

# Von Einsteins Quantentheorie zur modernen Lasertherapie

## Historie des Lasers in der Dermatologie und ästhetischen Medizin

### Entwicklung der Lasertechnologie

Der erste Schritt auf dem Weg zur Entwicklung des Lasers war eine im Jahre 1917 publizierte Arbeit von Albert Einstein (■ **Tabelle 1**), in der er im Rahmen seiner Quantentheorie die Idee der „stimulierten Emission“ vorstellte [14]. Diese „stimulierte“ oder „induzierte Emission“ steht hierbei im Gegensatz zu der „spontanen Emission“. Bei Letzterer entsteht inkohärentes Licht durch das Bestreben von Elektronen, von einem angeregten Energiezustand spontan wieder in einen niedrigeren zurückzufallen und Energie in Form von Photonen abzugeben. Bei der stimulierten Emission dagegen wird ein bereits angeregtes Atom von einem Photon stimuliert und emittiert dadurch Photonen einer identischen Frequenz, Energie, Richtung und Phase. Dadurch entsteht kohärentes Licht, und die Voraussetzung für die Existenz der Lasertechnologie war geschaffen. Bis zur Konstruktion eines ersten Lasers sollte es jedoch noch Jahre dauern.

Während des 2. Weltkriegs beschäftigten sich viele Wissenschaftler mit der Radartechnik und bekamen somit Interesse am Spektralanteil der Mikrowellen. Dieses führte zur Entwicklung des ersten Gerätes, das auf dem Prinzip der „stimulierten Emission“ beruhte, dem MASER (Microwave amplification by the stimulated emission of radiation). Charles H. Townes realisierte zusammen mit seinen

Assistenten an der Columbia Universität in den USA 1954 den ersten Maser mit einer Emissionswellenlänge von 1,25 cm mit Ammoniakdampf (■ **Abb. 1**) [26]. Zeitgleich und unabhängig davon publizierten Alexander M. Prokhorov und Nikolai G. Basov vom Lebedev Physik Institut Moskau ihre Gedanken zur stimulierten Emission von Mikrowellen und entwickelten

wenig später ihren ersten Maser [11]. Wird die Konstruktion des ersten Masers auch Townes zugeschrieben, wurde 1964 der Physik-Nobelpreis für das „Maser-Laser Prinzip“ an Townes, Prokhorov und Basov verliehen [30].

Die Weiterentwicklung vom Maser zur Konstruktion eines LASER (Light amplification by stimulated emission of radia-

Tabelle 1

#### Meilensteine in der Entwicklung der Lasertechnologie [44].

1917	Einstein publiziert die Theorie der spontanen Emission
1954	Gorden, Zeiger und Townes erbauen den ersten MASER
1958	Townes und Schawlow veröffentlichen „Infrared and optical masers“
1960	Maiman stellt den ersten (Rubin)-Laser vor
1961	Javan, Bennett und Herriott entwickeln den ersten Helium-Neon-Gaslaser
1964	Bridges stellen den ersten Argonlaser, Patel den ersten CO <sub>2</sub> -Laser vor
1964	Townes, Prokhorov und Basov erhalten den Physik-Nobelpreis
1964	Goldman et al. publizieren erste Erfahrungen mit dem Rubinlaser bei Nävi und Melanomen
1966	Sorokin und Lankard stellen zeitgleich mit Schäfer den ersten Farbstofflaser vor
1968	Goldman behandelt erstmals vaskuläre Hautveränderungen mit dem Argonlaser
1970	Basov et al. entwickeln den ersten Excimer- (Xe <sub>2</sub> )-Laser
1981	Schawlow wird der Physik-Nobelpreis verliehen
1983	Anderson und Parrish publizieren das Prinzip der selektiven Photothermolyse
1983	Stempel veröffentlicht erste Erfolge bei der Behandlung von Naevi flammei mit dem gepulsten Farbstofflaser
1989	Kaufmann und Hibst berichten erstmals über die ablativen Möglichkeiten des Erbium:YAG-Lasers
1991	Fitzpatrick et al. beginnen mit klinischen Vorarbeiten zu gepulsten CO <sub>2</sub> -Lasern
1996	Grossman et al. publizieren erste Ergebnisse zur Laserepilation

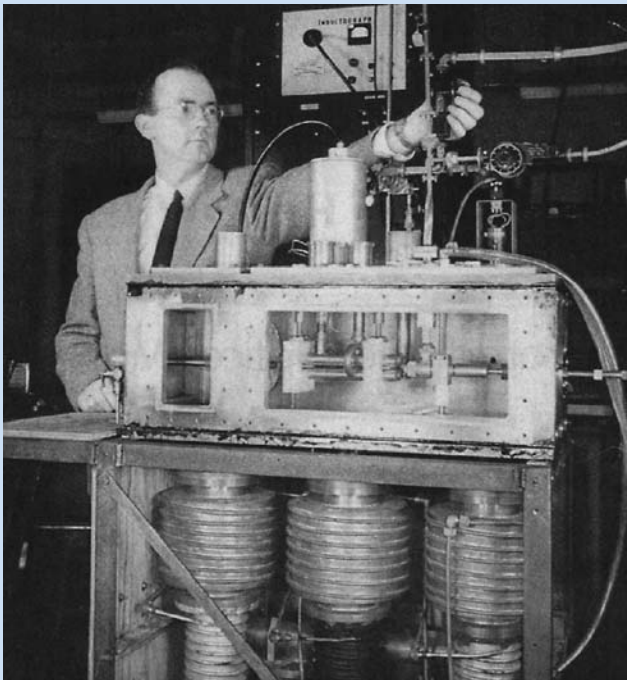


Abb. 1 ▲ Charles Townes' MASER (1955) [30]

