

# Der Wirkungsmechanismus von Low-Level-Laser-Strahlung auf Zellen

Die aus der Lasertechnik entwickelte Low-Level-Laser-(LLL-)Therapie befindet sich seit Jahren in einer deutlichen Expansion und gewinnt zunehmend an experimenteller, ärztlich-wissenschaftlicher, klinischer und therapeutischer Erfahrung.

Dr. med. Lutz Wilden/Bad Füssing, Dr. Rainer Karthein/Köln

Das Spektrum häufiger Indikationen reicht von der Anregung der körpereigenen Heilung bis hin zur kosmetischen Behandlung, insbesondere bei Hautanwendungen. Über die zelluläre Wirkungsweise der LLL-Strahlung, die je nach erwünschter Eindringtiefe mit Energien im sichtbaren bis infraroten Spektralbereich verknüpft ist, existieren bis heute nur inkonsistente Vorstellungen. Im Folgenden wird daher zum Wirkungsmechanismus von LLL-Strahlung ein in sich konsistentes Modell auf zellulärer Ebene dargestellt.<sup>1,2</sup> Die Autoren können in den letzten Jahren auf sehr gute medizinische Heilerfolge mit der LLL-Therapie nicht nur bei chronischen Innenohrerkrankungen (s. Abb. 1), chronischen Schmerzzuständen, Hauterkrankungen, sondern auch bei orthopädischen und akuten allgemeinen Erkrankungen wie Bronchitis, Sinusitis, Mittelohrentzündung, Herpes labialis, Akne usw. zurückblicken. Insbesondere die erfolgreiche Therapie von chronisch komplexen Innenohrerkrankungen mit oder ohne Tinnitus (Ohrgeräusche), ausgelöst durch z.B. chronische Lärmüberlastungen, Knalltraumen oder als Folge eines Hörsturzes, sowie die Therapie von otogenem Vertigo (Morbus Menière) mit LLL-Strahlung bestätigen die Autoren seit Jahren in ihrer täglichen Praxis.<sup>3</sup> Immer wieder ist es die Applikation von Energie durch LLL-Strahlung, die geschädigte Zellen und damit den Organismus regeneriert. Da man biochemisch den Wirkungsmechanismus jedoch nach wie vor noch nicht abschließend konsistent aufgeklärt hat, spricht man von Anregung der Mikrozirkula-

tion, der körpereigenen Abwehr bzw. ganz allgemein von positiven Auswirkungen durch die Anwendung von LLL-Strahlung.

Gesunde Zellen zeichnen sich dadurch aus, dass sie optimal mit Energie versorgt werden. Diese Energie wird über die Nahrungsaufnahme zur Verfügung gestellt und gelangt durch Spaltung in resorbierbare Bestandteile in die Zelle. Der Organismus kann jedoch die chemische Energie der Nährstoffe nicht direkt verwerten, sondern muss sie zuerst in den Zellen in eine zellulär nutzbare Form transferieren. Am wichtigsten dabei ist das Adenosintriphosphat (ATP), welches durch Reduktion (Abgabe von energiereichen Elektronen) zu ADP bzw. zu cAMP oxidiert wird und die wichtigste Form der energetischen Versorgung der Zelle ist.

## Das biochemische/biomechanische Modell des zellulären Energietransfers

Biochemische/biomechanische Modelle des zellulären Energietransfers machen Elektronen als Energieträger für die einzelnen prozessabhängigen Umwandlungsschritte im zellulären Energietransport verantwortlich.<sup>4,5,6</sup> Über das Blut gelangen die resorbierten und bereits teilweise zerlegten Nahrungspartikel in die entsprechenden Organe, wo sie über den enzymatisch gesteuerten Katabolismus der entsprechenden Parenchymzellen in die Mitochondrien eingeschleust und weiter abgebaut werden. Die dafür verantwortlichen biochemischen Reaktionsketten sind die extramitochondrial stattfindende Glykolyse mit Reduktion zum elektronenliefernden NADH, die Bildung von Pyruvat, das an der inneren Mitochondrienmembran im Zitronensäurezyklus weiter zerlegt wird, und einfache Fettsäureketten, die gekoppelt an Carnitin in die Mitochondrien transportiert werden.

