

# Am Anfang war das Licht ...

## Physikalisch-physiologische Grundlagen zu Licht- und Lasereffekten in der Therapie

Kurioserweise war Licht in früheren Zeiten als Therapiemittel besser bekannt und wurde häufiger verwendet als heute. Eine Renaissance der Lichttherapie ergab sich durch den Einsatz von Lasern, insbesondere durch den relativ einfach zu handhabenden Halbleiterlaser. Speziell der Softlaser wird unter diesem Aspekt immer erfolgreicher eingesetzt, aber auch umstritten diskutiert. Genaue Erkenntnisse zur Funktionsweise halfen hier, Vorbehalte abzubauen, Indikationen zu bestätigen.

Dr. rer. nat. Ulrich Warnke/Saarbrücken

n Endre Mester (Budapest) und Friedrich Plog (Kanada) waren die ersten, die biologische und klinische Effekte in den 70er-Jahren mit einem sogenannten Low-Power-Laser untersuchten, damals verwendeten sie noch HeNe-Laser mit 632,8 nm. Mester konnte eine Photobiostimulation nachweisen, beschleunigtes Haarwachstum, beschleunigte Hautregeneration bei Wunden. Besonders beeindruckend waren Heilungen therapieresistenter Symptome. Schnell wurde eine Laser-Therapie-Klinik in Budapest etabliert. Plog konzentrierte sich ab 1973 auf die Behandlung sogenannter Akupunkturpunkte mit einem HeNe-Laser, was sich nach seinen Aussagen als Alternative zur Nadelung erwies. Dies war der Start zu intensiver Forschung und Erprobung der Behandlung in Osteuropa und China. Die positiven Erfolge ermutigten schließlich in den 80er-Jahren auch den Westen, die Methode zu prüfen. Ab sofort wurden die preisgünstigen Halbleiter-Laser und Super-Lumineszenz-Dioden verwendet, z.B. Gallium Arsenid (GaAs) mit 904 nm und Gallium Aluminium Arsenid (GaAlAs), deren Wellenlänge mit der Menge an Aluminium wechselt. Der Halbleiterlaser oder die Laserdiode kann grundsätzlich als Puls- oder Dauerstrichlaser (cw-Laser) betrieben werden. Die Vorteile dieses Laserprinzips sind: große abgestrahlte Leistung, ausreichend gute Strahlungsbündelung, geringe spektrale Breite, Stabilität der spektralen und räumlichen Verteilung der Strahlung, ausreichende Lebensdauer und gute Modulierbarkeit. Die Abstrahlcharakteristik besitzt die Form einer Keule.

### Mehr Wissen – mehr Lichttherapie

Wenn Lichttherapie immer noch wenig verbreitet ist, dann gibt es mehrere Gründe dafür: physikalische Therapien sind in unserer Gesellschaft allgemein durch die Dominanz der Pharmaindustrie ins Hintertreffen geraten. Außerdem gibt es im Bereich des Lichtes, auch des Laserlichtes, viel Unwissenheit. Schließlich sind die einflussnehmenden Größen bei der Lichtapplikation bei den derzeit auf dem Markt angebotenen Geräten un-

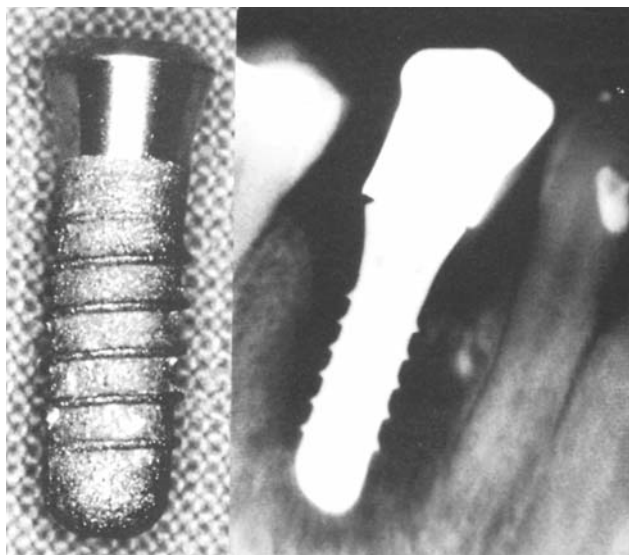
vollständig berücksichtigt. Die wichtigsten Parameter bei der Ausstrahlung des Lichtes sind:

- Photonenenergie, entspricht der Farbe oder Frequenz,
- Leistungsflussdichte, entspricht der Amplitude und dem Photonenfluss durch eine Fläche hindurch,
- Energieflussdichte, entspricht der Zeitdauer, die ein bestimmter Photonenfluss durch eine Fläche hindurch anhält und stellt damit ein Maß für die applizierte Dosis dar,
- schließlich sind noch die Phasenbeziehungen der einzelnen Photonen in der Zeit und im Raum von Bedeutung, was als Kohärenz bezeichnet wird,
- und die Schwingungsrichtung der elektrischen Feldstärke, was als Polarisierung bezeichnet wird.

Auf der anderen Seite stehen die Licht-Absorptions-Parameter und die Licht-Reflexions- bzw. Streuungs-Parameter, die dem Bestrahlungsobjekt zuzuordnen sind und die für die Wirkung eine sehr wichtige Rolle spielen. Diese Parameter werden später kurz angesprochen.