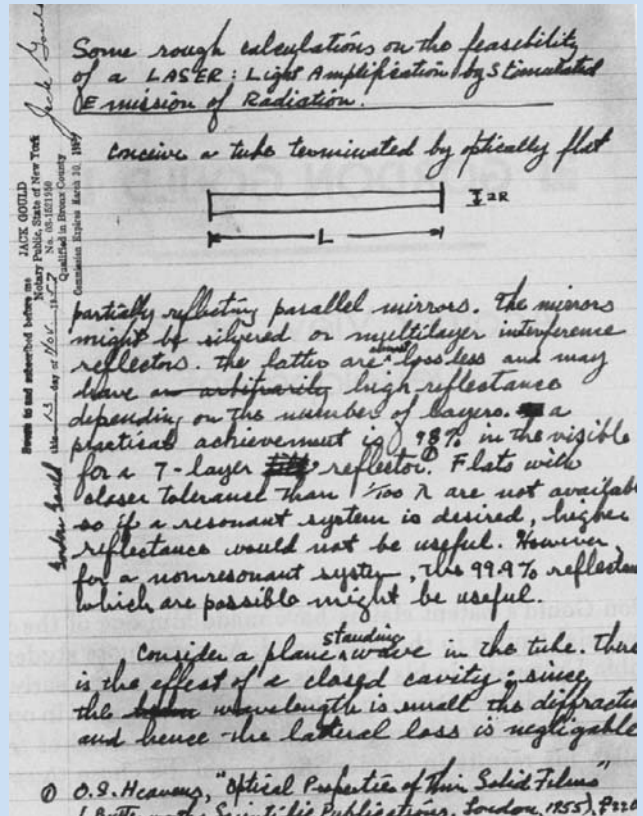
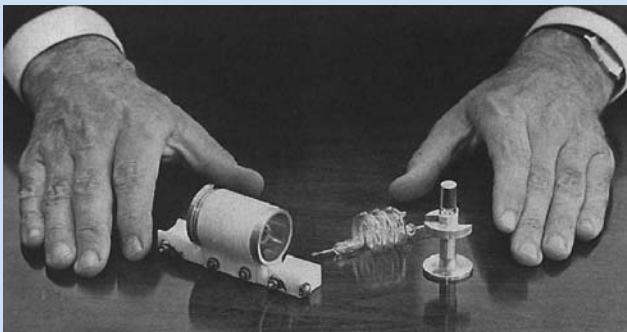


Abb. 2 ▲ Das Notizbuch von Gordon Gould (1957) [30]

Abb. 3 ◀ Der erste Laser, erbaut durch Theodor Maiman (1960) [30]

tion), damals noch optischer Maser genannt, wurde begründet durch Charles Townes und Arthur L. Schawlow. Sie veröffentlichten 1958 in *Physical Review* ihre Arbeit „Infrarote und optische Maser“ mit Vorschlägen zur Erweiterung des Maser-Verfahrens zum sichtbaren Licht [47]. Im Jahr 1960 erhielten sie dafür das inzwischen erloschene U.S. Patent (Nr. 2.929.922), allerdings erst nach längerem Insistieren von Townes. Im Jahr 1957 hatte Gordon Gould, damals an der Columbia-Universität, USA, bereits seine Gedanken zur Lasertechnologie und auch die Definition des Lasers als „Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation“ in seinem Notizbuch niedergeschrieben (■ Abb. 2). Anstatt sie in einer wissenschaftlichen Zeitschrift zu publizie-

ren, ließ er sie, in der Hoffnung dadurch ein Patent zu erhalten, von einem Kioskbesitzer namens Jack Gould (keine Verwandtschaft) beglaubigen [30].

Die Arbeit von Townes und Schawlow war auch der Startschuss für ein Rennen um die Konstruktion des ersten Lasers. Theodor Maiman, Physiker am „Hughes Research Laboratory“ in Malibu, Kalifornien, war es, der 1960 den ersten funktionierenden Laser, einen Rubinlaser, präsentierte (■ Abb. 3). Mit der Begründung, dies sei nur ein weiterer Maser, wurde sein Bericht über die Konstruktion des Rubinlasers zunächst von der Zeitschrift „Physical Review Letters“ abgelehnt. Im Jahr 1960 erschien seine Publikation schließlich in etwas kürzerer Version in „Nature“ [39].

Im Jahr 1961 entwickelte ein ehemaliger Schüler von Townes, Ali Javan, mit seinen Kollegen William Bennett und Donald Herriott den ersten Gaslaser [33]. Dieser arbeitete mit einem Gemisch aus Helium und Neon mit einer Wellenlänge von 1,15  $\mu\text{m}$ , nahe den Infrarotstrahlen. Der heute als Zielstrahl in der Lasertherapie oder beispielsweise auch in Scannerkasernen der Supermärkte übliche Helium-Neonlaser der Wellenlänge 633 nm wurde erst 1 Jahr später, nämlich 1962, durch Alan White und J. Dane Rigden gebaut [56]. Ebenfalls 1961 demonstrierten L.F. Johnson und K. Nassau den ersten Neodymumlaser [35]. Als Kristall wählten sie Kalzium-Tungstate ( $\text{CaWO}_4$ ). Drei Jahre später erstellten J.E. Geusic, H.M. Marcos und L.G. van Uitert den Neodym-Yttrium-

Aluminium-Granat- (Nd:YAG-)Laser vor [18], der sich aufgrund seiner optimalen thermischen und optischen Qualitäten als Standard-Neodymiumlaser etablierte.

In den folgenden Jahren wurden verschiedene aktive Lasermedien evaluiert, was im Jahr 1964 zur Entwicklung des ersten CO<sub>2</sub>-Lasers durch C. Kumar N. Patel [42] und des ersten Argonlasers durch William Bridges [12] führte.

Der Gebrauch von organischem Farbstoff als aktives Medium in Lasern wurde 1961 erstmals zur Diskussion gestellt. Es sollte aber bis 1966 dauern, bis Peter Sorokin und John Lankard den ersten Rubin-gepumpten Farbstofflaser hervorbrachten [50]. Unabhängig davon publizierte Fritz Schäfer aus dem Physikalisch-Chemischen Institut der Universität Marburg seine Arbeit über „Organische Farbstofflaser“ [46]. Ein Jahr später zeigte Sorokin, dass der Farbstofflaser auch Blitzlampen-gepumpt funktioniert [51]. Im Jahr 1970 wurde der erste Dauerstrich-Farbstofflaser, der Argon-gepumpte Farbstofflaser von der Gruppe um Benjamin Snavely entwickelt [43].

