **10**, 119 (2022).

Stern, M. *et al.* Blue light exposure decreases systolic blood pressure, arterial stiffness, and improves endothelial function in humans. *European Journal of Preventive Cardiology* **25**, (2018).

## **4 Zur Technik und Geschichte der Rotlicht-Anwendung**

Seit ungefähr 1,5 Millionen Jahren haben unsere menschlichen Vorfahren das Feuer in Verwendung. Es war dies ein entscheidender Schritt in der Evolution, da dies dem Menschen ermöglichte, Nahrung zu kochen, Wärme zu erzeugen, Werkzeuge herzustellen und sich vor Raubtieren und anderen Gefahren zu schützen. Zu dieser Liste von Kulturleistungen gehört auch die Anwendung der Wärmestrahlung des Feuers zu therapeutischen Zwecken, was seit der Antike dokumentiert ist. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um das gleiche Spektrum, wie es auch heute von therapeutischen Glühlampen erzeugt wird.

Die moderne Rotlichttherapie wurde erst zum Ende des 19. Jahrhunderts von dem amerikanischen Arzt Dr. John H. Kellogg entwickelt, indem er um das Jahr 1890 die kurze Zeit zuvor von Thomas A. Edison entwickelte elektrische Glühlampe für medizinische Zwecke einsetzte. In den 1920er Jahren wurde die Lichttherapie mit rot eingefärbten Glühlampen immer populärer und fand mit zunehmender Elektrifizierung auch Eingang in zahlreiche Arztpraxen wie auch in private Haushalte.

Wesentliche technische Weiterentwicklungen beschränkten sich auf die Kühlung der damals so genannten "leuchtenden Wärmestrahlen" mittels Wasserküvetten, da die ungefilterte Strahlung von Glühlampen durch ihren hohen Gehalt an Infrarot B-Strahlung zu einer merklichen Hitzeentwicklung in der Haut führt. Diese kann nicht nur unangenehm sein und dadurch die Anwendungszeiten verkürzen, sondern auch durch reflektorische Effekte das Blut aus den Gewebeschichten, die eigentlich behandelt werden sollen, in die obersten Hautschichten verlagern, was dann zu einer metabolischen Unterversorgung des Zielgewebes und damit zu einer verringerten Wirkung führen kann. Durch die Wasserkühlung von Glühlampenlicht konnte die Anwendungsdauer einer Bestrahlung verlängert, das Verhältnis von rotem Licht und NIR zu der hitzeerzeugenden Infrarot B und C-Strahlung optimiert sowie die Eindringtiefe ins Gewebe effektiv erhöht werden.

In den 1960er Jahren begannen Forscher im Zusammenhang mit der Entwicklung der ersten LASER, die Wirkungen von rotem Licht ohne Wärmeanteil auf den Körper genauer zu untersuchen. Die Laser-Technik ermöglichte erstmals, sehr intensive und schmalbandige Lichtstrahlung im roten Spektralbereich ohne jeglichen Wärmeanteil zu erzeugen. Der erste funktionierende Laser war ein Rubin-Festkörper-Laser mit einer Wellenlänge von 694,3 nm und wurde im Jahr 1960 von Theodore Maiman entwickelt. Im gleichen Jahr wurde an den Bell Laboratories der erste Helium-Neon-Laser gebaut, der eine Wellenlänge von 632,8 nm aufweist.

Die Frage nach der biologischen Verträglichkeit des neuartigen Laserlichtes führte den ungarischen Arzt Dr. Endre Mester zu einer Reihe von substantiellen Experimenten, mit denen er den Grundstein für die

Entwicklung der heutigen Low-Level-Lichttherapie legte, die auch als Photobiomodulation (PBM) bezeichnet wird. Mester entdeckte, dass niedrigenergetisches und nicht-thermisches rotes Laserlicht die Wundheilung und das gesunde Zellwachstum bei Tieren beschleunigte.

Heute weiß man, dass die positiven Effekte dieser Therapieform nicht von der Art einer Lichtquelle, sondern in erster Linie von ihrer spezifischen Lichtenergie und Spektralverteilung abhängig sind. Für die erfolgreiche Anwendung von rotem Licht stehen daher neben LASER und Glühlampen auch Entladungslampen sowie LEDs zur Verfügung. LEDs sind im Gegensatz zur klassischen Glühlampe auch ideale und sehr energieeffiziente Lichtquellen für die Erzeugung von NIR, da hierbei keine Spektralanteile erzeugt werden, die zur unerwünschten Gewebeerwärmung führen und daher ausgefiltert werden müssten.

### **Ausgewählte Literatur**

Kellogg, J. H. A New Therapeutic Measure—The Electric-Light Bath. *J Amer Med Assoc* **XXXI**, 1509–1514 (1898).

Hamblin, M. R. Photobiomodulation or low-level laser therapy. *J Biophotonics* **9**, 1122–1124 (2016).

Heiskanen, V. & Hamblin, M. R. Photobiomodulation: lasers vs. light emitting diodes? *Photochem Photobio S* **17**, 1003–1017 (2018).