Die bisherigen Modelle gehen davon aus, dass die dabei gewonnenen energiereichen Elektronen über mehrere Oxidations-/Reduktionsstufen übertragen und an die Atmungskette der inneren Mitochondrienmembran weitergegeben werden. Dies geschieht teilweise infolge von zufälligen Zusammenstößen der Elektronen an membrangebundene Proteine, teils direkt an die Komponenten der Atmungskette. Bei dieser Übertragung verlieren die Elektronen ihre anfänglich hohe Energie, die nun unter Schaf-



**Abb. 1:** Beispiel zur LLL-Therapie einer frühkindlichen Innenohrschwerhörigkeit.

fung eines Protonengradienten und der dadurch angetriebenen oxidativen Phosphorylierung zur ATP-Erzeugung genutzt wird. Beim aeroben Stoffwechsel stellt dieser Prozess die Hauptquelle für die ATP-Gewinnung dar.

### Widersprüche und Unklarheiten im biochemischen/biomechanischen Modell des zellulären Energietransportes

Allein schon die Struktur und der Transport durch die Mitochondrienmembran stellt eine erste Unstimmigkeit im biochemischen/biomechanischen Modell des Elektronenflusses dar. Das durch die extramitochondrial ablaufende Glykolyse reduzierte NADH kann die Mitochondrienmembran nicht durchdringen.

Des Weiteren enthalten die einzelnen Komponenten der Atmungskette verschiedene Elektronencarrier wie z.B. Cytochrome, Flavine, Eisen-Schwefel-Komplexe und andere. Bei den bisherigen Modellen des Elektronenflusses geschieht die Übertragung der Elektronen vom NADH oder FADH<sub>2</sub> zum Sauerstoff in mehreren Stufen über diese Elektronencarrier. Zusätzlich halten Protonenpumpen in der Mitochondrienmatrix ein Membranpotenzial aufrecht, das den Elektronenfluss unterstützt (protonenmotorische Kraft).

Das aktive Zentrum der Elektronencarrier sind ihre prosthetischen Gruppen, die fast ausschließlich aus reaktiven Übergangsmetallen bestehen. Im Modell werden die Elektronen von einem Metallzentrum eines Elektronencarriers zum nächsten durch Rotations- und Translationsbewegungen weitergegeben, wobei sie ihre anfängliche Energie verlieren. Ungeklärt ist nach wie vor, dass jedes NADH beispielsweise zwei Elektronen abgibt – jedes O<sub>2</sub>-Molekül aber vier Elektronen zur Bildung von Wasser benötigt (Abb. 2). Ein korpuskulär gedachter Elektronenfluss würde daher, dem Modell entsprechend, quantitativ das Vorhandensein verschiedener Elektronensammel- und Verteilungsstellen entlang der Atmungskette erfordern, in denen Änderungen der Elektronenzahl ausgeglichen werden müssen. Bis zur endgültigen Elektronenübertragung auf O<sub>2</sub> werden drei oxidative Phosphorylierungseinheiten über das Elektronenübertragungspotenzial durch die Reduktion von NADH bzw. FADH<sub>2</sub> gespeist. Dadurch soll ohne Wärmeverlust an die Umgebung der größte Teil der dabei freiwerdenden Energie direkt übertragen werden. Die korpuskuläre Vorstellung allerdings geht davon aus, dass über einen indirekten Reaktionsweg Wasserstoffatome zuerst in Hydrid-Ionen (H<sup>-</sup> und H<sup>+</sup>) gespalten werden.

Im weiteren Verlauf der Atmungskette sollen die Protonen und Elektronen vorübergehend zusammengefügt werden, bis sie erst am Ende der Transportkette endgültig mit den Protonen vereinigt werden. Im gesamten biochemischen/biomechanischen Modell werden die Prozesse in den Zellen als zufallsbe-