Dieser Farbstofflaser wurde bald zu einem unersetzlichen Instrument in der Wissenschaft, namentlich in der Atomphysik und Spektroskopie. Maßgeblich an dieser Entwicklung beteiligt waren Arthur Schawlow, Nicolas Bloembergen von der Harvard University und Theodor Hänsch, jetzt Professor und Lehrstuhlinhaber für Experimentalphysik und Laserspektroskopie an der Universität München sowie Leiter des Max Planck Instituts für Quantenoptik in Deutschland. Im Jahr 1981 wurde Schawlow und Bloembergen der Physik-Nobelpreis für ihren „Beitrag zur Entwicklung der Laser-Spektroskopie“ verliehen (Abb. 4).

Während die wissenschaftlichen Arbeiten um den Laser hervorragende Ergebnisse zeigten, blieb die Frage nach dessen praktischen Einsatzmöglichkeiten lange Zeit offen. Der Laser wurde als „Erfindung auf der Suche nach einer Anwendung“ angesehen [30]. Erste Experimente über die Einsatzmöglichkeiten waren ungenau und dadurch erschwert, dass es keine standardisierten Messinstrumente gab. Hecht et al. berichten, dass in diesen Tagen die Energie der gepulsten Laser in „Gillette“ gemessen wurde – der Anzahl

an Rasierklingen, die durch einen Laserimpuls perforiert wurden [30].

Chancen für die Lasertechnologie sah neben der Industrie vor allem das amerikanische Verteidigungsministerium. General Curtis LeMay war 1962 der Überzeugung, Laser könnten einen Nuklearwaffenangriff abwehren (Abb. 5). Die Aktualität dieser Hoffnung oder Befürchtung zeigt sich heute in der Entwicklung des SDI- (Strategic defense initiative-)Programms der Amerikaner.

In der Medizin waren neben den Dermatologen die Ophthalmologen unter den Ersten, die den Laser zu therapeutischen Zwecken einsetzten. Der erste kommerzielle Laser in den USA, ein Rubinlaser, wurde in den frühen 60er-Jahren zur Photoakoagulation der Retina eingesetzt. Aufgrund der hohen Nebenwirkungsraten (v.a. retinale und subretinale Hämorrhagien) wurde dieser gepulste Laser allerdings schnell wieder aus der chirurgischen Ophthalmologie verbannt. Erst die Dauerstrichlaser der späten 60er- und frühen 70er-Jahre erwiesen sich als exakte chirurgische Instrumente. In dieser Zeit wurde der Argonlaser zum Standardinstrument in der Behandlung der Ablatio retinae [59].

Neben der Medizin wird der Laser heute in vielen anderen Bereichen eingesetzt. So hat sich die Lasertechnik in der Materialbearbeitung sowohl zum Schneiden dicker Stahlplatten als auch für filigrane Arbeiten auf elektronischen Mikrochips etabliert. Der Laser wird in der Informations- und Messtechnik sowie in der Datenübertragung eingesetzt. Hier wird u. a. der modulierte Strahl des Diodenlasers über eine Lichtleitfaser geführt und erlaubt eine wesentlich höhere Datenübertragung als mit herkömmlichen Kupferkabeln.

### Laser in der Dermatologie und ästhetischen Medizin

In der Entwicklung der medizinischen Lasertechnologie kam den Dermatologen, allen voran Leon Goldman (1905–1997), eine entscheidende Rolle zu. Durch seine Arbeiten und seinen Enthusiasmus wurden zahlreiche neue Lasertypen entdeckt, entwickelt und letztendlich auch für neue Indikationen eingesetzt.

Bereits 1962 stellte Robert W. Hellwarth das Konzept des „Q-switching“ oder Gü-

## Zusammenfassung · Abstract

Hautarzt 2003 · 54:575–582  
DOI 10.1007/s00105-003-0542-1  
© Springer-Verlag 2003

K. Graudenz · C. Raulin

### Von Einsteins Quantentheorie zur modernen Lasertherapie. Historie des Lasers in der Dermatologie und ästhetischen Medizin

#### Zusammenfassung

Der Laser hat die Behandlungsmöglichkeiten und damit das Fachgebiet der Dermatologie und der ästhetischen Medizin entscheidend mit beeinflusst. Auch in anderen medizinischen Bereichen konnte und kann der Laser neue Optionen in Diagnostik und Therapie eröffnen. In der praktischen Entwicklung der Technologie des Lasers haben Dermatologen, allen voran Dr. Leon Goldman, eine entscheidende Rolle gespielt. Vom Prinzip der stimulierten Emission als Fundament des Lasers durch Albert Einstein 1917 bis zur heutigen alltäglichen Anwendung war es ein langer Weg, der im Folgenden aufgezeigt werden soll.

#### Schlüsselwörter

Laser · Historie · Dermatologie · Ästhetische Medizin

### From Einstein's Quantum Theory to modern laser therapy. The history of lasers in dermatology and aesthetic medicine

#### Abstract

Laser technology has considerably expanded therapeutic modalities in dermatology and aesthetic medicine. In addition, lasers have broadened the spectrum of diagnostic and therapeutic options in many other medical fields. Dermatologists, especially Dr. Leon Goldman, played an important role in the evolution and use of medical lasers. There was a long way from the concept of stimulated emission as the fundamental idea of laser technology by Albert Einstein in 1917 to the practical use of the laser today. We review the development of laser technology from the early days through the latest advances.

#### Keywords

Laser · History · Dermatology · Aesthetic medicine

teschaltung vor [41]. Mithilfe dieses Prozesses war es möglich, ultrakurze Pulszeiten hoher Intensität im Nanosekundenbereich zu erreichen. Drei gütegeschaltete Laser werden heute angewendet: der Rubin-, Alexandrit-, und Nd:YAG-Laser.