## **5 Anwendungsparameter für die PBM**

Zur PBM gibt es mittlerweile fast unzählige Studien, die in den letzten wenigen Jahrzehnten durchgeführt wurden. Bei der Bewertung der Ergebnisse sollte beachtet werden, dass sich die Anwendungsmodalitäten oftmals stark unterscheiden:

Punktförmig vs. großflächig; Anwendung auf Akupunkturpunkten vs. systemischer Applikation; Intensität und Anwendungsdauer, einzelne Wellenlängen vs. Kombination verschiedener Wellenlängenbereiche usw.

Je nach Zielsetzung der Anwendung können die Bestrahlungsparameter stark variieren, daher sind allgemeine Aussagen, z.B. zur Anwendungsdauer, nur schwierig zu machen. Viele Geräte für die großflächige Anwendung im nicht-klinischen Bereich sind jedoch für Anwendungsdauern zwischen 10 und 20 Minuten ausgelegt. Im Zweifelsfall orientiert man sich an den Anwendungsempfehlungen des jeweiligen Herstellers.

### **5.1 Welcher Wellenlängenbereich wird für die PBM verwendet?**

Für die PBM werden in der Regel spezifische Wellenlängen im roten bis nahen Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums verwendet. Häufig wird mit dem Begriff Rotlicht-Therapie der gesamte wirksame Wellenlängen-Bereich für die Photobiomodulation zwischen 600 und 1500 nm angesprochen, was jedoch nicht ganz exakt ist, da die Nahinfrarotstrahlung (ca. 700 nm bis 1500 nm) für das menschliche Auge praktisch unsichtbar ist. Spricht man von nicht-thermischer Rotlichttherapie, so ist diese Benennung korrekterweise nur für den Wellenlängenbereich zwischen 600 und 700 nm zutreffend, der für das menschliche Auge sichtbar ist.

In der Photobiologie ist es ein häufig beobachtetes Phänomen, dass benachbarte Spektralbereiche wenn nicht identische, dann aber doch verwandte bzw. ähnliche Wirkungen hervorrufen können. So sind zum Beispiel zahlreiche Effekte kurzweilliger Strahlung auf dieselben Wirkmechanismen (Bildung von Sauerstoffradikalen) zurückführbar, ungeachtet dessen, ob man jetzt UVB-, UVA- oder kurzweilige sichtbare Spektralbereiche betrachtet.

Hier sei der Vollständigkeit halber darauf hingewiesen, dass die Sauerstoffradikalbildung die meisten Lichtreaktionen in der menschlichen Haut steuert, also primär lebensnotwendig ist. Sauerstoffradikale

schädigen den Organismus erst, wenn sie in zu großer Konzentration entstehen, sodass der Organismus diese nicht mehr adäquat verarbeiten kann.

Daher ist es einfach nachvollziehbar, dass die photobiologische Wirkung am roten Ende des Spektrums ebenfalls nicht aufhört, sondern auch in dem angrenzenden Bereich des Nahinfrarot spezifische Wirkungen der Strahlung auf biologische Organismen beobachtet werden, denen ähnliche Wirkungen zugrunde liegen, wie sie auch für das rote Licht bekannt sind.

Welche Wellenlänge aus dem Spektralbereich 600 bis 1500 nm bei der Photobiomodulation zum Einsatz kommt, hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- a. Gewünschte Eindringtiefe
- b. Spezifischer Wirkmechanismus
- c. Unspezifische Effekte

#### **Zu a.**

Die Eindringtiefe im so genannten *Therapeutischen Fenster* nimmt von ca. 600 nm bis etwa 850 nm Wellenlänge kontinuierlich zu, um dann bis ca. 1500 nm wieder kontinuierlich abzunehmen. Je langwelliger die Strahlung jenseits der Schwelle von 1500 nm wird, um so stärker wird die Absorption der Strahlungsenergie durch Wassermoleküle im Gewebe, was zu einer unerwünschten Erwärmung bzw. Erhitzung führen kann.

Für die nicht-thermische Anwendung an und in der Haut, Unterhaut sowie dem Kapillargefäßbett ist der Bereich zwischen 600 und 700 nm optimal.

Je nach Wellenlänge und Bestrahlungsstärke können Eindringtiefen von mehreren Zentimetern erreicht werden, was insbesondere für die Anwendung an Gelenken, Faszien, Muskeln und oberflächlich liegenden Organen geeignet ist.

#### **Zu b.**

Die Wirkmechanismen der PBM sind vielfältig und komplex. Hierbei ist typisch für alle Anwendungen der Photobiomodulation, dass *Unterfunktionen stimuliert* werden und *Überfunktionen dagegen gedämpft* werden. PBM wirkt auf zellulärer sowie systemischer Ebene und beeinflusst verschiedene zelluläre und hormonelle Prozesse. Im Folgenden werden einige der wichtigsten Wirkmechanismen von PBM beschrieben:

- **Erhöhung der ATP-Produktion:** PBM erhöht die Produktion von Adenosintriphosphat (ATP) in den Mitochondrien der Zellen. ATP ist die Energiequelle der Zellen, die für die zellulären Prozesse und die Geweberegeneration benötigt wird. Durch die Erhöhung der ATP-Produktion kann PBM die verfügbare zelluläre Energie erhöhen und die Geweberegeneration fördern.
- **Erhöhung der Mikrozirkulation:** PBM kann die Mikrozirkulation verbessern, indem es die Freisetzung von Stickstoffmonoxid (NO) fördert. NO ist ein Vasodilatator, der die Blutgefäße erweitert und die Durchblutung erhöht. Durch die Erhöhung der Mikrozirkulation kann PBM die Nährstoffversorgung und den Zellmetabolismus verbessern und die Geweberegeneration fördern.
- **Entzündungshemmung:** PBM hat eine entzündungshemmende Wirkung, die durch die Hemmung von Prostaglandinen und anderen Entzündungsmediatoren vermittelt wird. Durch die Reduzierung von Entzündungen kann PBM Schmerzen, Schwellungen und andere Symptome von Entzündungen reduzieren.
- **Freisetzung von Wachstumsfaktoren:** PBM kann die Freisetzung von Wachstumsfaktoren, wie beispielsweise Fibroblastenwachstumsfaktor und Insulin-ähnlichem Wachstumsfaktor, stimulieren. Diese Wachstumsfaktoren können die Geweberegeneration und Wundheilung fördern.

- Erhöhung der Zellproliferation: PBM kann die Zellproliferation und Zellteilung *gesunder* Zellen fördern, was zur Geweberegeneration beitragen kann.
- Erhöhung der Antioxidantien: PBM kann die Produktion von Antioxidantien wie Glutathion und Superoxiddismutase erhöhen, die den Zellen helfen, Schäden durch freie Radikale zu bekämpfen. Neuere Studien weisen auf einen Effekt auf die Erhöhung der intrazellulären Melatoninproduktion hin.
- Modulation der Genexpression: PBM kann die Genexpression in den Zellen verändern, indem es bestimmte Gene aktiviert oder deaktiviert. Dies kann zu Veränderungen in den zellulären Prozessen führen und die Geweberegeneration fördern.
- Einfluss auf die Länge der Telomere. Telomere sind die „Schutzkappen“ der Erbsubstanz, die verhindern sollen, dass die informationstragenden Bereiche der Chromosomen bei der Zellteilung beschädigt werden. Diese Schutzkappen verkürzen sich jedoch bei jeder Zellteilung. Sind sie schließlich abgebaut, kann es bei weiteren Zellteilungen zu Beschädigungen an den Chromosomen führen, die sich dann z.B. in Form typischer Alterungsprozesse bemerkbar machen können. Mittlerweile liegen aus einigen Studien Hinweise dafür vor, dass die PBM ein Enzym (Telomerase) stimulieren kann, dass die Telomere wieder verlängert und damit bestimmten Alterungsvorgängen entgegenwirkt.

Je nach angestrebter Wirkung wird der optimale Wellenlängenbereich ausgewählt, wobei es nach derzeitigem Stand der Forschung keine eindeutigen Abgrenzungen zwischen nicht-thermischer Rotlicht-Anwendung und Nah-Infrarot gibt, sondern die Wirkbereiche verschiedener Wellenlängen sich überlappen und in ihrer Wirkung ergänzen können.

#### **Zu c:**

Zu den bereits aufgeführten spezifischen Wirkungen kommen noch unspezifische Effekte hinzu, die über Wassermoleküle vermittelt werden. Hierbei handelt es sich zum Beispiel um vibratorische und rotatorische Bewegungen von Wassermolekülen im intrazellulären und extrazellulären Gewebe, die durch den Eintrag von Lichtenergie hervorgerufen werden. Dies führt unter anderem zu einer Verstärkung von Diffusionsvorgängen, was mit einer Erhöhung metabolischer Vorgänge, zum Beispiel an Membranen, einhergeht.

Da in der kapillaren Endstrecke der Stofftransport nicht mehr durch den intravasalen Druck stattfindet, spielen derartige diffusionsverstärkenden Effekte, die über Wassermoleküle vermittelt sind, die sich verstärkt bewegen, eine bedeutende Rolle für die Optimierung des Stoffwechsels auf mikroskopisch-zellulärer Ebene. Die Wellenlängenbereiche, die auf die Wassermoleküle wirken, liegen vor allem im Nah-Infrarot-Bereich.

Zeitgemäße Geräte für die Ganzkörper-PBM erzeugen häufig kombinierte Spektren, wobei sich die Wellenlängenbereiche von 630 bis 670 nm für rotes Licht sowie der Bereich um 850 nm für den Nahinfrarot-Anteil als besonders effektiv erwiesen haben.

Diese Kombination führt einerseits zu einer vermehrten Absorption der Wellenlängen 630 nm - 660 nm in den oberflächlichen Gewebeschichten, was neben der lokalen Wirkung (z.B. auf die Zellen der Epidermis) für eine intensivere Aufnahme der Strahlungsenergie über die Blutgefäße und damit zu einer verbesserten systemischen Wirkung sorgt, andererseits bewirkt der Nahinfrarot-Anteil von 850 nm durch die bessere Penetrationsfähigkeit eine Tiefenwirkung auch unterhalb der oberflächlichen Hautschichten sowie eine effektivere Mobilisierung der Wassermoleküle und eine verbesserte Durchblutung.

#### **Ausgewählte Studien:**

Desmet, K. D. et al. Clinical and Experimental Applications of NIR-LED Photobiomodulation. *Photomed Laser Surg* 24, 121–128 (2006).