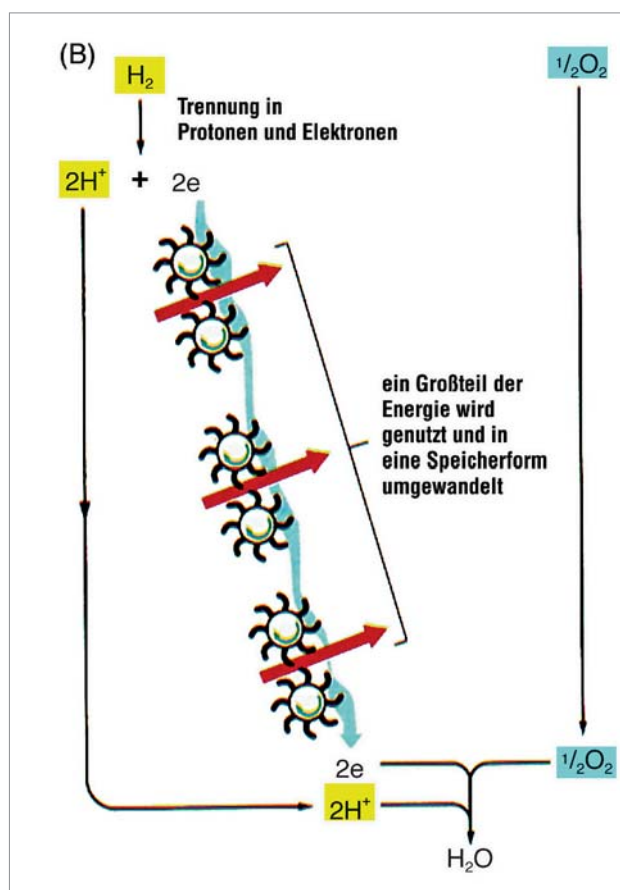


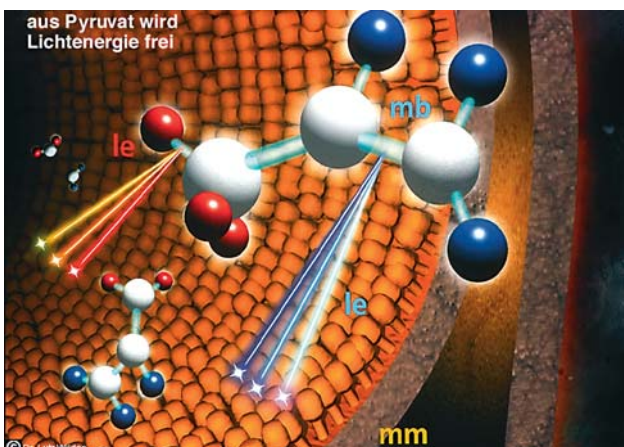
Abb.2: Schematisierte Darstellung des korpuskulären Energietransfers.<sup>4</sup>

stimmte, chaotische Ereignisse ohne synergetische Präzision angesehen. Die Elektronen werden, wie bereits oben erwähnt, bei zufälligen Zusammenstößen an die Atmungskette abgegeben.

Die korpuskuläre Vorstellung sieht dazu Schwingungen und Rotationsbewegungen der einzelnen Parameter bis hin zum quantenmechanischen Durchtunneln von Membranbarrieren vor.<sup>7</sup> Begründet werden diese Vorstellungen unter anderem auch durch die Übereinstimmung der tatsächlich beobachteten Geschwindigkeiten der Elektronenübertragung mit der zu erwartenden Häufigkeit zufälliger Zusammenstöße zwischen den beweglichen Elektronencarriern und den Enzymkomplexen. Bisher ist diese angenommene Zufälligkeit der Zusammenstöße jedoch gleichzeitig an die Feststellung geknüpft, dass keine Notwendigkeit besteht, eine festgefügte strukturelle Anordnung der Elektronentransportkette zu fordern. Gleichzeitig wurde es bisher auch nicht für nötig befunden, den in den biomechanischen Modellen postulierten, geordneten Elektronentransfer einzig von der Spezifität der funktionellen Wechselwirkungen zwischen den Atmungskettenkomponenten abhängig zu machen. Nicht nur anhand dieser aufgezeigten Inkonsistenzen in den Modellen des Elektronenflusses mit dem korpuskulären Bild der Elektronen, sondern auch aus den im Folgenden dargestellten Gründen ergeben sich für den mitochondrialen Energietransfer deutliche Hinweise auf die Bedeutung von Strahlungsphänomenen.



**Abb. 3:** Das Zellkraftwerk Mitochondrion (M), das durch den zellulären Energietransfer (LE) den wichtigsten zellulären Energiestoff Adenosin-triphosphat (ATP) erzeugt. (ZK) Zellkern.



**Abb. 4:** Der Energietransfer der molekularen elektromagnetischen Bindungsenergien (mb) vom Pyruvat zur inneren Mitochondrienmembran (mm) dargestellt als Strahlungsprozess (le).

### Vom Teilchenaspekt zu Strahlungsphänomenen

Durch Berücksichtigung von Strahlungsphänomenen, die aufgrund des Teilchen-Welle-Dualismus<sup>8</sup> grundsätzlich zur Natur der Elektronen gehören (J.J. Thomson, Nobelpreis für Physik 1906, und G. P. Thomson, Nobelpreis für Physik 1937), kann der mit dem mitochondrialen Elektronenfluss verknüpfte korpuskuläre Energietransfer auch als Strahlungsprozess beschrieben werden (Abb. 3).