Im Folgenden wird die Entwicklung der in der Dermatologie eingesetzten Laser chronologisch aufgezeigt.

### Rubinlaser

Der erste Bericht über den Einsatz eines Lasers in der Dermatologie erfolgte durch Leon Goldman, damals Professor und Leiter der dermatologischen Klinik an der Universität von Cincinnati. In seinen beiden 1963 erschienenen Arbeiten beschreibt er sowohl makroskopisch „dark color of the skin increases absorption of the laser beam“ [22] als auch mikroskopisch „the more intense the colouring of the skin the deeper the reaction“ [21] bereits die selektive Destruktion pigmentierter Strukturen durch den Rubinlaser. Die damit verbundenen Möglichkeiten in der Behandlung pigmentierter Hautveränderungen erkennend, initiierte er zwischen 1960 und 1970 zahlreiche Studien. Im Jahr 1964 beschrieb er die Wirkung und Nebenwirkungen einer Rubinlaserbehandlung von Nävi und Melanomen [23]. Anschließend berichtete er 1965 über die Entfernung einer Tätowierung mit dem Rubinlaser bei einer damaligen Pulsdauer von 500 ms. Zwei Jahre später zeigte er, dass eine höhere Spezifität und weniger Begleitreaktionen durch eine Reduktion der Pulslänge auf 50 ns erreicht werden konnte [24, 25].

Primär aufgrund technischer Probleme mit dem System des Rubinlasers wurde dieser jedoch erst 34 Jahre später von der FDA (U.S. Food and Drug Administration) offiziell zur Behandlung von Tätowierungen zugelassen.

Auch heute wird der Rubinlaser noch vorrangig zur Behandlung von Schmuck- und Schmutztätowierungen sowie von gutartigen pigmentierten Hautveränderungen eingesetzt. Im lang gepulsten Modus wird er zur Behandlung der Hypertrichose verwendet [13].

### Diodenlaser

Das aktive Medium der Diodenlaser sind dotierte Halbleiterkristalle. Die Wellenlängen liegen zwischen 620 und 1.450 nm und sind abhängig von den verwendeten Halbleitermaterialien. Die erste Konstruktion eines Diodenlasers, 1962, geht auf Robert Hall, damals tätig an den General Electronic's Research and Development Laboratories, Schenectady, USA, zurück [29]. Bei diesem ersten Diodenlaser wurde Galliumarsenid als aktives Medium verwendet.

In der Medizin werden Diodenlaser seit Ende der 70er-Jahre primär in der Augenheilkunde eingesetzt. Erst später kamen dermatologische Indikationen wie die photodynamische Therapie oder die Behandlung von vaskulären Hautveränderungen dazu. Im Jahr 1998 erhielt der Gallium-Aluminium-Arsenid-Diodenlaser (819 nm) die Zulassung der FDA für ästhetische Medizin, für vaskuläre und pigmentierte Hautveränderungen [57]. Seit 1999 wird er auch zur Laserepilation eingesetzt.

### Argonlaser

Wiederum war es Leon Goldman, der 1968 als einer der ersten Dermatologen klinische Studien und histopathologische Untersuchungen zur Behandlung vaskulärer Veränderungen mit dem Argonlaser durchführte [49]. In diesen ersten Jahren wurden Versuche unternommen, die Effektivität zu steigern und die Nebenwirkungsrate (Narben, Hypo- und Hyperpigmentierungen) der Argonlaserbehandlung zu senken. Eine der ersten und einfachsten Methoden war die topische Hautoberflächenkühlung mithilfe von Eis, beschrieben 1982 durch Barbara Gilchrist [19]. Kenneth Arndt et al. forderten im selben Jahr eine Standardisierung der Laserterminologie und der Behandlungsparameter, um die Transparenz zu verbessern und damit die Gefahr hypertropher Narben und Pigmentveränderungen, besonders bei jüngeren Patienten, zu reduzieren [6].

Die große Anzahl von Indikationen, die in dieser Zeit neben vaskulären Hautveränderungen mit dem Argonlaser behandelt wurden (Tätowierungen [4], Adenoma sebaceum [7], epidermale Nävi [37]) zei-

gen das bereits damals vorhandene große klinische Interesse an der Lasertechnologie. Heute ist der Argonlaser in der Dermatologie im Wesentlichen durch spezifischer wirksame Laser ersetzt worden.

### Farbstofflaser

Im Jahr 1981 publizierten R. Rox Anderson und John A. Parrish Daten, die eine selektive Zerstörung von Gefäßen durch einen Blitzlampen-gepumpten Farbstofflaser der Wellenlänge 577 nm zeigten [2]. Diese Beobachtungen führten 1983 zur Beschreibung des Prinzips der selektiven Photothermolysis [3]. Damit war ein erster Durchbruch im Verständnis der Gewebewechselwirkungen von Laserstrahlen und Haut geschafft. Der Farbstofflaser, dessen Wellenlänge (577 nm) nahe einem Absorptionsmaximum von Hämoglobin liegt, löste somit in den 80er-Jahren allmählich den relativ unspezifisch koagulierenden Argonlaser in der Behandlung vaskulärer Hautveränderungen ab. Greenwald erkannte zudem, dass neben der höheren Spezifität mit dieser Wellenlänge auch die Absorption durch Melanin reduziert und somit eine geringere Verletzung der Epidermis und tiefere Penetration in das Gewebe erreicht werden konnte [27].

Schwierigkeiten ergaben sich in den anfänglichen Behandlungsversuchen dadurch, dass die bis dato existierenden gepulsten Farbstofflaser primär für wissenschaftliche Zwecke in der Spektroskopie Verwendung fanden. Sie waren weder in ihrer Größe noch in ihrer Beweglichkeit für Patientenbehandlungen geeignet, was von dem Behandelnden in dieser experimentellen Phase viel Geduld und Ideenreichtum abverlangte (Stempel, persönliche Mitteilung). Im Jahr 1983 beschreiben H. Stempel und G. Klein erstmals die Therapie des Naevus flammeus mit einem gepulsten Farbstofflaser [52]. Erst 5 Jahre später berichtete auch die Bostoner Gruppe um Anderson und Parrish auf den „Journées Dermatologiques“ von 3 behandelten Patienten. Im Jahr 1989 kamen die ersten kommerziellen dermatologischen Farbstofflaser auf den Markt. Die Wellenlänge des Blitzlampen-gepumpten Farbstofflasers lag zunächst bei 577 nm, wurde später aber aufgrund der höheren Penetrationstiefe zugunsten von 585 nm verlassen [54].