Hamblin, M. R. & Liebert, A. Photobiomodulation Therapy Mechanisms Beyond Cytochrome c Oxidase. *Photobiomodulation Photomed Laser Surg* 40, 75–77 (2022).

Sommer, A. P. Revisiting the Photon/Cell Interaction Mechanism in Low-Level Light Therapy. *Photobiomodulation Photomed Laser Surg* 37, 336–341 (2019).

Zimmerman, S. & Reiter, R. J. Melatonin and the Optics of the Human Body. *Melatonin Res* 2, 138–160 (2019).

## 5.2 Dosierungsempfehlungen für die Ganzkörper-Photobiomodulation

Im Folgenden werden Empfehlungen für die praktische Anwendung der PBM dargelegt, um die Sicherheit und Effektivität der Behandlung zu gewährleisten. Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, evidenzbasiert vorzugehen und sich an Bestrahlungsstärken und Dosierungen zu orientieren, die experimentell begründet sind.

Da sich die PBM aus der punktförmigen Anwendung heraus entwickelt hat, können die meisten Studien und Anwendungsprotokolle nicht für eine Dosierungs-Empfehlung herangezogen werden. Es gibt derzeit nur wenige Studien zu der Anwendung der PBM auf den gesamten Organismus (WB-PBM, whole body-PBM).

Als eine der ersten Studien, die mit Entladungslampen durchgeführt wurden und die mit einer großflächigen Applikation mittels vier unterschiedlicher Geräte arbeiteten, ist die Arbeit von Wunsch und Matuschka, die 2012 publiziert wurde. Untersucht wurden Effekte auf die Haut (skin rejuvenation) sowie psychische Befindlichkeit. Die Bestrahlungsstärken lagen hier je nach Gerät zwischen 10 mW/cm<sup>2</sup> und 54 mW/cm<sup>2</sup> und die Dosis zwischen 15 J/cm<sup>2</sup> und 51,4 J/cm<sup>2</sup>, wobei zwischen den schwächeren und intensiveren Anwendungen kein signifikanter Unterschied beschrieben wurde.

Weitere Veröffentlichungen zur WB-PBM wurden mit LED-basierten Geräten durchgeführt. Die Zielsetzungen waren hier die effiziente Schmerzreduktion bei Fibromyalgie, die Verbesserung von Schlafverhalten und kardio-respiratorischer Funktionen, Reduktion chronischer Schmerzen sowie die Reduktion von Long-Covid-Symptomen. Die Anwendungsparameter des bei diesen Untersuchungen verwendeten Gerätes zur WB-PBM betragen 28 mW/cm<sup>2</sup> und 25 J/cm<sup>2</sup>.

Die Frequenz und Dauer der PBM-Sitzungen hängen von der Zielsetzung und der individuellen Reaktion der Anwendenden ab:

Bei akuten Schmerzen im Rahmen sportlicher Betätigung (Muskelkater, DOMS) können die Anwendungen täglich durchgeführt werden, bis eine signifikante Verbesserung eintritt.

Bei chronischen Schmerzen wird eine Anwendungsfrequenz von zwei- bis dreimal pro Woche empfohlen, über mehrere Wochen bis Monate. Zur langfristigen Schmerzbewältigung können wöchentliche oder zweiwöchentliche Sitzungen sinnvoll sein.

## 5.3 Übersicht der empfohlenen Anwendungsparameter für die WB-PBM:

**1. Wellenlänge des Lichts:** PBM verwendet typischerweise Licht im Bereich von 600 nm bis 1000 nm. Für Ganzkörperanwendungen werden aktuell Wellenlängen zwischen 630 nm und 850 nm bevorzugt, da sie die am besten erforschten Wirkbereiche abdecken.

**2. Bestrahlungsstärke (Power Density):** Die Bestrahlungsstärke wird in Milliwatt pro Quadratcentimeter (mW/cm<sup>2</sup>) gemessen. Für die Ganzkörper-PBM liegt die empfohlene Bestrahlungsstärke zwischen 10 mW/cm<sup>2</sup> und 60 mW/cm<sup>2</sup>.

**3. Energiedosis (Fluenz):** Die Dosis wird in Joule pro Quadratcentimeter (J/cm<sup>2</sup>) gemessen. Übliche Dosen für Ganzkörper-PBM liegen zwischen 10 J/cm<sup>2</sup> und 60 J/cm<sup>2</sup> pro Sitzung, je nach Indikation und Gerät.

**4. Anwendungsdauer:** Die Anwendungsdauer liegt typischerweise bei 10 bis 20 Minuten, wobei die Geräteparameter und Herstellerempfehlungen zu beachten sind.

**5. Häufigkeit:** Die Frequenz und Dauer der PBM-Sitzungen hängen von der Zielsetzung und der individuellen Reaktion der Anwendenden ab:

- Bei akuten Schmerzen im Rahmen sportlicher Betätigung (Muskelkater, DOMS) können die Anwendungen täglich durchgeführt werden, bis eine signifikante Verbesserung eintritt.
- Bei chronischen Schmerzen wird eine Anwendungsfrequenz von zwei- bis dreimal pro Woche empfohlen, über mehrere Wochen bis Monate. Zur langfristigen Schmerzbewältigung können wöchentliche oder zweiwöchentliche Sitzungen sinnvoll sein.