### Laser-Lichtquellen und ihre Terminologien

Als Jargon für kohärente Lichtquellen mit bestimmten Farben haben sich die Bezeichnungen Softlaser, Kaltlaser oder Low-Power-Laser eingeprägt, um diese Auswahl von Lasern abzugrenzen von den teilweise hochgefährlichen anderen medizinischen Lasern. Aber diese Abgrenzung vermittelt einen falschen Eindruck, denn sie bezieht sich auf das Lasersystem und nicht auf das bestrahlte Gewebe. Verantwortlich für die Wirkung ist aber immer die Laser-Gewebe-Interaktion. Deshalb ist nicht allein der Laser-Leistungs-Output das Entscheidende, sondern die spezifische Absorption der elektromagnetischen Quantenenergie im Gewebe. Laser, die mit ihren Lichtfrequenzen innerhalb der Absorptionsbanden des Wassers liegen, können eine „explosive“ thermale Wirkung entfalten, obwohl ihre Quantenenergie und ihre Leistung relativ gering ist, sie also eigentlich Low-Power-Laser sind. Auf der anderen Seite können die Laser, die außerhalb der Absorptionsbanden der Moleküle des



Exkorporiertes Implantat und Röntgenbild; vor der Entfernung erfolgte eine Keimentnahme und eine Laserlichtdekontamination.

Organismus liegen, durchaus sehr hohe Leistungen aufweisen, also „heiße“ Laser sein, ohne jede Reaktion. Auch die Bezeichnung Low-Energy-Laser führt zu falschen Erwartungen. Ein Laser, der z.B. als Gesamt-Strahlungs-Energie nur 4 J herausgibt, hat bei der üblichen Fokussierung eine Energieflussdichte von etwa  $200 \text{ J/cm}^2$ .

### Lichteffekte und Lichttherapien

Die Farbfrequenzen der Halbleiterlaser bewirken mit ihren Photonenenergien einzelne spezielle fotochemische Reaktionen, das heißt, die Energie wird nach Absorption durch ein Molekül in eine Veränderung der inneren Struktur oder der Wechselwirkung mit der Molekülnachbarschaft münden. Unter Berücksichtigung dieser Fakten wurde versucht, dieses Lichttherapie-System international als low level laser therapy (LLLT) zu bezeichnen, wobei low auf die Reaktion bezogen ist (low reactive level). Wenn nun die Wirkung des HalbleiterLasers mit Biostimulation gekennzeichnet wird, so gibt dieser Begriff nur eine Seite der Wirkung wieder, denn viele Wirkungen der Photonen beruhen nicht auf Stimulation, sondern auf Inhibition. Besser wäre die Wirkungsweise mit Biomodulation zu beschreiben. Licht mit Wellenlängen der LLLT von 630–1.300 nm wird im Gewebe gestreut und absorbiert. Streuung heißt Änderung der Strahlenrichtung und der Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Strahlung. Absorbiert heißt Transformation von Photonenenergie in eine andere Form von Energie.

Licht im sichtbaren und unsichtbaren nahen Infrarot kann mit Elektronen, Molekülen und Molekülverbänden in Wechselwirkung treten. Dabei entsteht eine Anregung im Elektronenband, eine Anregung von Oszillation innerhalb des Moleküls oder Rotation des ganzen Moleküls. Elektronen lassen sich nur anregen, wenn die Ausrichtung ihrer Spins dies erlaubt. Die An-

regung der Elektronenbande kann in einem Bruch einer Verbindung münden oder in einer aktivierten Enzymtätigkeit.

Gewebe besteht durchschnittlich zu 70 Prozent aus Wasser. Wasser absorbiert Licht erst merklich bei Wellenlängen größer 1.100 nm und kleiner 280 nm. Wäre es anders, könnten wir nichts sehen, oder umgekehrt gesagt: wir sehen in einem Bereich elektromagnetischer Schwingungen, der nicht vom Wasser des Augapfels absorbiert wird. Tiefer ins Gewebe eindringen können deshalb nur diejenigen Wellenlängen, die außerhalb der Wasserabsorption liegen. Neben Wasser sind zwei Sorten von Biomolekülen hauptsächlich für die Absorption verantwortlich: auf der einen Seite Aminosäuren und Nukleinsäuren, auf der anderen Seite Chromophore. Bei Proteinen und Nukleinsäuren werden die Verbindungen der Helixstruktur zu verstärkter Vibration nach Absorption von Infrarotstrahlung angeregt. Im sichtbaren Bereich des Lichtes absorbieren auch Chromophore. Wichtige Vertreter sind Porphyrine. Dazu gehört auch Hämoglobin, das oxigeniert mit den Peaks bei 577 nm und 420 nm absorbiert und reduziert im Bereich um 560 nm herum. Ein weiteres bedeutendes Chromophor ist das Melanin. Blut und Melanin beschatten im sichtbaren Lichtbereich das darunterliegende Gewebe und nehmen damit rapiden Einfluss im Dosisgeschehen. Andererseits verwandeln sie Licht in Wärme, sind also photothermal wirksam.

Im Folgenden werden einige immer wieder gestellte Fragen zum Softlaser beantwortet:

#### ***Strahl die Sonne stärker als ein sogenannter Softlaser? Ist der Aufenthalt in der Sonne demnach nicht besser als die Lichtbehandlung?***

Die Sonne erzeugt  $4 \times 10^{26}$  Watt. Die Atmosphäre der Erde erhält davon den  $4,7 \times 10^{-10}$ ten Teil: entsprechend 175.000 TW. Das entspricht  $1.423 \text{ W/m}^2$  in der Sonnennähe (Perihel) und  $1.321 \text{ W/m}^2$  in der Sonnenferne (Aphel). In diesem Leistungsflussdichtebereich wird auch die Solarkonstante definiert mit  $1.372 \text{ W/m}^2$ . Ein Viertel davon gelangt zur Erdoberfläche,  $343 \text{ W/m}^2$ , das aber nur bei völlig klarer Luft. In unseren Breiten gibt es diesen Zustand nicht, sodass nach Reflexion und Absorption an Dunstteilchen noch  $120 \text{ W/m}^2 = 12 \text{ mW/cm}^2$  übrig bleibt. Diese Intensität beinhaltet die Summe aller Wellenlängen von etwa 300 nm bis 4.000 nm. Nur die Hälfte dieser Strahlung kann tiefer ins Gewebe eindringen, nämlich alle Photonen mit Quantenenergien unterhalb 1,8 eV (das entspricht Wellenlängen größer 690 nm). Ins Gewebe gelangt folglich nur Strahlung mit der Gesamtintensität von etwa  $6 \text{ mW/cm}^2$ . Betrachtet man nun die selektiven Wellenlängen der gebräuchlichen Laser und Dioden, z.B. 632,8 nm (monochromatischer HeNe-Laser) oder 904 nm (Halbleiterlaser), so bleiben nur noch Intensitäten von weniger als  $0,13 \text{ mW/cm}^2$  übrig. Dagegen haben wirksame HeNe-Laser  $2 \text{ mW/cm}^2$  und gebräuchliche Halbleiterlaser im Impulsmaximum  $10\text{--}80 \text{ W/cm}^2$ . Hochleistungslaserdioden mit den Standardwellenlän-