**Hier steht eine Anzeige**  
**This is an advertisement**



**Springer**

(175 x 240 mm)



Abb. 4 ▲ Arthur Schawlow und C. Garrett justieren einen frühen Rubinlaser (1960) [30]



Abb. 5 ▲ Spekulationen über Laserkanonen 1962 [30]

Auch mit dem primär zu wissenschaftlichen Zwecken eingesetzten Argon-gepumpte Farbstofflaser, der bei variabler Wellenlänge (577 nm/585 nm) im Dauerstrichmodus arbeitete, gab es Behandlungsversuche. Adriana Scheibner publizierte in den frühen 80er-Jahren erste Therapiestudien von Feuermalen mit diesem Laser [48]. Aufgrund der niedrigeren Spezifität und Effektivität konnte er sich in der Dermatologie jedoch nicht gegen den Blitzlampen gepumpten Farbstofflaser durchsetzen.

Das heutige Indikationsspektrum der Blitzlampen-gepumpten gepulsten Farbstofflaser beinhaltet vor allem Feuermale, Hämangiome und Teleangiektasien. Inzwischen gibt es Erweiterungen der Wellenlängen auf 590 nm, 595 nm und 600 nm. Im angloamerikanischen Raum findet auch ein Pigmentfarbstofflaser (510 nm) zur Behandlung gutartiger pigmentierter Hautveränderungen und Tätowierungen Verwendung.

### CO<sub>2</sub>-Laser

Der von Patel 1964 entwickelte CO<sub>2</sub>-Laser arbeitete zunächst lediglich im Milliwatt-

bereich. Bald aber erkannte er, dass dieser Laser im Dauerstrichmodus ausreichend hohe Energien (10–100 W) erreichen konnte, um Gewebe abtragen zu können [32]. Die schneidende und gleichzeitig blutstillende Eigenschaft des CO<sub>2</sub>-Lasers wurden 1966 erstmals von Yahr beschrieben [58]. Erste Studien mit dem CO<sub>2</sub>-Laser befassten sich mit der Exzision von Melanomen bei Tieren [20]. Später wurde die Wirksamkeit dieses Lasers in der Hepatochirurgie untersucht. Es zeigte sich, dass sowohl Exzisionen von Leberanteilen als auch eine Blutstillung von Gefäßen bis zu 2 mm Durchmesser durchführbar waren [20].

Durch die Möglichkeit, diesen Laser sowohl zum blutarmen Schneiden als auch zur Gewebeablation zu verwenden, wurde er bald für eine Vielzahl dermatologischer Indikationen eingesetzt. Im Jahr 1978 berichtet Elisabeth McBurney über ihre klinischen Erfahrungen mit dem CO<sub>2</sub>-Laser in der Behandlung verschiedener Hautveränderungen, einschließlich Verrucae vulgares [40]. Phil Bailin und John Ratz publizierten 1980 ihre Ergebnisse der Entfernung von Tätowierungen mithilfe des CO<sub>2</sub>-Lasers [10]. Dies führte

zwar üblicherweise zu Narbenbildung, war aber meist dennoch anderen chirurgischen Maßnahmen oder einer Dermabrasio überlegen. Heute wird der CO<sub>2</sub>-Lasers in der ästhetischen Medizin vorrangig zur Behandlung von Falten und Aknenarben (Skin-Resurfacing) eingesetzt. Hierbei wird neben der mechanischen Abtragung eine weitere Wirkung des CO<sub>2</sub>-Lasers, das so genannte Kollagenshrinking, genutzt. Dabei handelt es sich um eine hitzebedingte Kontraktion der Kollagenfibrillen, die zu einer weiteren Hautstraffung führt [17]. Daneben dient der CO<sub>2</sub>-Laser in der Dermatologie der Abtragung gutartiger Hautveränderungen.

### Erbium:YAG-Laser

Zunächst wurde der Erbium:YAG-Laser (Wellenlänge 2.940 nm) als chirurgisches Instrument im Bereich der Dentalchirurgie und der intraokularen Mikrochirurgie eingesetzt. In der Dermatologie wird der Erbium:YAG-Laser primär zur Gewebeabtragung verwendet. Im Vergleich zum CO<sub>2</sub>-Laser wird das Licht des Erbium:YAG-Lasers 15-mal stärker von Wasser absorbiert. Allerdings kommt es hier zu einer deutlich geringeren Hitzeentwicklung, was zwar das umliegende Gewebe schont, aber auch den Nachteil hat, dass kleinere Gefäße nicht koaguliert und Kollagenfasern nicht gestrafft werden können. Im Jahr 1989 berichtet Roland Kaufmann erstmals über die Möglichkeiten des Skin Resurfacing mithilfe dieses Lasers [36]. Die Akzeptanz der Erbium:YAG-Laser-Ablation war in den ersten Jahren eher zurückhaltend, galt diese doch als „blutig“ und „oberflächlich“ (Kaufmann, persönliche Mitteilung). Es sollte noch einige Jahre dauern, bis die exakte Ablation des Erbium:YAG-Lasers ohne relevante Gewebnekrose Anerkennung fand. Heute wird der Erbium:YAG-Laser wie der CO<sub>2</sub>-Laser zur Gewebeabtragung verwendet. Mittlerweile sind auch lang gepulste Erbium:YAG-Laser auf dem Markt, die im Gegensatz zu den kurz gepulsten auch ein gewisses Maß an Hämostase erreichen können. Die Haupteinsatzgebiete dieses Laser sind die Behandlung von Falten und Aknenarben, zudem wird er zur Behandlung von gutartigen Tumoren verwendet. Es sind auch Geräte verfü-

bar, die einen Erbium:YAG-Laser mit einem CO<sub>2</sub>-Laser kombinieren, wobei der CO<sub>2</sub>-Anteil hier nur für die Blutstillung bzw. das Kollagenshrinking verantwortlich ist.