#### **Ausgewählte Studien:**

Bowen, R. & Arany, P. R. Use of either transcranial or whole-body photobiomodulation treatments improves COVID-19 brain fog. *J. Biophotonics* **16**, e202200391 (2023).

Fitzmaurice, B., Heneghan, N. R., Rayen, A. & Soundy, A. Whole-body photobiomodulation therapy for chronic pain: a protocol for a feasibility trial. *Bmj Open* **12**, e060058 (2022).

Navarro-Ledesma, S., Carroll, J., Burton, P. & Ana, G.-M. Short-Term Effects of Whole-Body Photobiomodulation on Pain, Quality of Life and Psychological Factors in a Population Suffering from Fibromyalgia: A Triple-Blinded Randomised Clinical Trial. *Pain Ther* **12**, 225–239 (2023).

Rentz, L. E., Bryner, R. W., Ramadan, J., Rezai, A. & Galster, S. M. Full-Body Photobiomodulation Therapy Is Associated with Reduced Sleep Durations and Augmented Cardiorespiratory Indicators of Recovery. *Sports* **10**, 119 (2022).

Wunsch, A. & Matuschka, K. A Controlled Trial to Determine the Efficacy of Red and Near-Infrared Light Treatment in Patient Satisfaction, Reduction of Fine Lines, Wrinkles, Skin Roughness, and Intradermal Collagen Density Increase. *Photomed Laser Surg* **32**, 93–100 (2014).

## 6 Fazit

Die Photobiomodulation (PBM) eröffnet ein breites Spektrum an Behandlungsmöglichkeiten für eine Vielzahl von Erkrankungen durch die therapeutische Anwendung von Licht. Das vorliegende White Paper beleuchtet wichtige Aspekte der Dosierung und Anwendung dieser Technologie, die für eine erfolgreiche Behandlung von entscheidender Bedeutung sind. Ein tiefgreifendes Verständnis der grundlegenden Prinzipien der PBM sowie der mit einer inadäquaten Anwendung verbundenen Risiken ist für Praktiker von essenzieller Bedeutung, um die Vorteile dieser innovativen Therapieform zu maximieren und potenzielle Unverträglichkeiten zu minimieren.

Die korrekte Dosierung, basierend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und angepasst an die individuellen Patientenbedürfnisse, stellt den Schlüssel zum therapeutischen Erfolg der PBM dar. Das Verständnis, dass „weniger mehr sein kann“ und dass eine präzise abgestimmte Dosis die gewünschten biologischen Effekte hervorrufen kann, ohne das Gewebe zu schädigen, ist von grundlegender Bedeutung. Die Unterscheidung zwischen punktförmiger und großflächiger Anwendung sowie die darauf basierende Anpassung der Bestrahlungsparameter stellen entscheidende Faktoren dar, um die Sicherheit und Wirksamkeit der Therapie zu gewährleisten.

Des Weiteren ist es essenziell, dass sowohl Anwender als auch Gerätehersteller kontinuierlich auf dem neuesten Stand der Technik und Forschung bleiben. Die Schulung von Fachpersonal in der korrekten Anwendung der PBM, das Verständnis für die Gerätetechnik sowie die regelmäßige Überprüfung und Anpassung von Behandlungsprotokollen tragen wesentlich zur Sicherheit und Effektivität bei.

Das Engagement für Forschung und Entwicklung ist weiterhin erforderlich, um die Mechanismen, durch die PBM therapeutische Effekte erzielt, besser zu verstehen und um die Anwendungsbereiche dieser Technologie zu erweitern. In zukünftigen Studien sollte der Fokus auf den Langzeiteffekten der PBM, der Optimierung der Dosierungsstrategien sowie der Entwicklung neuer Gerätetechnologien liegen, um die klinischen Ergebnisse weiter zu verbessern.

In der Gesamtschau lässt sich konstatieren, dass die PBM als ein bedeutsamer Fortschritt nicht nur in der medizinischen Behandlung, sondern auch im Sport- und Wellnessbereich zu werten ist, der das Potenzial birgt, das Wohlbefinden und die Lebensqualität vieler Menschen zu verbessern. Es obliegt allen Beteiligten, diese Technologie verantwortungsvoll und auf der Grundlage solider wissenschaftlicher Erkenntnisse zu nutzen, um das volle therapeutische Potenzial sicher und effektiv auszuschöpfen.

### **Ausgewählte Studien:**

Gavish, L. & Houeild, N. N. Therapeutic Efficacy of Home-Use Photobiomodulation Devices: A Systematic Literature Review. *Photobiomodulation Photomed Laser Surg* **37**, 4–16 (2019).

Heiskanen, V. & Hamblin, M. R. Photobiomodulation: lasers vs. light emitting diodes? *Photochem Photobio S* **17**, 1003–1017 (2018).

## 7 Abkürzungen und Glossar

### *Akupunktur*

Die Akupunktur (von lateinisch *acus* ‚Nadel‘, und *punctura* ‚Stechen‘, von *pungere* ‚stechen‘; chinesisch 針灸 / 針灸, Pinyin zhēnjiū, Jyutping zam gau) ist eine Behandlungsmethode der traditionellen chinesischen Medizin (TCM). Bei ihr soll eine therapeutische Wirkung durch Nadelstiche an bestimmten Punkten des Körpers erzielt werden.

