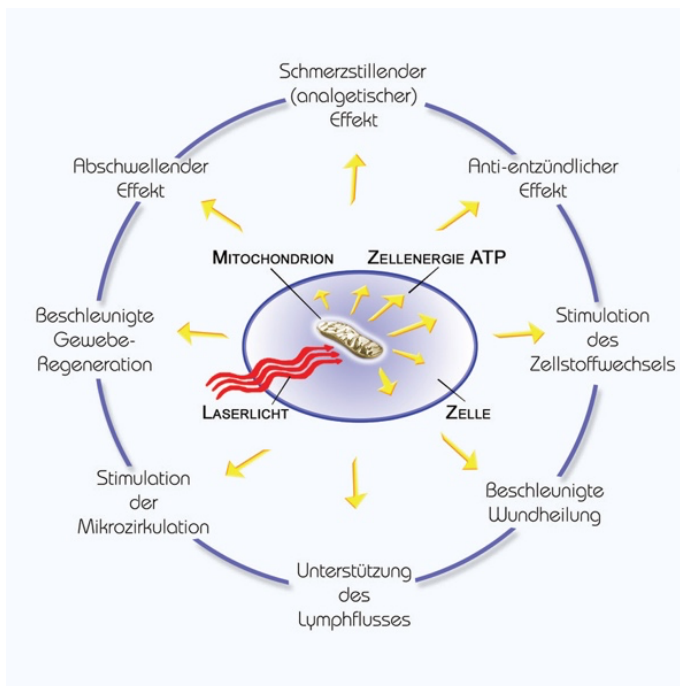


## PHOTO-BIOMODULATION (LLLT) IN DER REGENERATIVEN WUNDMEDIZIN

Die LOW-LEVEL LASER THERAPY (LLLT), auch als PHOTOBIMODULATION (PBM) bezeichnet, stellt ein evidenzbasiertes Verfahren zur nicht-thermischen Stimulation biologischer Gewebeprozesse dar.

Sie nutzt kohärentes Licht im roten bis nahinfraroten Spektrum (typischerweise 600–1000 nm), um zelluläre Signalwege gezielt zu modulieren, ohne thermische Gewebeschädigung zu verursachen.



## MOLEKULARE UND ZELLULÄRE WIRKMECHANISMEN

### 1. MITOCHONDRIALE AKTIVIERUNG UND ATP-SYNTHESE

Photonenabsorption durch Cytochrom-c-Oxidase führt zu:

- Steigerung des mitochondrialen Membranpotentials
- Erhöhter ATP-Produktion
- Optimierter zellulärer Energieverfügbarkeit

→ Grundlage für Zellproliferation, Migration und Reparaturprozesse

## **2. MODULATION OXIDATIVER SIGNALWEGE**

- Transiente Erhöhung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) als ZELLULÄRE SIGNALMEDIATOREN
- Aktivierung redoxsensitiver Transkriptionsfaktoren (z. B. NF- $\kappa$ B, AP-1)
- Induktion regenerationsfördernder Genexpression

## **3. ZELLPROLIFERATION UND MATRIXNEUBILDUNG**

- Stimulation von Fibroblasten, Keratinozyten und Endothelzellen
- Erhöhte Kollagen-I- und III-Synthese
- Förderung der extrazellulären Matrixorganisation

## **4. ANGIOGENESE UND MIKROZIRKULATION**

- Induktion vaskulärer Wachstumsfaktoren (z. B. VEGF)
- Neubildung kapillärer Strukturen
- Verbesserung der lokalen Perfusion und Sauerstoffversorgung

## **5. IMMUNMODULATION UND ENTZÜNDUNGSREGULATION**

- Reduktion proinflammatorischer Zytokine (IL-6, TNF- $\alpha$ )
- Hochregulation antiinflammatorischer Mediatoren (z. B. IL-10)
- Stabilisierung des inflammatorischen Gleichgewichts im Wundmilieu

## **6. ANALGETISCHE EFFEKTE**

- Hemmung nozizeptiver Mediatoren (z. B. Bradykinin)
- Modulation der Nervenleitgeschwindigkeit
- Verbesserung der Gewebedurchblutung → indirekte Schmerzreduktion

## **KLINISCHE RELEVANZ IN DER WUNDMEDIZIN**

Die Photobiomodulation stellt einen integrativen Bestandteil moderner, regenerativer Therapiekonzepte dar:

- Beschleunigte Epithelisierung bei akuten und chronischen Wunden
- Verbesserte Granulationsgewebsbildung
- Reduktion von Ödem und Hyperämie
- Optimierung der Narbenqualität (verminderte Fibrose, geringere Hypertrophie)
- Unterstützung bei infektgefährdeten Wunden durch Stabilisierung der Barrierefunktion
- Signifikante Schmerzreduktion und Verbesserung des funktionellen Outcomes

Typische Indikationen:

- Ulcus cruris (venös, arteriell, gemischt)
- Postoperative Wundheilungsstörungen
- Traumatische Weichteilverletzungen
- Narben

## **THERAPEUTISCHE EINORDNUNG**

Die LLLT ist kein isoliertes Verfahren, sondern entfaltet ihre maximale Wirksamkeit im Rahmen eines ärztlich geführten, phasengerechten und kausal orientierten Therapiekonzepts. Insbesondere in Kombination mit:

- chirurgischer Wundkonditionierung (Débridement)
- vaskulärer Optimierung
- moderner Wundauflagentherapie
- regenerativen Verfahren (z. B. PRP, Zelltherapie)

## **SICHERHEIT UND ANWENDUNG**

- Nicht-invasiv, schmerzfrei, gut verträglich
- Keine thermische Gewebeschädigung
- Hohe Patient:innenakzeptanz

**GEZIELTE LICHTENERGIE AKTIVIERT, WAS IM GEWEBE ANGELEGT IST –  
REGENERATION WIRD NICHT ERSETZT, SONDERN PRÄZISE GEFÜHRT.**