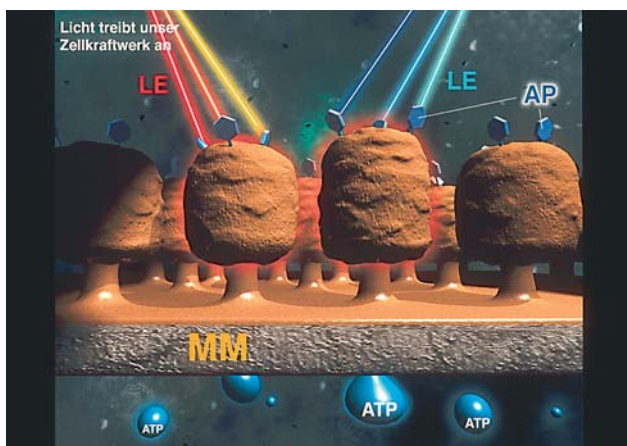
Entgegen der bisher angenommenen zufälligen, chaotischen Organisation des mitochondrialen Energietransfers im klassischen, korpuskulären Bild vollziehen sich nämlich funktionsbezogene Bewegungen und Änderungen in der Zelle auf hochgeordnete Art und Weise.<sup>9,10</sup> Der Regelkreis Zelle und letztendlich das gesamte System Mensch wäre sonst nicht möglich. Dieses Regelprinzip funktioniert jedoch nur, wenn sich die hoch strukturierten Prozesse auf langreichende Wechselwirkungen – mit einer vielfach größeren Reichweite als chemische Kräfte – zwischen den Komponenten und Systemen zurückführen lässt. Dies bedeutet jedoch das Abrücken vom ausschließlich molekularen Standpunkt und offenbart somit den Schwingungsas-

pekt der Materie.<sup>11</sup> Statt der klassisch molekularen Teilchenverschiebung erweist sich der mitochondriale Elektronenfluss hierbei modelltheoretisch als Welle. Der Zusammenhang zwischen Energietransport (Strahlung) und Ordnung (molekulare Struktur) zeigt sich beispielsweise dann, wenn in struktureller Form gebundene Energie bei der Auflösung von Bindungen in einem Molekülverband frei wird bzw. sich umgekehrt wieder strukturell manifestiert. Mit anderen Worten besteht eine Wechselbeziehung zwischen Energie und Struktur, was den modernen physikalischen Quantenmodellen viel eher entspricht und den bisher nur schwer verständlichen Aspekt des am mitochondrialen Energietransfer beteiligten Elektronenflusses viel logischer erklärt und beschreibt. Chemische Reaktionen in der Zelle bestehen im Wesentlichen aus Spalten oder Formieren von Verbindungen zwischen zellulären Reaktionspartnern. Beispiele dafür sind der Nährstoffabbau im Zitronensäurezyklus und die ATP-Produktion in der Atmungskette. Damit es zu einer chemischen Reaktion in der Zelle kommt, müssen die beteiligten Komponenten genügend Bewegungsenergie erhalten, um aufeinanderzutreffen. Weiterhin ist auch eine – wenigstens kurzzeitige – Aktivierung mindestens eines Reaktionspartners notwendig, um beispielsweise elektrische Ladungsverteilungen zu ändern, sodass mit dem Partner neue Verbindungen gebildet werden können.<sup>11</sup>

Die An- und Abwesenheit von energiereicher Strahlung bestimmter Frequenz und Wellenlänge, Intensität, Ausbreitungsrichtung und Polarisation in der Zelle entscheiden darüber, ob Reaktionen ablaufen oder unterdrückt werden. Dies wird im Folgenden auf der Basis der Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit den Systemen und Komponenten des mitochondrialen Energietransfers diskutiert. Als Basis dient dabei zunächst der Energiewertebereich, innerhalb dessen sich die beteiligten Energieträger bewegen. Dieser zelluläre Energiewertebereich lässt sich z. B. an folgenden primär am Energietransfer beteiligten Systemen aufzeigen (Abb. 4).<sup>18</sup> Ausgangspunkt der Energiebetrachtung stellen die Bindungsenergien verschiedener chemischer Bindungsarten beim zellulären Nährstoffabbau, die im Zitronensäurezyklus gespalten bzw. abgebaut werden, dar.<sup>13</sup> Tabelle 1 zeigt charakteristische Energiebereiche für die wichtigsten Bindungsenergien chemischer Bindungsarten: Van-der-Waals-, Hydrogen-, kovalente und ionische Bindungen.

| Chemische Bindung     | Energie als Wellenlänge (nm) elektromagnet. Strahlung |
|-----------------------|---|
| Van-der-Waals-Bindung | 31.100–15.300 (Infrarot)                              |
| Hydrogen-Bindung      | 950–410 (Infrarot, sichtbares Licht)                  |
| ionische Bindung      | 620–310 (sichtbares Licht, UV-A)                      |
| kovalente Bindung     | 560–160 (sichtbares Licht, UV-A, UV-B, UV-C)          |

**Tab. 1:** Vergleich von charakteristischen Energiebereichen chemischer Bindungsarten mit der Photonenenergie elektromagnetischer Strahlung (ausgedrückt in Wellenlängen elektromagnetischer Strahlung).<sup>13,14</sup>



**Abb. 5:** Die in die innere Mitochondrienmembran (MM) einstrahlende molekulare Bindungsenergie (LE) kann von den dort vorhandenen molekularen Strukturen (AP= Antennenpigmente bzw. Elektronencarrier) absorbiert und zur Adenosintri-phosphat-Synthese (ATP) genutzt werden.