gen werden heute auf dem Markt sogar bis zu 2,5 kW angeboten.

***Ist das weiße Licht der Sonne als Summe aller Frequenzen besser als monochromatisches Kunstlicht?***

Verschiedene Wellenlängen werden von verschiedenen Antennenpigmenten in unserem Körper absorbiert. Liegen mehrere dieser Pigmente in einer Redoxkaskade (wie in der Atmungskette innerhalb der Mitochondrien) und werden die Pigmente durch die verschiedenen Wellenlängen gleichzeitig angeregt, so behindern sie sich gegenseitig in der Weitergabe der Elektronen, es kommt zum Elektronenstau (chromatic transients). Die Folge ist eine unvollständige Reduktion von oxidierten Substanzen. Das ist die ungünstige Seite weißen Lichtes. Aber es gibt auch einen günstigen Effekt. In tieferen Schichten des Körperabschlussgewebes wird von dem applizierten weißen Licht nur noch rotes und A-infrarotes Licht übrig bleiben, da die kürzeren Wellenlängen oberflächlich durch Protein-Chromatophore, wie Melanin und Hämoglobin, und durch Wasser absorbiert werden.

***Ist die geringe Eindringtiefe des roten und A-infraroten Lichtes von wenigen Millimetern nicht viel zu gering, um etwas therapeutisch bewirken zu können?***

Die Intensität der Strahlung nimmt mit zunehmender Tiefe exponentiell ab. Die Tiefe der Penetration ist physikalisch definiert als die Intensität des Strahles, die exakt 36 Prozent (entspricht  $1/e$ ) der Leistung von dem Strahl an der Oberfläche vor Eintritt in das Gewebe enthält. Wenn von wenigen Millimetern die Rede ist, so meint man die 36 Prozent Restamplitude ( $1/e$ ) der ursprünglich 100 Prozent einfallenden Strahlung. Also sind mindestens 63 Prozent der Photonen auf der Strecke absorbiert, was einer für Wirkungen recht luxuriösen Quantenausbeute entspricht. Die Eindringtiefe ist wellenlängenabhängig: UV dringt bei dieser Definition weniger als 0,1 mm tief ein (Proteinbindungen liegen in Resonanz zur Absorption), ebenso das andere Ende des Spektrums, das ferne Infrarot mit 1.400–12.000 nm (Wasserdipole liegen in Resonanz zur Absorption). Im Licht-Wellenlängenbereich der Halbleiter von 800–900 nm besteht für die Hauptabsorber, also sowohl für Hämoglobin als auch für das Gewebewasser, eine sehr geringe Lichtaufnahme. Hier befindet sich geradezu ein „Absorptionsloch“. Deshalb kann das Licht tiefer als benachbarte Wellenlängen eindringen. Insgesamt dringt der rote bis A-infrarote Lichtbereich bis mehrere Zentimeter tief in die Abschlussgewebe.

***Kann für die postulierten Wirkungen auch nichtkohärentes Licht, also statt Laser normale Dioden und Lampen verwendet werden?***

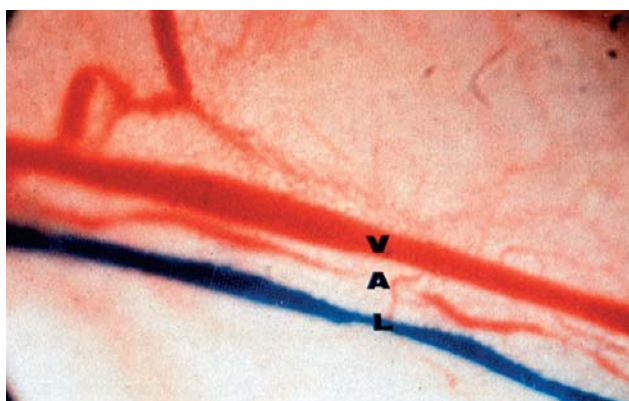
Die im ärztlichen Bereich angebotenen Laser sind keineswegs preisgünstig. Nichtkohärente Lumineszenz-Dioden kosten einen Bruchteil des Laserpreises. Außerdem erübrigt sich ein Laserbeauftragter innerhalb der Praxis und die Schutzbrille für Patient, behandelnden Arzt und Helfer. Die kohärente, also zeitliche und räumlich gleichmäßige Veränderung der Photonen innerhalb

der Strahlung ist in der fotobiologischen Wirksamkeit, verglichen mit nichtkohärenter Strahlung, umstritten. Einige Untersuchungen zeigen Unterschiede zwischen Laserstrahlung und nichtkohärenter Lumineszenz-Diodenstrahlung, andere finden keinen Unterschied bei exakt eingestellter gleicher emittierter Leistung bzw. Absorption. Wenn wir die beiden Lichtquellen vergleichen, finden sich Unterschiede in der spektralen Ausendung. Während Laserdioden diskrete Spektrallinien (Moden) aufweisen mit einer Gesamtbreite kleiner 5 nm, haben Lumineszenzdioden kontinuierliche Spektren mit spektralen Breiten von 40–80 nm. Die Diodenlaser zeigen untereinander allerdings auch Unterschiede: Multimodenlaser haben mehrere Moden in transversaler und longitudinaler Richtung. Monomodenlaser haben ein Modus in transversaler Richtung, aber mehrere Moden in longitudinaler Richtung. Nur Monofrequenzlaser haben jeweils einen Modus. Die Antwort zur Frage, ob dies eine Bedeutung hat, weist der Mechanismus zur Anregung von Enzymen. Wie Enzyme durch kohärentes Licht angeregt werden, dafür gibt es experimentelle Hinweise: Lange Polypeptidketten haben gebundene Elektronen, die bei kohärenter Photon-Energieeinschleusung im Kollektiv reagieren können. Versuchsergebnisse bestätigen dies.