### *ATP, Adenosintriphosphat*

Adenosintriphosphat ist der universelle und unmittelbar verfügbare Energieträger in Zellen und wichtiger Regulator energieliefernder Prozesse. Das Molekül besteht aus einem Adeninrest, dem Zucker Ribose und drei Phosphaten ( $\alpha$  bis  $\gamma$ ) in Ester- ( $\alpha$ ) bzw. Anhydridbindung ( $\beta$  und  $\gamma$ ).

### *Bestrahlungsstärke*

Die Bestrahlungsstärke (engl.: irradiance, radiant flux density; auch Strahlungsflussdichte, veraltet: Strahlungsstromdichte) ist der Begriff für die gesamte Leistung der eingehenden elektromagnetischen Energie, die auf eine Oberfläche trifft, bezogen auf die Größe der Fläche.

### *Chronobiologie*

Die Chronobiologie untersucht als Wissenschaftszweig der Biologie die zeitliche Organisation von physiologischen Prozessen und wiederholten Verhaltensmustern bei Organismen.

### *DOMS, Delayed Onset Muscle Soreness*

Verzögert einsetzender Muskelkater. Als Muskelkater bezeichnet man einen Schmerz, der nach körperlicher Anstrengung, besonders bei hohen Belastungen der Muskelpartien, auftritt. Meistens macht sich dieser erst Stunden nach der jeweiligen Tätigkeit bemerkbar.

### *Dosis*

Die Dosis (Plural Dosen, abgekürzt D; von altgriechisch δόσις *dósis* ‚Gabe‘; entsprechende, zugemessene Arzneimenge) bezeichnet in der Biologie, Medizin und Pharmazie die (meist kleine) Menge eines Stoffes (Pharmakologie, Toxikologie), eines Pathogens (Infektiologie) oder einer Strahlung (Radiologie, Nuklearmedizin, Strahlentherapie), die einem Organismus zugeführt wird.

### *Elastin*

Elastin ist ein Protein, das in bestimmten Geweben des Körpers vorkommt und für ihre Elastizität und Dehnbarkeit verantwortlich ist. Es ist ein Hauptbestandteil von elastischem Bindegewebe, das in Organen wie der Haut, den Lungen, den Blutgefäßen und den elastischen Bändern (Ligamenten) zu finden ist.

### *Faszie*

Die Faszie bezieht sich auf ein fasziales Gewebenetzwerk im Körper, das aus Bindegewebe besteht und verschiedene Strukturen wie Muskeln, Knochen, Organe und Nerven umgibt, verbindet und stabilisiert. Die Faszie besteht aus Kollagenfasern, elastischen Fasern und einer gelartigen Substanz, die als Grundsubstanz bezeichnet wird.

### *Fluenz*

Die Fluenz ist eine physikalische Größe zur Beschreibung von Strahlung oder bewegter Materie. Sie bezeichnet beispielsweise die Anzahl von Teilchen, die durch eine Fläche hindurchgetreten sind.

### *Hyaluron, Hyaluronsäure, HA*

Hyaluron, auch bekannt als Hyaluronsäure, ist eine Substanz, die natürlich im menschlichen Körper vorkommt. Es handelt sich um ein langkettiges Molekül, das zu den Glykosaminoglykanen gehört, einer Gruppe von Polysacchariden. Hyaluronsäure wird in verschiedenen Geweben des menschlichen Körpers produziert. Sie wird hauptsächlich von spezialisierten Zellen, den Fibroblasten, synthetisiert. Fibroblasten sind in der Lage, Hyaluronsäure zu bilden und in das umgebende Gewebe abzugeben. Chondrozyten, Synoviozyten, Keratinozyten sowie Makrophagen sind ebenfalls in der Lage, Hyaluronsäure zu produzieren.

### *Intensität*

Die Intensität oder Strahlungsintensität ist in der Physik meist die Flächenleistungsdichte beim Transport von Energie.

### *Kollagen*

Kollagen ist ein faseriges, strukturelles Protein, das in verschiedenen Geweben des Körpers vorkommt. Es ist das häufigste Protein im menschlichen Körper und macht etwa 25-35% des Gesamtproteingehalts aus. Kollagen ist besonders reichlich in Bindegewebe, Knochen, Sehnen, Bändern, Haut und Knorpel vorhanden.

### *LLLT, Low Level Light Therapy*

Die Low-Level-Lichttherapie (LLLT), Kaltlasertherapie, Photobiomodulation (PBM) oder kalte Rotlichttherapie ist eine Form der Photomedizin, bei der Licht mit geringer Leistung aus Lasern, Entladungslampen oder Leuchtdioden (LEDs) auf die Körperoberfläche aufgebracht werden, um physiologische und pathologische Vorgänge über photochemische und photophysikalische Wechselwirkungen in nicht-thermischer Weise zu beeinflussen.