Die Energien in Tabelle 1 sind als Strahlungsenergien in Wellenlängen elektromagnetischer Strahlung dargestellt. Die Angabe chemischer Bindungsenergien in Energien elektromagnetischer Strahlung beruht auf der von Einstein aufgestellten Relation, dass die Energie E elektromagnetischer Strahlung in Joule (J) umgekehrt proportional zur Wellenlänge λ in Meter (m) ist:

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

mit

h: Plancksches Wirkungsquantum (= 6,6256 · 10<sup>-34</sup> J · s),

c: Lichtgeschwindigkeit (= 2,9979 · 10<sup>8</sup> m/s) und

λ: Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung in m.

Im Vergleich zu den Wellenlängen des für das menschliche Auge sichtbaren Bereiches der elektromagnetischen Strahlung – sie liegen zwischen etwa 400 bis 800 nm – erfüllen die Bindungsenergien chemischer Bindungen in Tabelle 1 im Wesentlichen den gleichen Energiebereich des sichtbaren Lichtes, reichen darüber hinaus aber auch zum Teil in den infraroten und ultravioletten Bereich der elektromagnetischen Strahlung. Bindungsenergien von Hydrogenbindungen z.B. entsprechen in etwa Wellenlängen des niederenergetischen Bereiches des sichtbaren Lichtes, von gelb über rot ins nahe Infrarot (IR). Im Metabolismus der Zelle wird die chemische Energie, die in den einzelnen Bindungsarten steckt, beim Aufbrechen der Bindungen freigesetzt und durch spezifische molekulare Strukturen der Mitochondrien in für die Zelle verwertbare Energie umgewandelt. Diese molekularen Strukturen bestehen aus den mitochondrialen Elektronendonator- und -akzeptorsystemen (Enzyme bzw. Elektronencarrier) sowie den Atmungskettenkomponenten. Auch für diese Systeme lassen sich charakteristische Energiewertebereiche angeben. Ein wichtiges Elektronentransportsystem energiereicher Elektronen ist das Nicotinadenindinucleotid (NAD<sup>+</sup>/NADH)-System. Die Absorptionsmaxima dieses Systems liegt im Bereich zwischen ca. 250 und 500 nm.<sup>4</sup> Ein weiteres bedeutendes

Elektronentransportsystem ist das FAD/FADH<sub>2</sub>-System, das fotospektroskopisch die gleichen Banden liefert.

Absorptionsmaxima der Spektren kennzeichnen den Bereich elektromagnetischer Strahlung, in dem das System die meiste Energie in Form von Strahlung absorbieren kann. Was mit der absorbierten Energie passiert, hängt von den physikalischen Eigenschaften der jeweiligen Systeme und den ihnen eigenen elektronischen Zuständen ab. Mögliche Energieänderungen ergeben sich z.B. durch Relaxation, Fluoreszenz, Wärmeumwandlung oder dynamische Konformationsänderungen. Grundsätzlich besteht im Vergleich zu den Energien chemischer Bindungen (s. Tabelle 1) eine auffallend gute Übereinstimmung der Energiewertebereiche zu den betrachteten, am mitochondrialen Energietransfer beteiligten Komponenten. Die im Zitronensäurezyklus beispielsweise aus kovalenten Kohlenstoff- und aus Hydrogenbindungen frei werdenden Energien chemischer Bindungen stimmen gut mit den Absorptionsspektren der NAD<sup>+</sup>/NADH- und FAD/FADH<sub>2</sub>-Systeme überein.

Weitere relevante Energiebereiche ergeben sich aus den Schlüsselstrukturen innerhalb der mitochondrialen Atmungskette, den sogenannten Elektronencarriern. Viele absorbieren Licht im sichtbaren, nahen ultravioletten und infraroten Spektralbereich und ändern ihre Farbe, wenn sie oxidiert bzw. reduziert werden. Eine Übersicht beispielhafter Elektronencarrier mit Angabe ihrer Absorptionsbereiche zeigt Tabelle 2.