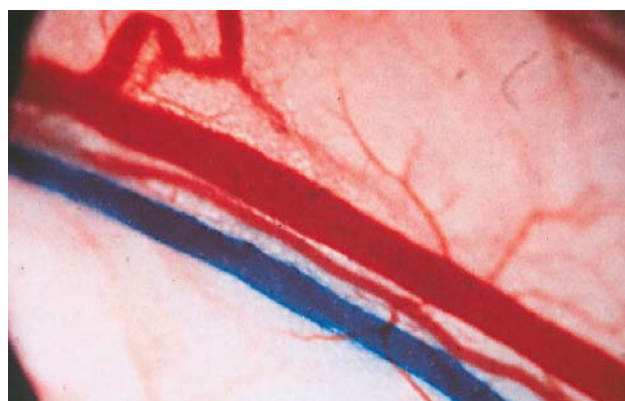
**Medizinische Relevanz**

Unser bereits 1985 veröffentlichtes Funktionsmodell der ATP-Bildung durch nahes IR-Licht ist weiterhin aktuell und ergibt einige Folgerungen. Zellen mit Energiemangel lassen sich durch Licht aufbauen. Dieser Mechanismus ist bei bestimmter pathologischer Entartung hoch effizient. Zwei Beispiele dazu: Schmerzreduzierung (Parameter: Ionen-Pumpen-Funktion) und Wundheilung. Bekannt ist, dass zwischen 40 und 60 Prozent der in der Zelle gebildeten ATP-Energie in die Enzymaktivität ATPase der Membranen, gemeinhin als Pumpen bezeichnet, investiert wird, um das Membranpotenzial aufrechtzuerhalten. Verminderte ATP-Synthese in den Mitochondrien ist kausal verbunden mit Erniedrigung der Pumpenaktivität. Folge davon ist eine Hypopolarisation der Membran einer Zelle. Die Neuronzelle wird leicht depolarisiert, wobei der Abstand zum Schwellenpotenzial zur Auslösung des Aktionspotenzials verringert wird. Die Folge davon ist, dass Reize relativ geringer Amplitude bereits zur Wirksamkeit durchgesteuert werden. Umgekehrt bedeutet eine erhöhte ATP-Synthese, eben auch durch Licht, Hyperpolarisation und Abblocken von Reizen. Der zweite Faktor bei Schmerz ist die erhöhte Übersäuerung des Gewebebereichs, wobei ebenfalls Schwellwerte erniedrigt werden. Durch erhöhten ATP-Gehalt wird ein pathologisch hoher Protonenlevel durch erhöhte ATPasen- $H^+$ -Pumpenaktivität schneller reduziert.

Mit beiden Mechanismen ist zum einen die Sensibilität und zum anderen die Erregungsweiterleitung von Schmerzreizen reduziert. Wundheilung selbst ist ein stark energieverbrauchender Prozess mit entsprechend



Arterie, Vene und Lymphgefäß der Abdomenhaut der Maus vor der Bestrahlung.



Vergrößerung der Lumina nach Bestrahlung.

hohem Sauerstoffkonsum. Ursache dafür ist eine hohe Phagozytoseaktivierung mit Bakterien und Zelltrümmernaufklärung nach der Verletzung. Nach etwa fünf Tagen wird eine hohe Glykoproteinausschüttung gefordert (exsudative Phase) und nach zehn Tagen eine hohe Syntheserate der Kollagene (proliferative Phase). Schließlich muss das neugebildete Gewebe umgelagert und verfestigt werden (reparative Phase). Die lichtinduzierte ATP-Synthese wird zweifellos die notwendigen Energien bereitstellen, zumal die natürliche ATP-Bildung aufgrund der anfangs zerstörten Kapillarperfusion nur schleppend anlaufen kann. Derartige Erwägungen, die aus unserem Wirkungsmechanismus der Mitochondrienstimulierung geschlossen werden können, finden ihre Spiegelung in den Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen zur Schmerzreduzierung und Wundheilung.

### Lichtvektoren beeinflussen Elektronenanordnungen

Was passiert nun also, wenn Licht auf einen Körper, auch unseren Körper, strahlt? Wir sagen im allgemeinen Sprachgebrauch, es wird dann teilweise absorbiert und zurückgeworfen. Das stimmt so nicht – der Lichtstrahl wird nicht reflektiert. Vielmehr regt der elektrische Lichtkraftvektor die freien Elektronen unseres Körpers an, die in der gleichen Ebene schwingen können wie das Licht. Wird das Elektron auf diese Weise beschleunigt und abgebremst, dann sendet es seinerseits Photonen aus, wobei eine neue Lichtwelle entsteht. Diese neue Lichtwelle, ausgesendet von der Körpersubstanz, nennen wir Reflexion. Aber dieses neu gebildete emittierte Licht schwingt nun zum großen Teil senkrecht zur Richtung der Anregung des Elektrons. Wenn man die Schwingung des Elektrons mit einer Stabantenne vergleicht, in der Elektronen ebenfalls bevorzugt in einer Richtung durch eine Welle zur Schwingung angeregt werden, so ist die Aussendung der neuen elektromagnetischen Schwingung auch hier senkrecht zur Elektronenbewegung polarisiert.

