Das Skalpell aus Licht und seine dunkle Seite

Warum der medizinische Laser ohne Absaugung zur Gefahr werden kann

Seit der Einführung der ersten Lasersysteme in den 1960er Jahren hat die Technologie fast jeden Bereich der modernen Medizin transformiert. Die Fähigkeit, Lichtenergie mit extremer Präzision auf winzige Gewebeareale zu fokussieren, ermöglicht Eingriffe, die mit mechanischen Skalpellen undenkbar wären. Das zugrundeliegende Prinzip der selektiven Photothermolyse erlaubt es, spezifische Zielstrukturen (Chromophore wie Wasser, Hämoglobin oder Melanin) zu behandeln, während das umliegende gesunde Gewebe geschont wird.

Bild 1: Lasertechnologien finden zunehmend Einsatz bei medizinischen Therapien

Multidisziplinäres Anwendungsspektrum
Die Transformation des Lasers vom experimentellen Werkzeug zum klinischen Standard basiert auf der technologischen Fähigkeit, Wellenlänge, Pulsdauer und Energiedichte präzise auf die spezifischen Absorptionsspektren unterschiedlicher Gewebetypen abzustimmen.

Diese Variabilität ermöglicht eine hochselektive Interaktion mit biologischen Strukturen, wodurch thermische Kollateralschäden minimiert und die Heilungsprozesse beschleunigt

werden. In der Folge haben sich spezialisierte Lasersysteme in vielen medizinischen Disziplinen als unverzichtbare Instrumente für komplexe Eingriffe etabliert, u.a.:

- Ophthalmologie (Augenheilkunde): Korrektur von Fehlsichtigkeiten mittels Excimer-Lasern (LASIK) sowie die Behandlung von Netzhauterkrankungen und dem Grauen Star (Katarakt).
- Dermatologie: Entfernung von Gefäßveränderungen (Feuermale), Pigmentstörungen und Tattoos sowie ablatives „Resurfacing“ zur Narben- und Faltenbehandlung.
- Zahnmedizin: Schmerzarme Kariesentfernung, Keimreduktion in Wurzelkanälen und minimalinvasive Chirurgie am Zahnfleisch.
- HF-Chirurgie & Viszeralchirurgie: Einsatz als „Licht-Skalpell“ zur blutungsarmen Resektion von Tumoren in stark durchbluteten Organen durch simultane Gefäßversiegelung.