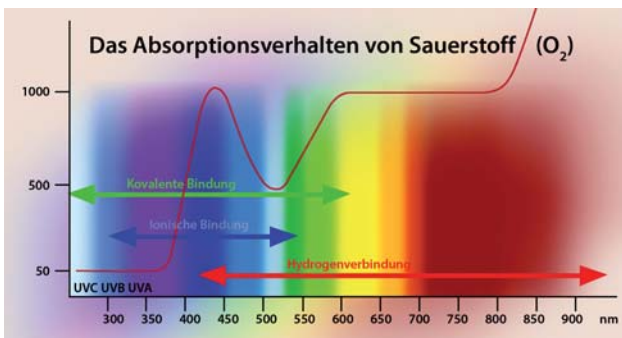
Ganz allgemein hat jeder Elektronencarrier ein Absorptionsspektrum und eine Reaktivität von einer so gut unterscheidbaren Spezifität, dass sich ihr Verhalten selbst in Rohextrakten spektroskopisch verfolgen lässt. Hervorzuheben sind die Flavin- und Häm-Komponenten. Flavine bilden eine bemerkenswerte Klasse grüngelber Pigmente, die sich von Riboflavin oder Vitamin B2 ableiten. In Verbindung mit Proteinen bilden Häme (Eisen-Porphyrine) eine ganze Palette farbiger Moleküle, die blutrot bis erbsengrün aussehen.<sup>5</sup> Diese Metalloproteine, dazu zählen Proteine mit Eisen-Schwefelzentren, Hämgruppen und Kupferatomen, stellen einen wesent-

| Komponente    | Absorptionsbanden (nm) |         |         |
|---------------|------------------------|---------|---------|
|               | Soret-Bande            | β-Bande | α-Bande |
| NADH/NAD      | 300–340                |         |         |
| Flavoproteins | 350–490                | 470–490 | 580–630 |
| Ubichinon Q   | 270–410                |         |         |
| Cytochrome b  | 450–465                | 520–530 | 558–562 |
| Cytochrome c1 | 370–380                | 530     | 555     |
| Cytochrome c  | 410–415                | 521–528 | 551–557 |
| Cytochrome a  | 420–450                | 520–540 | 603–605 |
| Cu A          |                        |         | 830     |
| Cu B          |                        |         | 760     |
| Cytochrome a3 |                        | 520–540 | 806     |

Die Absorptionsbanden im UV-Bereich (etwa 20 bis 300 nm) stammen von den Aminosäuren des enthaltenen Proteins, wie beispielsweise Tryptophan und Tyrosin; die Soret-, β- und α-Banden von den prosthetischen (Metall-)Gruppen.

**Tab. 2:** Absorptionsbanden der Fotoabsorptionsspektren wichtiger Elektronencarrier der mitochondrialen Atmungskette.<sup>4,14,15</sup>

lichen Bestandteil der Atmungskette dar. Drei große Enzymkomplexe der Atmungskette mit solchen Metalloproteinen sind der NADH-Dehydrogenasekomplex, der Cytochrom b/c1-Komplex und der Cytochrom-Oxidase-Komplex (Cytochrom a/a<sub>3</sub>). Wie in Tabelle 2 angegeben, sind diese Komponenten der Atmungskette durch ihre Absorptionsbanden (Photoabsorptionsspektren) eindeutig charakterisierbar. Die kurzwelligen Absorptionsmaxima der Spektren stammen vom Protein, der längerwellige Absorptionsbereich in der Regel vom aktiven (Metall-)Zentrum des jeweils betrachteten Elektronencarriers. Diese Energiebereiche stimmen ebenfalls auffallend gut mit den Energien freierwender chemischer Bindungen (s. Tabelle 1) und den Absorptionsbanden der Elektronendonator- und Akzeptorsysteme der Zelle überein (Abb. 5).



**Abb. 6:** Die Aufgabe des Aufnehmens überschüssiger Energie (Elektronen) im korpuskulärem Modell durch Sauerstoff entspricht den Absorptionseigenschaften des Sauerstoffs gegenüber den aus dem Pyruvat freiwerdenden überschüssigen elektromagnetischen Bindungsenergien.