### Neodym:YAG-Laser

Der Neodym:YAG-Laser, 1964 von Geusic et al. entwickelt, wurde Anfang der 70er-Jahre primär in der Urologie und in der Gastroenterologie zur Behandlung von Tumoren und Blutungen verwendet [18]. Obwohl Goldman bereits 1973 auf die Möglichkeiten dieses Lasers in der Dermatologie hingewiesen hatte, sollte es noch etwa 10 Jahre dauern, bis erste Berichte über die verschiedenen dermatologischen Indikationen des Nd:YAG-Lasers erschienen [9]. Zunächst gab es nur einen Betriebsmodus – den Dauerstrich (cw-)Nd:YAG-Laser (1.064 nm). Hier stand die unspezifisch koagulierende Wirkung im Vordergrund. Haupteinsatzgebiet dieses cw-Lasers in der Dermatologie ist heute die Behandlung von nodulären oder tief subkutan liegenden Gefäßveränderungen [31]. Später wurde der gütegeschaltete Nd:YAG-Laser entwickelt, der heute im Wesentlichen zur Behandlung von Tätowierungen eingesetzt wird.

Im Jahr 1988 stellte der Ophthalmologe A.E. Jalkh erstmals den frequenzverdoppelten Nd:YAG-Laser der Wellenlänge

532 nm vor. Durch Vorschalten eines Kalium-Titanyl-Phosphat- (KTP-)Kristalls wird grünes Licht im sichtbaren Wellenlängenspektrum erzeugt [34]. Im Jahr 1989 berichtet Rox Anderson von der Behandlung pigmentierter Hautveränderungen mithilfe dieses KTP-Nd:YAG-Lasers (532 nm) [1]. Seit Anfang der 90er-Jahre steht nun auch der lang gepulste KTP-Nd:YAG-Laser zu Behandlung von Gefäßen variabler Durchmesser zur Verfügung [5].

### Alexandritlaser

Der Alexandritlaser (755 nm), 1979 konstruiert, wurde in der Medizin seit den späten 80er-Jahren zunächst in der Urologie zur Lithotrypsie eingesetzt. Im Jahr 1993 zeigte R.E. Fitzpatrick in einem Tiermodell erstmals, dass Tätowierungen mithilfe des Q-switched Alexandritlasers entfernt werden konnten [16]. Seit etwa 1997 steht er auch lang gepulst, insbesondere zur Behandlung der Hypertrichose zur Verfügung [15].

Das heutige Indikationsspektrum beinhaltet somit Tätowierungen sowie gutartige pigmentierte Hautveränderungen für den gütegeschalteten und die Epilation sowie die Therapie vaskulärer Hautveränderungen für den lang gepulsten Alexandritlaser.

### Excimerlaser

Der erste Excimerlaser, ein Xe<sub>2</sub>-Laser der Wellenlänge 172 nm, wurde 1970 von der Arbeitsgruppe um Nikolai F. Basov im Lebedev Institut in Moskau entwickelt. Der Begriff „Excimer“ ist entstanden aus einer Verschmelzung der Wörter „excited“ und „dimer“ und beschreibt das aktive Medium der ursprünglichen Excimerlaser, das aus 2 angeregten Atomen desselben Elementes gebildet wurde. Im Jahr 1975 wurden parallel von mehreren Instituten in den USA Laser beschrieben, die mit sog. Exciplexen, angeregte Komplexe von Edelgas-Halogen-Molekülen, arbeiteten. Obwohl es sich nun nicht mehr um angeregte Dimere als aktives Medium handelte, blieb der Name des Excimerlasers erhalten.

Die gegenwärtig am häufigsten verwendeten Excimerlaser sind Krypton-

Fluorid- (KrF, 248 nm), Argon-Fluorid- (ArF, 193 nm) und Xenon-Chlorid-Laser (XeCl, 308 nm). Sie werden auch heute noch primär in der Industrie und Forschung eingesetzt, die Verwendung in der Medizin erreicht jedoch einen immer höheren Stellenwert.

Der klinische Einsatz eines Excimerlaser erfolgte Ende der 70er-, Anfang der 80er-Jahre in der Augenheilkunde. John Taboada und Stephen Trokel beschreiben 1981 bzw. 1983 den Einsatz des KrF-Excimerlasers in der Kornealchirurgie [53, 55]. In der Dermatologie wurden zunächst die schneidenden und ablativen Eigenschaften der Excimerlaser untersucht [38]. Bei diesen Untersuchungen zeigte sich, dass der XeCl- (351 nm-)Laser primär von pigmentierten Strukturen der Haut absorbiert wurde. Das Prinzip der selektiven Photothermolysen konnte erstmals an diesem System demonstriert werden. Es zeigte sich jedoch, dass in Abwägung der Wirkungen und Nebenwirkungen andere Laser den Excimerlasern in dem Bereich der Ablation und in der Behandlung pigmentierter Hautveränderungen überlegen waren.

Heute wird in der Dermatologie der XeCl-Excimerlaser der Wellenlänge 308 nm mit Erfolg zur Behandlung von Hypopigmentierungen, der Psoriasis und anderen UV-B-sensiblen Dermatosen eingesetzt [8].

### Erbium:Glass-Laser

Der Erbium:Glass-Laser der Wellenlänge 1.540 nm wird seit den 90er-Jahren zunächst in der Augenheilkunde, zuletzt auch in der Dermatologie eingesetzt. Aufgrund der hohen Wasserabsorption seiner Wellenlänge wird er in der Dermatologie und ästhetischen Medizin primär für die nicht ablativ Behandlung alters- und UV-bedingter Gesichtsfalten propagiert (sog. „skin rejuvenation“).