Elektronen bilden stehende elektromagnetische Wellen um den Atomkern herum. Diese Wellen laufen aller-

dings nicht – wie bisher geglaubt – in Form eines Kreises bzw. einer Balloberfläche um den Kern, sondern aufgrund der Wirkung der unsymmetrischen elektroschwachen Kraft eher in Form eines aufgeblasenen Kegels. Wird nun eine elektromagnetische Welle von außen eingestrahlt, so interferiert, also überlagert sich diese der ursprünglichen Elektronenwelle. Passt die Frequenz der nun sich bildenden neuen Welle in das Schema der stehenden Wellen um den Kern, dann wird die Außenschwingung assimiliert. Vom Gebirge dieser Wellen, d.h. von der Größe der Berge und der Tiefe der Täler ist abhängig, wie viel Photonen die Außenwelle mitgebracht hat.

Je mehr Photonen – wir sagen – je mehr Leistung das Licht abgibt, desto größer ist die Amplitude des Kraftfeldes und desto wahrscheinlicher und enger werden die Überlagerungsmöglichkeiten, d.h. chemischen Bindungen mit benachbarten Atomen. Haben sich auf diese Weise viele Atome zu einem Molekül zusammengelegt, so werden die überschüssigen Elektronen des Atomtorso an den Rand der Moleküle abgelegt. Dort schwingen diese Elektronen kollektiv – wie im Atom – in Form einer stehenden Welle. Auch hier wieder ist die Amplitude der Welle abhängig davon, wie viel Photonen untergebracht wurden. Strahlt ein Licht oder eine andere elektromagnetische Schwingung auf solch ein Molekül, dann bringt es zusätzlich Photonen mit, und wenn die Frequenz der eingestrahelten Welle in den Frequenzbereich der stehenden Elektronenwelle des Moleküls passt, dann wird die Außenwelle auch hier assimiliert, wodurch eine massive Photonenvermehrung stattfindet. Mehr Photonen heißt größere Reaktionsmöglichkeit. Ist unser Molekül z.B. ein Enzym, dann wird dieses Enzym durch die Lichteinstrahlung nun mehr Umsatz mit seinem Partner anstreben. An zwei Beispielen werden wir diesen Effekt näher beschreiben.

### Anregung freier Elektronen

Im sichtbaren Frequenzbereich sind nur noch die Elektronen „leicht“ genug, um den elektromagnetischen Feldkräften zu folgen. Werden Elektronen vom Lichtstrahl getroffen, schwingen sie verstärkt in der

Krafrichtung des Lichtes. Dadurch strahlen sie selbst Licht aus. Man sagt dazu, das Licht wird zurückgestrahlt. An freien Elektronen gestreutes Licht ist immer polarisiert, da nur der Vektor absorbiert wird, der in der Richtung der Elektronenschwingung verläuft. Sind die Achsen möglichst vieler Elektronen gleichartig ausgerichtet, z.B. durch die Einwirkung eines Magnetfeldes, dann ergibt sich im betroffenen Volumen eine kohärente Lichtwirkung, die weit effektiver arbeiten kann. Aus diesem Grund bieten wir der Medizin integrierte 4-Komponenten-Stäbe an (Patent eingereicht), die alles enthalten, um optimale Ergebnisse zu erzielen: Licht, Magnetfeld, elektrischer Strom und Schall – alles in Phase. Werden freie Elektronen durch Licht angeregt, indem sie einen Impuls erhalten, dann können sie oftmals von Molekülen eingefangen werden. Dadurch werden die Moleküle vorübergehend negativ geladen, was wiederum Konsequenzen für das Redoxsystem hat. Meistens lebt die Anregung nur Bruchteile von Sekunden und wird dann wieder gelöscht, wobei die Energie weiterwandert.

### Anregung gebundener Elektronen

Sind die Elektronen nicht frei, sondern an ein Molekül gebunden, dann wird das Molekül durch die Lichtkräfte polarisiert. In Moleküle eingestrahktes Licht erzeugt ein oszillierendes Dipolmoment, das wiederum oftmals mit der gleichen Lichtfarbe strahlt wie das anregende Licht. Allerdings verschiebt sich die Phase; womit gemeint ist, dass Wellental und Wellenberg zeitlich und räumlich nicht mehr identisch zum einfallenden Licht sind. Dies gilt, solange die Frequenz nicht in der Nähe einer Absorptionsbande liegt. Die Phasenverschiebung ist umso stärker, je mehr Elektronen des Moleküls sich beeinflussen lassen, je mehr also das Molekül auf das Licht reagiert. Dabei nimmt die Polarisierung zu. Die Folge davon ist eine langsamere Fortpflanzung des Lichtes im betroffenen Medium. Die atomaren und molekularen Oszillatoren im Gewebe wirken also wie kleine Stabantennen. Das Licht, das sie absenden, schwingt senkrecht zur Länge der Stabantenne. Sonderfälle sind Moleküle mit schraubenförmiger Struktur. Proteine sind chirale rechtsgedrehte Moleküle (rechtsdrehende Helix), weil die Bausteine, also die Aminosäuren, linkshändig sind. L-Aminosäuren drehen die Polarisation, also die Lichtkräfte, nach rechts. In chiralen Molekülen zieht die Kraft der Lichtwelle die Elektronen nicht nur ein Stück auseinander, wie bei der Stabantenne, sondern hier wandern sie in Helixbahnen. Das ergibt neben dem elektrischen Dipol einen Bahndrehimpuls und damit ein magnetisches Moment. Ist der Drehsinn des einfallenden Lichtes entgegengerichtet zu der Helixwindung, findet keine Polarisation im Molekül statt. Das Licht, das Helixstrukturen anregt, bewirkt bei den Elektronen eine Zirkularpolarisation. Zirkular polarisierte Licht-Resonanzstrahlung orientiert also Drehimpulse von Teilchen durch Absorption. Daraus ergibt sich eine makroskopische Magnetisierung in Richtung des eingestreuerten Lichtes. Die