### Wie wirkt Low-Level-Laser-Strahlung (LLL-Strahlung) auf den zellulären Energietransfer?

Die Übereinstimmung der Absorptionsenergien der Elektronendonator- und Akzeptorsysteme der Zelle mit den Energien freierwender chemischer Bindungen (Tab. 1) zeigt, dass eine in die mitochondriale Atmungskette einstrahlende elektromagnetische Strahlung (z.B. LLL-Strahlung) entsprechend ihrer Energie (Frequenz oder Wellenlänge) von den dort sich befindenden Elektronentransportsystemen und Elektronencarriern direkt absorbiert werden kann. Der effektive Energiebereich reicht dabei über den gesamten sichtbaren Bereich bis jeweils zum nahen UV bzw. IR. Weiterhin wird intrazellulär die oxidative Phosphorylierung durch die sterische Verbindung von Elektronencarriern mit Proteinmolekülen ermöglicht. Die Proteine lenken die Elektronen durch die Atmungskette, sodass sie wirksam und in der richtigen Reihenfolge von einem Enzymkomplex zum anderen gelangen. Diese Elektronensteuerung geschieht durch allosterische Umlagerungen in den beteiligten Proteinen.

Nicht zuletzt können Steuerung und Energiebereitstellung für solche dynamischen Konformationsänderungen oder Schwingungen in Makromolekülen ebenfalls durch LLL-Strahlung erklärt werden. Die Berücksichti-

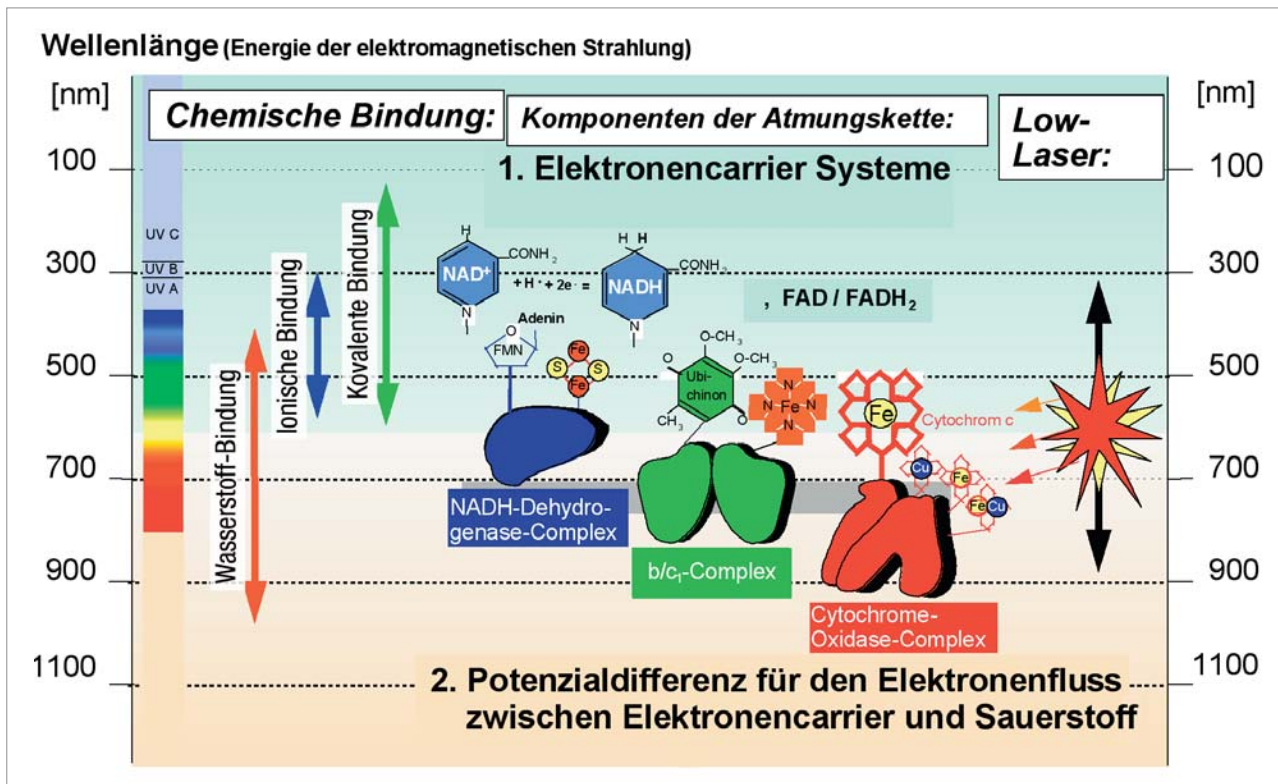
gung von Strahlungsphänomenen im Zusammenhang mit dem mitochondrialen Energietransfer und Elektronenfluss eröffnet somit konsistent neue Möglichkeiten der Interpretation der aus dem katabolischen Stoffwechsel letztendlich freiwerdenden Energie und ihrer Aufnahme durch die molekularen Strukturen der inneren Mitochondrienmembran. Dadurch lässt sich auch die Wirkung elektromagnetischer Strahlung in Form von LLL-Strahlung auf den mitochondrialen Energietransfer erklären. Je nach Wellenlänge kann elektromagnetische Strahlung (Photonen), hier in Form von LLL-Strahlung, beispielsweise Makromoleküle anregen sowie geometrische und sterische Veränderungen von Molekülen und Komponenten auslösen.