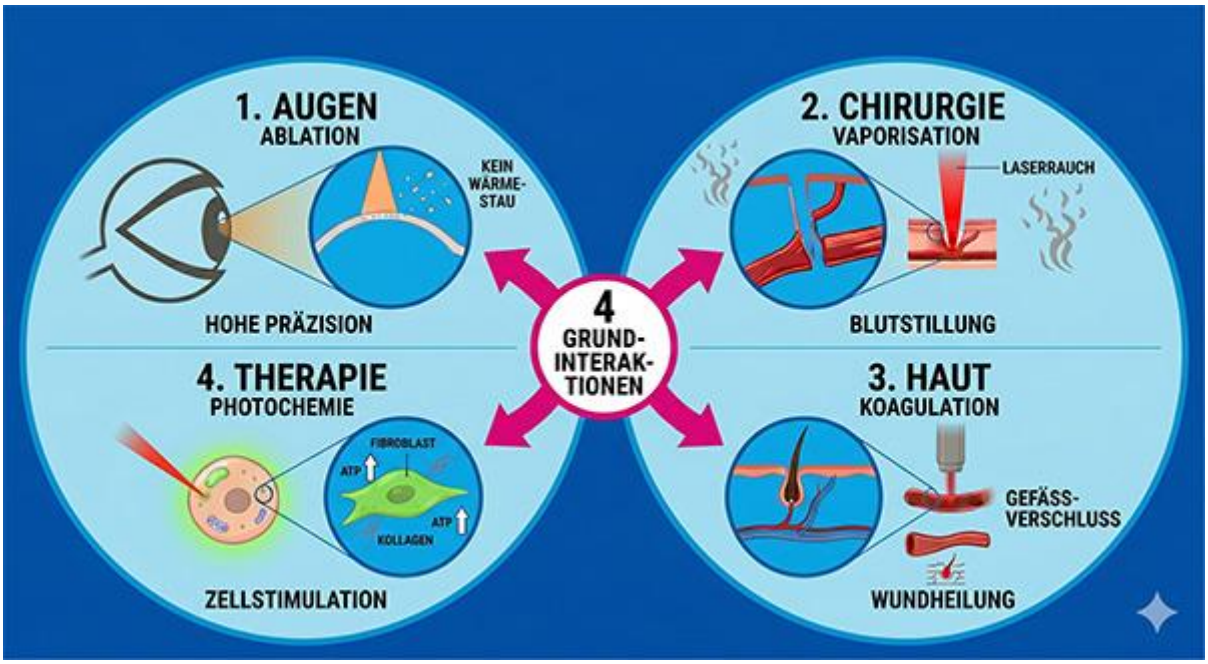

Bild 2: Multidisziplinäre Wirkmechanismen der Lasermedizin

Die Schattenseite: Die Entstehung und Gefahr durch „Surgical Plume“

Trotz ihrer klinischen Vorteile birgt die thermische Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und biologischem Gewebe ein erhebliches, oft unterschätztes Gesundheitsrisiko: die Entstehung von Laserrauch (Surgical Plume). Sobald die Energiedichte des Lasers den Siedepunkt der intrazellulären Flüssigkeit überschreitet, kommt es zur explosionsartigen Verdampfung des Gewebes. Dabei wird nicht nur Wasserdampf in die Umgebungsluft freigesetzt, sondern auch eine komplexe Mischung aus gasförmigen und partikulären Nebenprodukten.

Diese thermische Zersetzung (Pyrolyse) wandelt organische Strukturen in einen gefährlichen Aerosol-Cocktail um. Während der Operateur sich auf das mikroskopisch kleine Operationsfeld konzentriert, breitet sich der Rauch unkontrolliert im Raum aus.

Die Gefährdung ist dabei dreigeteilt:

1. Chemische Toxizität: Durch die Verbrennung von Proteinen und Lipiden entstehen über 150 flüchtige organische Verbindungen (VOCs). Analysen zeigen signifikante Konzentrationen von Benzol, Toluol und Ethylbenzol sowie hochreaktives Acrolein und gasförmigen Cyanwasserstoff (Blausäure).
2. Biologisches Infektionsrisiko: Der mechanische Druck der Verdampfung kann intakte Zellfragmente und Mikroorganismen aerosolisieren. Es ist wissenschaftlich belegt[1], dass virale DNA, beispielsweise von Papillomviren (HPV) oder Hepatitis, im Laserrauch überleben und beim Einatmen infektiös wirken kann.
3. Physikalische Belastung durch Ultrafeinstaub: Etwa 80 % der emittierten Partikel weisen eine Größe von < 0,5 µm auf. Diese Partikel sind lungengängig und dringen bis tief in die Alveolen vor, von wo aus sie die Blut-Luft-Schranke überwinden können.

Vergleich: Studien haben berechnet, dass das Einatmen des Rauchs beim Verdampfen von einem Gramm Gewebe in etwa der Schadstoffmenge von 27 bis 30 Zigaretten entspricht. [2]

Rechtliche Rahmenbedingungen und Betreiberpflichten

Der Einsatz von Absaugtechnik in der Lasermedizin ist keine freiwillige Leistung, sondern durch nationale und europäische Rechtsnormen verbindlich vorgeschrieben. Diese Gesetze dienen dem Schutz des Personals vor langfristigen Gesundheitsschäden und definieren den aktuellen Stand der Medizintechnik.

Die wichtigsten Normen im Überblick:

- Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG): Das Fundament des deutschen Arbeitsschutzes verpflichtet Arbeitgeber in § 4 ArbSchG, Gefahren unmittelbar an ihrer Quelle zu bekämpfen. Da der Laserrauch die primäre Gefahrenquelle darstellt, ist die Punktabsaugung die gesetzlich geforderte Konsequenz.
- OStrV (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung): Diese Verordnung schreibt eine detaillierte Gefährdungsbeurteilung vor, die explizit auch die indirekten Auswirkungen – also die Entstehung von toxischen Dämpfen und Schwebstoffen – berücksichtigen muss.
- TROS Laserstrahlung: Diese technischen Regeln konkretisieren die OStrV und legen fest, dass bei Laserprozessen entstehende Gase und Partikel durch geeignete technische Maßnahmen (Absauganlagen) entfernt werden müssen, um den „Stand der Technik“ zu erfüllen.