Gegenkräfte sind desorientierende Stoßkräfte. Legt man zusätzlich zu den Lichtstrahlen ein Magnetfeld mit kleinster Amplitude senkrecht zu der induzierten Magnetisierung an, so erfahren die betroffenen Teilchen eine Präzessionsbewegung und damit eine Änderung der Absorptionscharakteristik für Resonanzstrahlung. Auf diese Weise kann man Redoxsysteme steuern. Wie kann das über seine Elektronen, also elektronisch angeregte Molekül seine Energie abgeben, wenn es nicht selbst als Lichtquelle fungiert? Es gibt mehrere Möglichkeiten: die Energie wird portionsweise in die Freiheitsgrade der Schwingung, Rotation, Translation der Moleküle in der Umgebung investiert. Da die Freiheitsgrade der meisten Moleküle bevorzugt im thermischen Bereich des elektromagnetischen Schwingungsspektrums liegen (Infrarot, Mikrowelle), wird die Anregungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt. Eine weitere Möglichkeit ist die Investition der Energie in eine Molekülbindung, also in eine chemische Reaktion. Dabei ist sowohl eine Verfestigung einer bestehenden Bindung als auch eine Neuknüpfung möglich; aber auch eine Sprengung einer bestehenden Bindung durch „energetisches Pumpen“. Ein Molekül kann die Energie auch speichern und innerhalb Sekunden oder Stunden langsam wieder abgeben. Schließlich kann sich die Energie des eingestrahkten Lichtes auch in die Fortbewegung eines Moleküls manifestieren (Schwerpunktsbewegung), wodurch Adhäsions- oder desorbierende Prozesse provoziert werden. Im Fall der kristallinähnlichen Membranen verändert sich nach Ausrichtung der Bauelemente die Ladung und das elektrische Feld der Oberfläche.

Zu jeder Absorptions- und Emissionsfrequenz gehört ein eigener Oszillator mit einer eigenen Lage im Molekülgerüst. Sind die Oszillatoren der Moleküle über größere Volumen räumlich gleich orientiert, wie bei den Muskelfasern, so ist für den therapeutischen Effekt wichtig, dass polarisiertes Licht in der richtigen Richtung eingestrahlt wird. Ansonsten „sieht“ die Muskelfaser das Licht nicht und ist ineffektiv. Das Licht, dessen elektrisches Feld senkrecht zu lang gestreckt ausgerichteten Molekülen schwingt, dringt leicht gestreut hindurch, wird also nicht absorbiert. Umgekehrt wird Licht, dessen elektrisches Feld parallel zu den Molekülen schwingt, das Gewebe kaum durchdringen, es regt die Moleküle aber zur eigenen Lichtemission an. Dieses emittierte Sekundärlicht der Muskelfaser ist dann über größere Flächen wieder polarisiert. Stellen wir uns zwei benachbarte Moleküle vor, die enger zusammenliegen als die Wellenlänge des eingestrahkten Lichtes (etwa 800 nm). Das Licht bringt dann die Elektronen beider Moleküle zum Schwingen. Diese Schwingungen sind dann in Phase, denn die Elektronen werden vom gleichen Lichtvektor der einfallenden Welle angeregt. Eine Besonderheit sind nun die elektrischen Felder, die von den betroffenen Elektronen abgestrahlt werden. Sie liegen auch in Phase und überlagern sich positiv, sodass ein mehrfach stärkeres Feld für nachfolgende Wirkeffekte in der Umgebung zur Verfügung steht. Für den Mechanismus, d.h. wie Enzyme durch Licht angeregt werden, gibt es experimentelle Hinweise: Lange Polypeptidket-

ten haben gebundene Elektronen, die bei weitgehend phasengleicher Photon-Energieeinschleusung im Kollektiv reagieren können. Das Phänomen ist bekannt als „electromagnetic molecular resonance“ (EMER). Dabei werden die Elektronenorbitale zu einer einheitlichen stehenden Welle gegenüber dem Kern angeregt. Das Gegenteil dazu finden wir bei der Molekülvibration, bei der der Kern gegenüber den gebundenen Elektronen oszilliert. Für das Enzym Chymotrypsin ist eine verstärkte Substrataktivität durch kohärentes Licht (457,9 nm und 855 nm) bereits beschrieben worden, wobei die Ursache der Aktivierung in EMER gefunden wurde. Die Resonanzbreite dafür ist sehr schmal und verändert sich mit dem pH-Wert des Umgebungsmilieus um einige Nanometer. Dieser Mechanismus ist ohne Zweifel auf andere Enzyme übertragbar. Neben elektronischer Anregung gibt es im diskutierten Energiebereich auch die nicht-elektronische Anregung, die in verschiedenen Rotationsstadien mündet. Die Helixform der Proteine verwendet die eingestrahlte Energie zu erhöhten Vibrationszuständen.

### Eindringtiefen der Strahlung

Die Strahlung der Sonne transmittiert auch die Körperoberfläche des Menschen. Die höchste Photonendichte in der Hauttiefe ist allerdings nicht im sichtbaren Wellenbereich, sondern verschiebt sich in Richtung roter und infraroter Photonen, also gerade dort, wo die Sonne auf der Erdoberfläche die höchste Energiestromdichte pro Photonenenergieintervall hat. Kürzere Wellenlängen werden in den Hautschichten durch verschiedene Proteine, insbesondere durch die Pigmente Hämoglobin und Melanin absorbiert und beschatten die darunterliegenden Gewebeschichten. Längere Wellenlängen werden bevorzugt von Wasser absorbiert. Im therapeutisch verwendeten längerwelligen Rot-Infrarot-Lichtbereich von 600–1.000 nm ist also quasi ein Absorptionsloch, weil es neben dem Hämoglobin und dem Melanin kaum andere Mengen von Chromophoren gibt, die dieses Licht absorbieren können. Deshalb ist die Streuung des Lichtes vorrangig. Die höchste Streurate verläuft in Richtung des einfallenden Strahls. Das aber bedeutet, dass diese spektrale Lichtkeule verhältnismäßig tief in das Gewebe eindringen kann.

