

Kurz und bündig: Die Wechselwirkung von Laserlicht mit biologischem Gewebe

Trifft Licht auf biologisches Gewebe, so kann die Wechselwirkung durch drei unterschiedliche Wechselwirkungsmechanismen beschrieben werden: photochemische Wechselwirkungen, thermische Wechselwirkungen und nichtlineare Wechselwirkungen. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick gegeben.

DR. GEORG BACH/FREIBURG IM BREISGAU,
PROF. DR. AXEL DONGES/ISNY IM ALLGÄU

Photochemische Effekte

Die photochemischen Effekte basieren auf der Tatsache, dass Moleküle durch Licht geeigneter Frequenz (bzw. Wellenlänge) chemisch verändert werden können. Es werden folgende Wechselwirkungen unterschieden:

Biostimulation

Die Biostimulation von biologischem Gewebe (z.B. Förderung der Wundheilung) ist sehr umstritten. Es wurde eine Reihe, z.T. sich widersprechende, Arbeiten publiziert. Therapeutische Effekte scheinen auf Placebo-Effekten zu beruhen.

Photoinduzierte Synthesen

Das prominenteste Beispiel ist die Photosynthese, bei der mithilfe von Licht Kohlendioxid und Wasser zu Glukose und Sauerstoff synthetisiert werden.



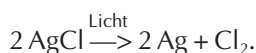
Weitere Beispiele sind der Bräunungseffekt (Melaninbildung in der Haut durch UV-Strahlung) oder die UV-induzierte Polymerisation von Kunststoffzahnfüllungen.

Photoinduzierte Isomerisierung

Ein wichtiges Beispiel aus der Medizin ist die Behandlung des Neugeborenenikterus mit UV-Licht. Das UV-Licht führt zu einer Konformationsänderung des Bilirubins, das so harngängig gemacht wird und ausgeschieden werden kann.

Photoinduzierte Dissoziation

Ein bekanntes Beispiel aus dem Alltag ist der fotografische Film. Die lichtempfindliche Schicht des Films enthält fein verteilte Silberhalogenidkörnchen. Silberhalogenide (AgCl, AgBr und AgI) sind farblose Salze, die unter Lichteinfluss langsam in metallisches Silber und freies Halogen gespalten werden, z. B.



Das dabei entstehende metallische Silber ist fein verteilt

und erscheint daher schwarz. Durch eine lange Belichtung (etwa ein Tag) eines Films erhält man auf diese Weise, auch ohne die sonst übliche Entwicklung des Films, ein sichtbares „Silberbild“.

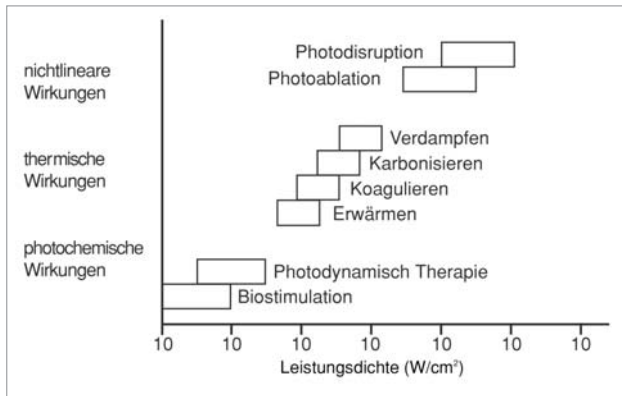
Das Paradebeispiel zur photoinduzierten Dissoziation ist in der Medizin die photodynamische Therapie. Bei der photodynamischen Therapie wird einem Krebspatienten ein Farbstoff (z.B. Tetraphenylporphyrine) injiziert, der sich im Tumorgewebe anreichert. Wird das kanzerogene Gewebe anschließend mit Licht geeigneter Wellenlänge bestrahlt, so nimmt der im Gewebe angereicherte Farbstoff das Licht auf. Dabei entsteht so genannter Singulett-Sauerstoff ($^1\text{O}_2$). Diese Form von molekularem Sauerstoff ist sehr reaktionsfreudig und kann Tumorzellen zerstören. Damit das gesunde Gewebe nicht zerstört wird, darf der Farbstoff nur selektiv im Tumorgewebe angereichert sein.

Thermische Effekte

Trifft Laserlicht auf biologisches Gewebe, so wird ein Teil des Lichts in das Gewebe eindringen, z. T. gestreut und letztendlich absorbiert werden. Die absorbierte Lichtenergie heizt das Gewebe auf. Die erzielte Temperaturerhöhung hängt von einer Vielzahl von Parametern ab (z. B. eingebrachte Energie und zeitlicher Verlauf der Laserleistung, Laserstrahlquerschnitt, spezifische Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Gewebes). Die wesentlichen Folgen dieser Erwärmung hängen von der erreichten Gewebetemperatur ab:

- 37–50 °C: Erwärmung, meist ohne irreversible Gewebeschädigung.
- 50–70 °C: Eiweiß denaturiert.
- 70–100 °C: Zellwasser wird ausgetrieben. Das Gewebe schrumpft und trocknet aus.
- 100–300 °C: Das Gewebe verkohlt (Karbonisation).
- über 300 °C: Das Gewebe wird verdampft, verbrannt und damit abgetragen.