### *Mitochondrien*

Als Mitochondrium oder Mitochondrion (zu altgriechisch μίτος mitos ‚Faden‘ und χονδρίον chondrion ‚Körnchen‘; veraltet Chondriosom) wird ein Zellorganell bezeichnet, das von einer Doppelmembran umschlossen ist und eine eigene Erbsubstanz enthält, die mitochondriale DNA. Mitochondrien kommen als kugel- oder röhrenförmige Gebilde in den Zellen fast aller Eukaryoten vor, nicht aber bei Prokaryoten. Mitochondrien regenerieren über die Atmungskette das energiereiche Molekül Adenosintriphosphat (ATP) und werden auch als die „Kraftwerke“ eukaryoter Zellen bezeichnet. Neben dieser oxidativen Phosphorylierung erfüllen sie weitere essentielle Aufgaben für die Zelle, beispielsweise sind sie an der Bildung von Eisen-Schwefel-Cluster beteiligt. Zudem betreiben sie eine eigene Fettsäuresynthese (mtFASII), welche essentiell für die mitochondriale Biogenese und Zellatmung ist.

### *NIR, Nahinfrarot*

Nahinfrarot (NIR) bezieht sich auf den Bereich elektromagnetischer Strahlung, der sich direkt oberhalb des sichtbaren Lichtspektrums befindet. Es hat längere Wellenlängen als sichtbares Licht und erstreckt sich in der Regel von etwa 700 Nanometern bis 2.500 Nanometern. Therapeutisch wird hauptsächlich der Bereich von 700 nm bis 1000 nm genutzt.

### *NO, Stickstoffmonoxid*

Stickstoffmonoxid hat eine gefäßerweiternde Wirkung und spielt eine wichtige Rolle bei der Regulierung des Blutdrucks und der kapillaren Durchblutungsrate sowie bei der unspezifischen Immunabwehr.

### *NOS, Stickstoffmonoxid-Synthase*

Gruppe von Enzymen (Reaktionsbeschleunigern), die in hoher Konzentration z. B. in der Haut vorkommen und einen starken Einfluss auf die Stickstoffmonoxidkonzentration im Gewebe haben.

### *PBM, Photobiomodulation*

Die Photobiomodulation (PBM), Kaltlasertherapie, Low-Level-Lichttherapie (LLLT) oder kalte Rotlichttherapie ist eine Form der Photomedizin, bei der Licht mit geringer Leistung aus Lasern, Entladungslampen oder Leuchtdioden (LEDs) auf die Körperoberfläche aufgebracht werden, um physiologische und pathologische Vorgänge über photochemische und photophysikalische Wechselwirkungen in nicht-thermischer Weise zu beeinflussen.

### *Penetrationsverstärkung*

Penetrationsverstärkung oder auch Durchdringungsverstärkung ist ein Vorgang, der im pharmazeutischen, kosmetischen oder medizinischen Kontext von Bedeutung ist, da sie die Durchdringung oder Penetration von Wirkstoffen durch die Haut, Schleimhäute oder anderen Barrieren, zum Beispiel innerhalb von Zellen und Membransystemen, verstärkt.

### *Präkonditionierung*

Präkonditionierung bezieht sich auf eine vorherige Anpassung oder Vorbereitung des Körpers oder eines biologischen Systems auf eine bevorstehende Einwirkung eines Stressors. Es handelt sich um eine Strategie, bei der ein bestimmter Reiz oder eine bestimmte Intervention vor der eigentlichen Einwirkung des potentiellen Stressors angewendet wird, um den Körper besser vorzubereiten und seine Widerstandsfähigkeit zu erhöhen.

### *ROS, Reactive Oxygen Species, Sauerstoffradikale*

Reaktive Sauerstoffspezies (englisch reactive oxygen species, ROS) – auch vereinfachend als „Sauerstoffradikale“ bezeichnet – sind Sauerstoff-enthaltende Moleküle. Im Organismus entstehen reaktive Sauerstoffspezies in den Mitochondrien als Nebenprodukt der Zellatmung (durch Monoaminoxidasen und im Rahmen der Atmungskette an Komplex I und an Komplex III), aber auch durch Entzündungszellen, um so

Viren und Bakterien zu schädigen. Reaktive Sauerstoffspezies haben vielfältige Funktionen im Organismus. Sie wirken zum Beispiel als Signalmoleküle, sind an der Regulation der Energieproduktion beteiligt, entstehen als Abfallprodukt der ATP-Produktion, dienen Immunzellen als "chemische Abwehrwaffe" und vieles mehr.

#### *Rotlicht*

Rotlicht bezieht sich auf Licht mit einer relativ langen Wellenlänge im sichtbaren Lichtspektrum. Es ist eine Form elektromagnetischer Strahlung und liegt am Ende des sichtbaren Lichtspektrums mit einer Wellenlänge von etwa 600 bis 700 Nanometern.

#### *SAD*

Seasonal Affective Disorder, Winterdepression. Es handelt sich um eine depressive Störung, die in den Herbst- und Wintermonaten auftritt und die auf eine Störung des biologischen Tagesrhythmus durch die jahreszeitlich veränderten Lichtbedingungen („Lichtmangel“) zurückgeführt wird.

#### *Stress, Stressor*

Stress führt im Körper zu einer Stressreaktion. Die Reaktion auf Stress umfasst eine komplexe Wechselwirkung zwischen Nervensystem, endokrinem System und Immunsystem. Stress kann sowohl positive als auch negative Auswirkungen haben.