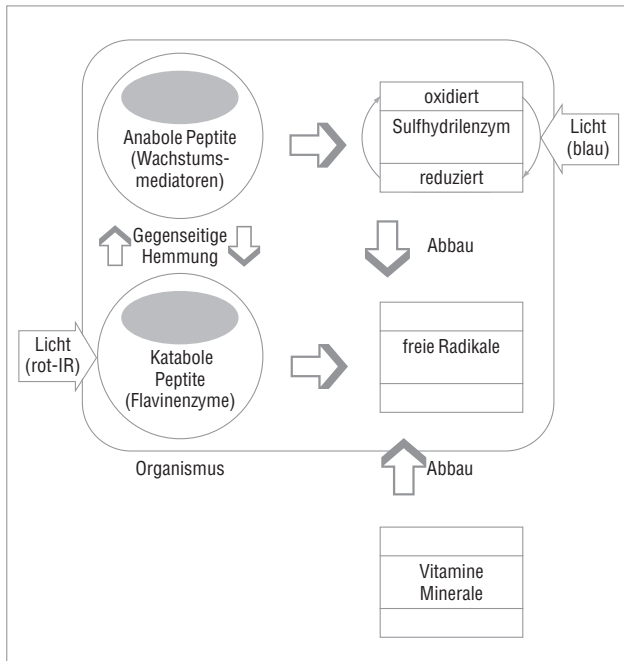
Fragt man nach der absoluten Eindringtiefe im nahen Infrarot, so zeigen unsere Messungen, dass bei blasser Haut und wenig durchblutetem Gewebe mit machbaren Leistungsdichten noch unterhalb 5 cm dicker Gewebeschicht messbare Photonenmengen auftreten. Aus Messungen zur Transmission kann man kalkulieren, dass bei einer Laserlichtquelle von 904 nm Wellenlänge und  $10 \text{ W/cm}^2$  Impulsleistung ( $= 1 \times 10^{12}$  Photonen/cm<sup>2</sup>) in 1 cm Gewebetiefe noch nahezu  $10^{10}$  Photonen/cm<sup>2</sup> und in 4 cm Tiefe noch  $3,4 \times 10^3$  Photonen/cm<sup>2</sup> ankommen.

Da die Menge der Photonen am Ort ein Maß für die Wahrscheinlichkeit von Treffern darstellt (wie bei einem Schrotgewehr), deshalb ist – bezogen auf das kalkulierte Beispiel – in größerer Tiefe die Grenze der direkten Wirk-

samkeit erreicht. Das schließt aber nicht aus, dass die Energie dissipativ weitergeleitet wird und einzelne Anregungsstufen über gepumpte, d.h. energetisch aufgepfropfte Momente innerhalb des Körpers verteilt werden. Wege dieser Form der Energieverteilung sind bevorzugt die Blut- und die Lymphbahnen. Russische Arbeiten legen nahe, dass es auch für den sichtbaren Lichtbereich Wellenleiter im Gewebe gibt, die das Licht über erstaunlich große Entfernungen transportieren können. Derartige Lichtleiter, allerdings nur über kurze Strecken, sind auch im Ohr gefunden worden. Die universellen Mikrotubuli bieten sich als Lichtleiter geradezu an. Weitere Forschung muss hier Klarheit bringen.

### Effekte von Mikrowellen als Schwebung von Lichtwellen

Enzyme sind das Wichtigste für die Lebensfunktion. Sie erfüllen ihre Aufgaben mithilfe von physikalischen Moleküleigenschaften. Das bedeutendste Merkmal ist wohl, dass Enzyme mithilfe von Mikrowellen resonant in Kooperation mit ihrem Substrat arbeiten. Z.B. hat Lysozym die Eigenschwingung von  $6,25 \times 10^{12}$  Hz. Diese typischen Schwingungen von Proteinen im THz-Bereich stehen auch in Wechselwirkungen mit elektromagnetischen Schwingungen der Umwelt. Enzyme im Organismus können dann aktiviert werden, wenn eine ausreichende Eindringtiefe der Schwingung in den Organismus erreicht wird. Auch die Sonne sendet in diesem Mikrowellen-Spektralbereich. Dies allerdings vor allem dadurch, weil bestimmte Spektralbereiche im sichtbaren und im nahen Infrarotbereich durch Wasserabsorption (Atmosphäre und Hautgewebe) getrennt werden und die verbleibenden Spektren dann miteinander zu Schwebungen interferieren. Die so entstehenden Schwebungsfrequenzen liegen bei sehr nahe liegenden Wellenlängen im entsprechenden Mikrowellenbereich. Wenn dieser Effekt nutzbar ist, wie kann dieser Effekt technisch nachgebaut werden? Liegen andere Verhältnisse vor, so hat man es mit der nichtlinearen Optik zu tun. Bestrahlt man ein organisches Gewebe, das oben beschriebene Voraussetzungen erfüllt, gleichzeitig mit zwei intensiven Laserstrahlen verschiedener Frequenz, dann treten auch Wellen mit der Summen- und Differenzfrequenz auf. Man kann somit auch therapeutisch wichtige Mikrowellen erzeugen. Im Prinzip passiert dieser Effekt auch bereits durch die Modi eines Lasers, also durch die Seitenfrequenzen neben der monochromatischen Hauptfrequenz. Was ist der entscheidende Vorteil dieses Verfahrens? Erinnern wir uns: Mikrowellen haben keine größere Eindringtiefe, da sie von den wasserhaltigen Geweben stark absorbiert werden. Anders sind die Verhältnisse im roten und nahen infraroten Lichtbereich. Diese Wellen können bis mehr als 5 cm tiefeindringen. Zwei Lichtquellen in diesem Bereich mit benachbarter Frequenz haben wir mit der beschriebenen Methode innerhalb des Gewebes zu Schwebungen im Mikrowellenbereich überlagert und infolge der Unlinearität des organischen Gewebes eine wirksame



Sekundärstrahlung aufgebaut. Diese Strahlung liegt bei richtiger Berechnung in Resonanz mit bestimmten Enzymen, auch mit der ATP-Synthetase. Das System ist von uns zum Patent angemeldet (Nr. 19653338.4).