---

[1] Garden, J. M., et al. (1988): *"Papillomavirus in the vapor of carbon dioxide laser-treated verrucae."* Veröffentlicht in: *JAMA (Journal of the American Medical Association)*, Vol. 259, No. 8, S. 1199–1202.

[2] Hill, D. S., O'Neill, J. K., Powell, R. J., & Pantelides, N. M. (2012). Surgical smoke - a health hazard in the operating theatre: a study to quantify the particulate matter exposure of surgical personnel. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 65(7), 711–716.

- DGUV Regel 103-003: Die gesetzlichen Unfallversicherungen fordern, dass beim Betrieb von Lasern der Klassen 3B oder 4 wirksame Absaugeinrichtungen vorhanden sein müssen, sofern gefahrbringende Stoffe freigesetzt werden können.

Technische Schutzmaßnahmen: Einsatz von Absaug- und Filteranlagen
Angesichts der oben beschriebenen Risiken ist ein passiver Schutz durch herkömmliche OP-Masken absolut unzureichend. Diese Masken sind primär darauf ausgelegt, den Patienten vor der Ausatmungsluft des Personals zu schützen, bieten jedoch keinen nennenswerten Filterwiderstand gegen ultrafeine, toxische Laser-Aerosole.
Ein moderner Arbeits- und Patientenschutz basiert stattdessen auf einem aktiven, technischen Absaug- und Filtrationskonzept.

Bild 3: JUMBO Filtertrolley MED – mobile Filteranlage für medizinischen Laserrauch mit aufmontiertem Absaugarm

Der Prozess beginnt mit der Erfassung der Luftschadstoffe. Um die Verteilung der Partikel im Raum zu vermeiden und eine größtmögliche Filtration zu ermöglichen, ist eine Punktabsaugung die ideale Lösung. Anschließend werden die Partikel in einem Filtersystem abgeschieden. Wichtig ist – auch aus wirtschaftlichen Gründen – dass technische und ergonomische Faktoren Hand in Hand gehen müssen:

- Effizienz der Erfassung: Die Wirksamkeit der Absaugung sinkt quadratisch mit der Entfernung zur Inzisionsstelle. Eine hohe Erfassungsrate wird durch eine

Punktabsaugung, d.h. Aufnahme der Partikel direkt an der Schadstoffquelle, gewährleistet.

- Das Filtersystem: Um sowohl Partikel als auch Gase sicher zu binden, kommen häufig mehrstufige Systeme zum Einsatz:
    - Vorfilter: Scheiden grobe Partikel ab und erhöhen so die Standzeit des Hauptfilters.
    - ULPA-Filter (Ultra Low Penetration Air): Im Gegensatz zu herkömmlichen HEPA-Filtern bieten ULPA-Filter (Klasse U15 oder höher) eine Abscheidung von 99,999% für Partikel bis in den Nanometerbereich. Dies schließt selbst kleinste Virenfragmente sicher ein.
    - Aktivkohle-Adsorption: Da Gase und VOCs einen Partikelfilter ungehindert passieren würden, ist der Einsatz von Sorbentien/Adsorptionsmitteln wie Aktivkohle sinnvoll. Sie bindet chemische Giftstoffe und neutralisiert die für den Laserprozess typischen, unangenehmen Gerüche.

Fazit

Der Laser ist ein unverzichtbares Werkzeug der modernen Medizin, das durch seine Präzision neue Maßstäbe in der Patientenversorgung gesetzt hat. Sein sicherer Einsatz erfordert jedoch ein hohes Bewusstsein für den Arbeitsschutz und die potenziellen Risiken der thermischen Emissionen. Nur der konsequente Einsatz entsprechender Absaug- und Filteranlagen kann die Gesundheit des medizinischen Fachpersonals und der Patienten langfristig gewährleisten und eine Kontamination der Raumluft sicher verhindern. Es ist daher unerlässlich, dass Kliniken und Praxen in modernste Filtertechnik investieren, um die technologische Brillanz des Lasers nicht durch vermeidbare Gesundheitsrisiken zu überschatten. Letztlich definiert die Qualität des Luftmanagements die Sicherheit und Professionalität des gesamten medizinischen Umfelds.

Autor:
Stefan Meißner, Unternehmenskommunikation ULT AG
marketing@ult.de