Grundsätzlich hat elektromagnetische Strahlung eine unmittelbar anregende Wirkung auf zelluläre Strukturen, wie bereits mehrfach experimentell nachgewiesen wurde.<sup>15,20</sup> Intensive Forschungen zielen dabei auf die Aufklärung zellulärer Stimulationspunkte sowie des Wirkkomplexes der unmittelbar anregenden Wirkung elektromagnetischer Strahlung im Zusammenhang mit den Komponenten der Atmungskette, die sich als Antennenpigmente verstehen lassen (Abb. 7).

Stimulative Wirkung elektromagnetischer Strahlung in Form von LLL-Strahlung auf den Menschen wird heute in der Literatur vielfach beschrieben.<sup>3,12,16,17,18</sup> Dabei ist bekannt, dass die Wirkungen von LLL-Strahlung keinesfalls thermischer Natur sind.<sup>19,20</sup> Variationen der Energie elektromagnetischer Strahlung zeigen, dass Wirkungen von Laserlicht auf Zellen nur auf einige bestimmte Frequenzbereiche nachweisbar sind. Besonders wirksam scheint der Wellenlängen(Energie-)bereich elektromagnetischer Strahlung zwischen 600 und 850 nm (roter Bereich).<sup>16,19,20</sup> LLL-Strahlung aus dem roten und nahen infraroten Bereich entspricht genau den in der Atmungskette relevanten und charakteristischen Energie- und Absorptionsniveaus. Dies deutet darauf hin, dass LLL-Strahlung auf die Komponenten der sogenannten Antennenpigmente der Atmungskette direkt anregend wirkt und als unmittelbare Folge davon für eine Vitalisierung der Zelle durch die Steigerung ihrer mitochondrialen ATP-Produktion sorgt. Diese Art Stimulierung



**Abb. 7:** Darstellung der unmittelbar anregenden Wirkung von außen einstrahlender elektromagnetischer Strahlung (LLE= Laser Licht Energie = LLL-Strahlung).



**Abb. 8:** Vergleich relevanter Energiebereiche, ausgedrückt in Energiewerten elektromagnetischer Strahlung zwischen chemischen Bindungen, Komponenten der zellulären Atmungskette und LLL-Strahlung.

lässt sich dabei als biologischer Resonanzeffekt sehen.<sup>21</sup> Die Komponenten der Antennenpigmente (Elektronencarrier) sind demnach Resonatoren verschiedener Größe und Form, die mit einer spezifischen Wellenlänge (= Energie) elektromagnetischer Strahlung resonieren und die Energie der Strahlung funktionell, d.h. für Regulationsprozesse in der Zelle, umsetzen können. Die Verknüpfungen zwischen den dabei für die Zelle relevanten Energiewertebereichen, ausgedrückt in Wellenlängen elektromagnetischer Strahlung, zeigt Abbildung 8.



**Abb. 9:** Heilmilaser zur langfristigen Therapie von chronisch komplexen Innenohrüberforderungen (Tinnitus, Hörverlust, Hyper- und Dysakusis, Druck im Ohr, otogener Vertigo, Morbus Menière).

### Zusammenfassung

Fasst man zusammen, stehen auf der einen Seite die in Tabelle 1 angegebenen charakteristischen Energieinhalte chemischer Bindungen, die durch den zellulären Nährstoffabbau freigesetzt werden. Demgegenüber befinden sich die Absorptionsbanden der mitochondrialen Komponenten der Atmungskette, insbesondere die der Elektronencarrier mit ihren Antennenpigmenten auf gleichen Energieniveaus (Tabelle 2). Diese relevanten Energiewertebereiche stimmen auffallend gut mit dem therapeutisch genutzten Energiebereich elektromagnetischer Strahlung der LLL-Strahlung überein und erklären somit den wirkungsvollen positiven Einfluss der LLL-Strahlung auf Zellen, ebenso wie den offensichtlichen biostimulativen Effekt natürlicher solarer Strahlung.<sup>n</sup>



### KONTAKT

#### Dr. med. Lutz Wilden

Kurallee 16, 94072 Bad Füssing  
 Tel.: 08531 980198  
 Fax: 08531 980119  
 E-Mail: info@dr-wilden.de



#### Dr. Rainer Karthein

Adamstr. 24, 50996 Köln  
 Tel.: 0221 8061793  
 Fax: 02233 280149  
 E-Mail: Jutta-Rainer.Karthein@t-online.de