### Licht kombiniert mit magnetischen Feldern

An unserem Aufenthaltsort auf der Erdoberfläche gibt es Licht nicht ohne ein Magnetfeld. Was passiert hier? Das Magnetfeld spaltet die durch Licht angeregten Energieniveaus bestrahlter Moleküle auf. Die Energie der parallel zum Magnetfeld ausgerichteten Elektronen wird abgesenkt und die der antiparallel ausgerichteten Elektronen angehoben. Das heißt, alle derartigen Energiebänder spalten sich in zwei Teilbänder mit positiver und negativer Spinrichtung. Da sowohl die elektrostatische Wechselwirkungsenergie (Coulomb-Energie) als auch die kinetische Energie der Elektronen abhängig von der Spinrichtung ist, werden über die magnetisch bedingte Aufspaltung die Austauschvorgänge zwischen den Elektronen benachbarter Atome mit neuen Resonanzmöglichkeiten aktiviert. Je stärker das Magnetfeld, desto unterschiedlicher werden die aufgespaltenen Energieniveaus. Genau dieses Prinzip haben wir technisch optimiert, indem wir an- und absteigende Magnetfeld- und Lichtimpulse exakt in Phase auf den Organismus einwirken lassen.

### Wirkung der Photonenabsorption durch FMN

Die Strahlung des Lichtes im roten Bereich spielt über die Elektronenbeeinflussung zweifellos eine Rolle in der Bildung freier Radikale. Eine häufige Behandlung benötigt ausreichend Antioxidantien bzw. Unterstützung der gegenarbeitenden Enzyme (Vitamine, Minerale, Flavonoide). Werden organische Moleküle in ihren Elektronen-

bindungen von der Lichtenergie getroffen, so sind Bindungsbrüche möglich. Man fand im Rotlichtbereich unerwartet sogar Brüche innerhalb der DNA und RNA. Alle Zerstörungen von Funktionssubstanzen, insbesondere von Vitaminen, sind auf Angriffe von lichtinduzierten freien Radikalen zurückzuführen. Es ist eine Frage der Truppenstärken, einerseits von freien Radikalen und andererseits von Antioxidantien. Unterliegen die Antioxidantien, so breiten sich freie Radikale zerstörerisch aus. Um die Zerstörungen zu verhindern, müssen Zellen laufend mit Antioxidantien aufgefüllt werden. Diese notwendige Quantität aber fehlt immer häufiger in unserer Nahrung. Die Natur selber hat eine elegante Lösung für eine effektive Gegenregulation zu freien Radikalen gefunden, paradoxerweise funktioniert sie ebenfalls mit Licht. Der blaue Bereich des Sonnenlichtes forciert in starkem Maße eine Vernichtung der freien Radikale durch aktivierte Reduktion der Sulfhydril-(SH-)Körper.

Innerhalb der Redox-Kaskade haben SH-Enzyme die Aufgabe, durch Radikale oxidierte Substanzen schnellstens wieder zu reduzieren, um anabole Funktionen aufrechtzuerhalten. Dabei werden SH-Enzyme ihrerseits oxidiert. Energiereiches Licht, wie Blaulicht, besitzt die Möglichkeit, die oxidierten SH-Enzyme erneut zu reduzieren und so die Turn-over-Rate der Radikalneutralisation deutlich anzuheben. Der Synthesestoffwechsel bekommt dadurch sein notwendiges reduziertes Milieu. Dieser Vorgang ermöglicht, dass die durch freie Radikale gehemmte Bildung von Wachstumsfaktoren erneut ansteigt und Defekte regeneriert werden können (siehe Grafik).

Dieser Effekt wirkt im ganzen Körper, obwohl nur die Haut Licht bekommt. Wie ist das erklärbar? Es hängt mit der Keimschicht der Haut zusammen. Die Keimschicht der Haut ist durch von unten hineinragende Papillen der Lederhaut vielfach gebuchtet und bietet so dem Licht eine stark vergrößerte Oberfläche. Die Keimschicht ist zwar gefäßlos, doch das Zellgefüge ist locker und mit ausgedehnten Lymphräumen durchsetzt. Diese Keimschichtlymphe befindet sich in einem lebhaften Stoffaustausch mit dem Blut der unmittelbar darunterliegenden Lederhaut.

Das Besondere der Keimschicht ist, dass sie bis in die Basalzellenlage von allen Wellenlängen des UV-Bereichs, des sichtbaren Bereichs und Infrarot-Bereichs durchsetzt wird. Auf der anderen Seite können alle Blutstoffe ständig der Keimschicht zugeführt werden, dort mithilfe des Lichtes und lokalen Sulfhydrilkörpern reduziert bzw. oxidiert werden und dann wieder ins Blut abgeführt werden. **n**

### KONTAKT

**Dr. rer. nat. Ulrich Warnke**

Universität des Saarlandes

Fakultät 8.4

66041 Saarbrücken

Tel.: 0681 3023261

Fax: 0681 3022461

E-Mail: warnke@mx.uni-saarland.de