Es ist zu beachten, dass sich durch die thermische Schädigung die optischen Parameter des Gewebes verändern: Koaguliertes Gewebe streut mehr und karbonisiertes Gewebe zeigt eine erhöhte Absorption.



Wechselwirkungen von Laserlicht mit biologischem Gewebe.

Nichtlineare Effekte

Bei hohen Lichtintensitäten, wie sie nur mit gepulsten Lasern erzeugt werden können, werden viele optische Größen (wie Brechzahl, Absorptionskoeffizient, Ausbreitungsgeschwindigkeit) intensitätsabhängig. Daraus resultieren verschiedene Phänomene, wie beispielsweise – die sättigbare Absorption (absorbierende Stoffe werden transparent), – die Selbstfokussierung (Laserstrahl schnürt sich ein), – die Multiphotonenabsorption (Atom/Molekül absorbiert mehrere Photonen gleichzeitig) oder – die Frequenzverdopplung (ein Laserstrahl verdoppelt seine Frequenz beim Durchgang durch Materie).

Laserablation

Multiphotonenabsorption spielt eine große Rolle bei der Laserablation, einem Verfahren zur Abtragung oberflächlicher Gewebeschichten. Bei der Laserablation absorbieren die Moleküle des Gewebes, sofern eine kritische Intensitätsschwelle überschritten wird, gleichzeitig mehrere Photonen (Multiphotonenabsorption), wodurch die chemischen Bindungen der Moleküle aufgebrochen wer-

den. Auf diese Weise lassen sich dünne Gewebeschichten abtragen. Da ein großer Teil der Laserenergie zum Aufbrechen der chemischen Bindungen verbraucht wird, ist die thermische Beeinflussung des Gewebes i.d.R. gering.

Laserdisruption

Bei noch höheren Intensitäten finden statt Multiphotonenabsorption Multiphotonenionisation statt. Die Moleküle werden durch den Laserstrahl ionisiert, obwohl die Energie eines einzelnen Photons für einen Ionisationsprozess nicht ausreicht. Parallel dazu kann das elektrische Feld des Laserstrahls Elektronen durch Feldemission freisetzen. Die freigesetzten Elektronen werden im Lichtfeld des Laserstrahls durch so genannte inverse Bremsstrahlung beschleunigt. Diese beschleunigten Elektronen stoßen auf weitere Moleküle und ionisieren diese (Stoßionisation). So findet eine lawinenartige Vermehrung der freien Ladungsträger statt. Es entsteht ein Plasma (laserinduzierter Gasdurchbruch). Dieses Plasma wird nun durch den Laserstrahl sehr schnell auf einige 10^4 K aufgeheizt. Dabei expandiert das Plasma explosionsartig und es entstehen akustische Schockwellen, die sich mit Überschallgeschwindigkeit ausbreiten und ebenfalls Energie in das Gewebe eintragen und es zerstören (Photodisruption).

Zusammenfassung

In der Abbildung sind die Wechselwirkungsprozesse zusammengefasst. Zusätzlich ergibt sich ein Überblick, bei welchen Leistungsdichten welche Prozesse stattfinden.

Korrespondenzadresse:
 Prof. Dr. Axel Donges
 Fachhochschule u. Berufskollegs NTA
 Seidenstr. 12-35, 88316 Isny im Allgäu

ANZEIGE

Bezahlung nur per Banküberweisung oder Verrechnungsscheck möglich!

Bitte senden Sie mir folgende Exemplare des „my“ Magazins zu:

- „cosmetic dentistry“
- „Zähne 50+“
- „Zahnpflege + gesundes Zahnfleisch“
- „Zahnimplantate“

10 Stück k30,00 €*
 20 Stück k50,00 €*
 40 Stück k85,00 €*

*Preis zzgl. Versandkosten (zurücklage der Versandgebühr) L41/06

Hiermit ermächtige ich die Oemus Media AG, den Rechnungsbetrag für die bestellten „my“ Magazine innerhalb 14 Tagen nach Bestellung zu Lasten meines Kontos

Kont.-Nr. _____ BLZ: _____

Kreditinstitut _____
 durch Lastschrift einzuziehen. Wenn mein Konto die erforderliche Deckung nicht aufweist, besteht seitens des kreditführenden Kreditinstitutes keine Verpflichtung zur Einlösung.

Datum, Unterschrift _____

Adresse bitte in Druckbuchstaben ausfüllen:

Praxis: _____ Straße, Nr.: _____

PLZ, Ort: _____ E-Mail: _____

OEMUS MEDIA AG
 Holbeinstraße 29 | 10439 Leipzig
 Tel.: 03 41/434 74-2 00
 Fax: 03 41/4 34 74-2 90