Bei der Faltenbehandlung mit Lasertechnologie ist das ablativ von dem nicht-ablativen Verfahren zu unterscheiden. Bislang vorliegende Untersuchungen dieser nicht-ablativen Laser- und IPL- („Intense pulsed light“-)Systeme hinsichtlich ihrer Effektivität zeigen keine überzeugenden Daten [28]. Für die endgültige Beurteilung dieser neuen Therapieoption

Abkürzungen	
ArF	Argon Fluorid
cw	continuous wave (Dauerstrich)
Erbium:YAG	Erbium:Yttrium-Aluminium-Granat
FDA	U.S. Food and Drug Administration
IPL	Intense pulsed light
KTP	Kalium-Titanyl-Phosphat
KrF	Krypton Fluorid
LASER	Light amplification by stimulated emission of radiation
MASER	Microwave amplification by stimulated emission of radiation
Nd:YAG	Neodymium:Yttrium-Aluminium-Granat
XeCl	Xenon Chlorid

bedarf es weiterer Studien mit ausreichend langer Nachbeobachtungszeit.

### Fazit für die Praxis

Durch die Inauguration und ständige Weiterentwicklung der Lasertechnologie in der Dermatologie und ästhetischen Medizin sind bei entsprechenden Indikationen erhebliche Verbesserungen der therapeutischen Möglichkeiten erreicht worden. Feuermale oder Tätowierungen beispielsweise konnten erst mithilfe der Lasertechnik erfolgreich behandelt werden. Bei allem Fortschritt und Erfolg sollten jedoch stets andere Therapieoptionen gründlich erwogen und die medizinische und ethische Indikationen zur Lasertherapie streng gestellt werden [45]. Bei der von den Medien in nahezu unvergleichbarer Weise geförderten Meinung über scheinbar gefahrlose Laserstrahlen mit fast magischer Wirkung gilt es, sich die Worte von Leon Goldman ins Gedächtnis zu rufen: „If you don't need a laser, don't use one.“

### Korrespondierender Autor

Priv.-Doz. Dr. C. Raulin

Praxis für Dermatologie,  
Phlebologie und Allergologie und  
Laserklinik Karlsruhe,  
Kaiserstraße 104, 76133 Karlsruhe  
E-Mail: info@raulin.de