#### *Systemische Effekte*

Den gesamten Organismus betreffend. Bei der Behandlung lokaler Zonen und Bereiche werden Effekte hervorgerufen, die im Gesamtorganismus in Wirkung treten.

#### *Telomer*

Ein Telomer ist eine wiederholte Nukleotidsequenz am Ende eines linearen Chromosoms. Es dient dazu, die Integrität des Chromosoms zu erhalten und den Verlust von genetischem Material während der Zellteilung zu verhindern. Telomere spielen eine wichtige Rolle bei der Stabilität und Reproduktion des Erbguts. Wenn die Telomere zu stark verkürzt werden, erreichen sie einen kritischen Punkt, an dem die Zelle nicht mehr richtig funktionieren kann und in einen Zustand gerät, der als Zellalterung oder Seneszenz bezeichnet wird. Telomerverkürzung wird auch mit altersbedingten Krankheiten in Verbindung gebracht. Ein Enzym namens Telomerase ist in der Lage, die Telomere zu verlängern, indem es die verlorenen DNA-Basenpaare wiederherstellt.

#### *UV*

UV steht für ultraviolett. Ultraviolette Strahlung ist eine Form elektromagnetischer Strahlung mit kürzeren Wellenlängen als sichtbares Licht. Das UV-Spektrum wird unterteilt in UV-A, UV-B und UV-C Strahlung, abhängig von der Wellenlänge.

#### *WB-PBM, Whole-Body-Photobiomodulation.*

Im Gegensatz zur klassischen PBM werden hierbei nicht nur einzelne Punkte oder Körperzonen behandelt, sondern die gesamte Körperoberfläche. Dies kann entweder durch Steh-Geräte oder Liegegeräte durchgeführt werden.

## 8 Disclaimer

Die Rotlichttherapie oder auch Photobiomodulation ist eine einfach durchzuführende und nicht-invasive Methode, die bei der Behandlung zahlreicher Störungen der Gesundheit helfen kann. Die Anwendung kann auch zu Hause durchgeführt werden und erfordert keine besonderen Fähigkeiten oder Schulungen. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Ergebnisse der Anwendungen von Person zu Person unterschiedlich sein können und dass die Anwendungen bei Menschen mit bestehenden Grunderkrankungen am besten unter ärztlicher Begleitung durchgeführt werden sollten.

Die Aussagen, die in diesem Dokument gemacht werden, verwenden mitunter den Begriff „Therapie“, entweder als eigenständiges Wort oder in verschiedenen Zusammensetzungen, wie zum Beispiel „Rotlichttherapie“. Das Dokument wurde von einem Arzt erstellt, der aufgrund der rechtlichen Situation *therapieren* darf. Zahlreiche Studien, die die Wirkung des roten Lichts am Menschen beschreiben, wurden im Kontext bestehender Krankheiten und Störungen der Gesundheit unter ärztlicher Aufsicht durchgeführt.

Außerhalb der medizinischen Anwendung ist der Begriff „Therapie“ zu vermeiden, da zum Beispiel im Rahmen der Kosmetik ein *therapeutisches* Vorgehen gegen geltendes Recht verstößt. Wenn die nicht-thermische Anwendung von rotem Licht außerhalb der Behandlung von Krankheiten eingesetzt wird, handelt es sich nicht um ein therapeutisches Vorgehen und darf daher auch nicht so bezeichnet werden. Das Wort „Therapie“ wäre somit je nach vorliegenden Gegebenheiten durch „Anwendung“ zu ersetzen.

Die Wirkungen der Photobiomodulation werden zunehmend intensiv erforscht, wobei sich die publizierten Studien nicht ausschließlich auf die Anwendung am Menschen beziehen. Eine Reihe von Wirkungen können sowohl aus ethischen als auch praktikablen und methodologischen Gründen nicht am Menschen erforscht werden, sondern beziehen sich auf biophysikalische Experimente an Zellen oder Tiermodellen - in gleicher Weise, wie dies auch aus der pharmakologisch-biochemischen Forschung bekannt ist. Hierbei können grundlegende Effekte und Wirkmechanismen erforscht werden, die spezieübergreifend sind, weil sie in ähnlicher oder gleicher Form sowohl bei Einzellern, niedrigen Tieren, Säugetieren als auch Menschen beobachtet werden.

## 9 Über den Autor

Dieses Dokument wurde von Dr. med. Alexander Wunsch erstellt.

Dr. Wunsch ist Arzt, Lichttherapeut, Wissenschaftler und Sachbuchautor, der sich auf die Erforschung der Auswirkungen von Licht auf die menschliche Gesundheit sowie auf die Entwicklung von Geräten zur Lichtenwendung spezialisiert hat. Seine Publikationen und Vorträge behandeln Themen wie Photobiomodulation, Chronobiologie und die Rolle von natürlichem und künstlichem Licht für den menschlichen Organismus. Als lichtbiologischer Berater und Studienleiter begleitet er die JK-Gruppe seit dem Jahr 2010.

Wenn inhaltliche Fragen bestehen, kann der Autor unter folgender E-Mail-Adresse kontaktiert werden:

wunschart@gmail.com