### Literatur

- Anderson RR, Margolis RJ, Watanabe S et al. (1989) Selective photothermolysis of cutaneous pigmentation by Q-switched Nd:YAG laser pulses at 1064, 532 and 355 nm. *J Invest Dermatol* 93:38–42
- Anderson RR, Parrish JA (1981) Microvasculature can be selectively damaged using dye lasers: a basic theory and experimental evidence in human skin. *Lasers Surg Med* 1:263–276
- Anderson RR, Parrish JA (1983) Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation. *Science* 220:524–527
- Apfelberg DB, Maser MR, Lash H (1979) Argon laser treatment of decorative tattoos. *Br J Plast Surg* 32:141–144
- Apfelberg DB, Bailin P, Rosenberg H (1986) Preliminary investigation of KTP/532 laser light in the treatment of hemangiomas and tattoos. *Laser Surg Med* 6:38–42
- Arndt KA, Noe JM, Northam DBC et al. (1981) Laser therapy: basic concepts and nomenclature. *J Am Acad Dermatol* 5:649–654
- Arndt K (1982) Adenoma sebaceum: successful treatment with argon laser. *Plast Reconstr Surg* 70:91–93
- Asawanonda P, Anderson RR, Chang Y, Taylor CR (2000) 308-nm excimer laser for the treatment of psoriasis. *Arch Dermatol* 136:619–624
- Bahmer FA, Tang E (1984) Der Neodym:YAG-Laser in der dermatologischen Therapie. *Z Hautkr* 59:1692–1702
- Bailin PL, Ratz JL, Levine HL (1980) Removal of tattoos by CO<sub>2</sub> laser. *J Dermatol Surg Oncol* 6:977–1001
- Basov NG, Prokhorov AM (1954) 3-level gas oscillator. *Zh Eksp Teor Fiz (JETP)* 27:431
- Bridges WB (1964) Laser oscillation in singly ionized argon in the visible spectrum. *Applied Physics Letters* 5:39
- Dietrick CC, Grossman MC, Farinelli WA, Anderson RR (1997) Long-pulsed ruby laser hair removal. *Laser Surg Med [Suppl]* 9:197
- Einstein A (1917) Zur Quantentheorie der Strahlung. *Physical Z* 18:121–128
- Finkel B, Eliezi YD, Waldman A, Slatkine M (1997) Pulsed alexandrite laser technology for noninvasive hair removal. *J Clin Laser Med Surg* 15:225–229
- Fitzpatrick RE, Goldman MP, Ruiz-Esparza J (1993) The use of the alexandrite laser (755 nm, 100 nsec) for tattoo pigment removal in an animal model. *J Am Acad Dermatol* 28:745–750
- Fitzpatrick RE, Goldman MP, Satur NM, Tope WD (1996) Pulsed carbon dioxide laser resurfacing of photoaged facial skin. *Arch Dermatol* 132:395–402
- Geusic JE, Marcos HM, Van Uitert LG (1964) Laser oscillations in Nd-doped yttrium aluminium, yttrium gallium and gadolinium garnets. *Applied Physics Letters* 4:182
- Gilchrest BA, Rosen S, Noe JM (1982) Chilling port wine stains improves the response to argon laser therapy. *Plast Reconstr Surg* 69:278–283
- Goldman L (1983) Historical perspective: personal reflections. In: Arndt KA, Noe JM, Rosen S (eds) *Cutaneous laser therapy: principles and methods*. John Wiley and Sons Ltd, pp 3–9
- Goldman L, Blaney DJ, Kindel DJ Jr et al. (1963) Pathology of the effect of the laser beam on the skin. *Nature* 197:912–914
- Goldman L, Blaney DJ, Kindel DJ Jr, Franke EK (1963) Effect of the laser beam on the skin. *J Invest Dermatol* 40:121–123
- Goldman L, Igelman JM, Richfield DF (1964) Impact of the laser on nevi and melanomas. *Arch Dermatol* 90:71–75
- Goldman L, Rockwell J, Meyer R et al. (1967) Laser treatment of tattoos: a preliminary survey of three years' clinical experience. *JAMA* 20:841–844
- Goldman L, Wilson R, Hornby P (1965) Radiation from a Q-switched ruby laser: effect of repeated impacts of power output of 10 megawatts on a tattoo of man. *J Invest Dermatol* 44:69–71
- Gordon JP, Zeiger HJ, Townes CH (1955) The MASER—New type of amplifier, frequency standard and spectrometer. *Physiol Rev* 99:1264–1274
- Greenwald J, Rosen S, Anderson RR et al. (1981) Comparative histological studies of the tunable dye (at 577 nm) laser and argon laser: The specific vascular effects of the dye laser. *J Invest Dermatol* 77:305–310
- Grema H, Raulin C, Greve B (2002) „Skin rejuvenation“ durch nichtablativ Laser- und Lichtsysteme. *Hautarzt* 53:385–392
- Hall RN, Fenner GE, Kingsley JD et al. (1962) Coherent light emission from GaAs junctions. *Physical Rev Letters* 9:366
- Hecht J (1992) *Laser pioneers*. Academic Press, Boston San Diego New York London Sydney Tokyo Toronto
- Hellwig S, Petzoldt D, König K, Raulin C (1998) Aktueller Stand der Lasertherapie in der Dermatologie. *Hautarzt* 49:690–704
- Itzkan I, Drake EH (1997) History of laser medicine. In: Arndt KA, Dover JS, Olbricht SM (eds) *Lasers in cutaneous and aesthetic surgery*. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, pp 3–10
- Javan A, Bennett WR Jr, Herriott DR (1961) Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a He-Ne mixture. *Phys Rev* 6:106
- Jalkh AE, Pflibsen K, Pomerantzeff O et al. (1988) A new solid-state, frequency-doubled neodymium-YAG photocoagulation system. *Arch Ophthalmol* 106:847–849
- Johnson LF, Nassau K (1961) Infrared fluorescence and stimulated emission of Nd<sup>3+</sup> in CaWO<sub>4</sub>. *Proceedings IRE* 49:1704
- Kaufmann R, Hibst R (1989) Pulsed Erb:YAG and 308 nm UV-excimer laser: in vitro and in vivo study of skin-ablative effects. *Lasers Surg Med* 9:132–140
- Landthaler M, Haina D, Waidelich W et al. (1984) Argon laser therapy of verrucous nevi. *Plast Reconstr Surg* 74:108–113
- Loe E, Biltz H, Koort J et al. (1990) Possible advantages of Excimer lasers in dermatology: an in vitro comparison of ArF and XeCl Excimer, Ar<sup>+</sup> and Nd:YAG lasers. *Z Hautkr* 65:556–561
- Maiman TH (1960) Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 187:493–494
- McBurney EI (1978) Carbon dioxide laser surgery of dermatologic lesions. *South Med J* 71:795–797
- McClung RJ, Hellwarth RW (1962) Giant optical pulsations from ruby. *J Applied Physics* 33:828
- Patel CK, McFarlane RA, Faust WL (1964) Selective excitation through vibrational energy transfer and optical maser action in N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>. *Physiol Rev* 13:617–619
- Peterson OG, Tuccio SA, Snively BB (1970) CW operation of an organic dye solution laser. *Applied Physics Letters* 17:245
- Raulin C, Greve B (im Druck) *Laser und IPL-Technologie in der Dermatologie und Ästhetischen Medizin*, 2. Aufl. Schattauer, Stuttgart New York
- Raulin C, Greve B, Raulin S (2001) Ethical considerations concerning laser medicine. *Lasers Surg Med* 28:100–101
- Schäfer FP, Schmidt W, Volze J (1966) Organic dye solution laser. *Applied Physics Letters* 9:306
- Schawlow AL, Townes CH (1958) Infrared and optical masers. *Phys Rev* 112:1940–1949
- Scheibner A, Wheeland RG (1989) Argon-pumped tunable dye laser therapy for facial port-wine stain hemangiomas in adults – a new technique using small spot size and minimal power. *J Dermatol Surg Oncol* 15:277–282
- Solomon H, Goldman L, Henderson B et al. (1968) Histopathology of the laser treatment of port wine lesions. *J Invest Dermatol* 50:141–146
- Sorokin PP, Lankard JR (1966) Stimulated emission observed from an organic dye, chloroaluminum phthalocyanine. *IBM J Res Develop* 10:162
- Sorokin PP, Lankard JR (1967) Flashlamp excitation of organic dye lasers – a short communication. *IBM J Res Develop* 11:148
- Stempel H, Klein G (1983) Über einen neuen Ansatz in der Laser-Therapie des Naevus flammeus. *Z Hautkr* 58:967–974
- Taboada J, Mikesell GW Jr, Reed RD (1981) Response of the corneal epithelium to KrF excimer laser pulses. *Health Phys* 40:677–683
- Tan OT, Murray S, Kurban AK (1989) Action spectrum of vascular specific injury using pulsed irradiation. *J Invest Dermatol* 92:868–871
- Trokel SL, Srinivasan R, Braren B (1983) Excimer laser surgery of the cornea. *Am J Ophthalmol* 96:710–715
- White AD, Rigden JD (1962) Continuous gas maser operation in the visible. *Proc IRE* 50:1697
- Williams RM, Gladstone HB, Moy RL (1999) Hair removal using an 810 nm gallium aluminum arsenide semiconductor diode laser: a preliminary study. *Dermatol Surg* 25:935–937
- Yahr WZ, Strully KJ (1966) Blood vessel anastomosis by laser and other biomedical applications. *J Assoc Adv Med Instr* 1:28–31
- Zweng HC, Flocks M (1967) Retinal laser photocoagulation. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 71:39–45