

**Lutz E. Pillunat, Andreas G. Böhm, Frederick Raiskup-Wolf,
Eckart Schmidt, Jana Schreiber und Eberhard Spörl**

Laseranwendung in der Augenheilkunde

1 Lasertypen in der Augenheilkunde und ihre Anwendungen

Licht spielte für die Augenheilkunde schon immer eine besondere Rolle. Deshalb waren auch die Augenärzte an der vordersten Front bei der medizinischen Nutzbarmachung von neuen Lasertechnologien seit dem ersten Laser im Jahr 1960. Die Laserstrahlung unterscheidet sich von der Strahlung herkömmlicher Lichtquellen durch vier besondere Merkmale:

- Laserstrahlung ist kohärent, d. h., alle Wellenzüge sind exakt in Phase sowohl in der Zeit als auch im Raum. Die Kohärenz ist Voraussetzung für alle Interferenzphänomene.
- Die Strahlung ist stark kollimiert, d. h., das Strahlenbündel ist fast parallel und besitzt nur eine geringe Divergenz.
- Laserstrahlung ist extrem monochromatisch, d. h., alle Wellenzüge haben die gleiche Wellenlänge, Frequenz und Energie.
- Mit dem Laser lassen sich ultrakurze Pulse und damit sehr hohe Strahlungsleistungen auf kleinster Fläche (punktgenau) konzentrieren, die für nichtlineare optische Phänomene notwendig sind.

Diese Eigenschaften werden bei den verschiedenen Anwendungen in der Augenheilkunde mit grundlegenden physikalischen Prinzipien wie Scann-Verfahren, Interferometrie oder konfokalem Prinzip

kombiniert. In der *Diagnostik* steht nicht die Energie des Lasers im Vordergrund, sondern die Strahleigenschaften der Kohärenz und Parallelität. Neben der chirurgischen Anwendung des Lasers, beispielsweise zum Ausgleich von Fehlsichtigkeiten, werden Laser ebenso therapeutisch – z. B. zur Verbesserung des Gewebestoffwechsels bei diabetischen Netzhautveränderungen – eingesetzt.

2 Diagnostischer Einsatz von Lasern in der Augenheilkunde

Alle transparenten Gewebe des Auges eignen sich prinzipiell zur diagnostischen Laseranwendung. Diese konzentriert sich hauptsächlich auf den Augenhintergrund, speziell die Netzhaut und den Sehnervenkopf. Die dabei zugrunde liegenden Prinzipien sind sehr unterschiedlich.

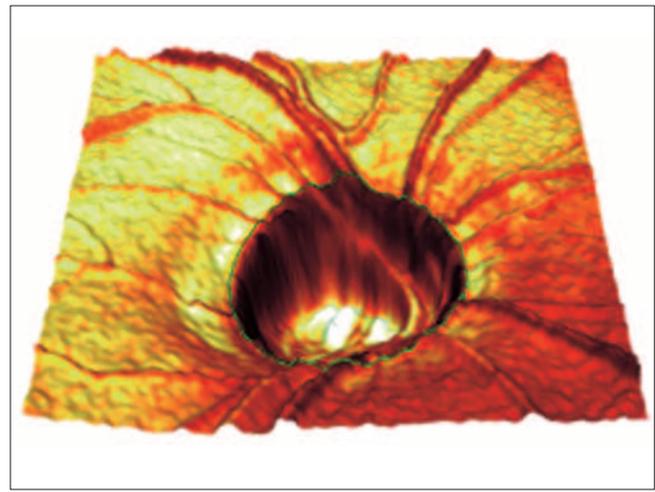
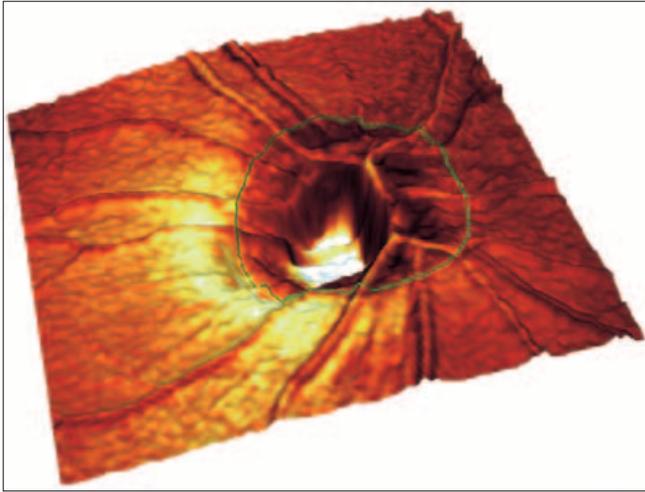
Ein ausgesprochen populäres Verfahren zur Darstellung des Sehnervenkopfes ist die konfokale Laser-Scanning-Mikroskopie (Heidelberg Retina Tomograph/HRT, Heidelberg Engineering). Sie wird fast ausschließlich zur Diagnostik bei Glaukom, d. h. dem grünen Star verwendet. Die konfokale Laseroptik (670 nm) in Kombination mit einem Scanner erzeugt Schnittbilder einer etwa 4,5 mm x 4,5 mm großen Region des Augenhintergrundes mit dem Sehnervenkopf als Zentrum. Aus diesen Schnittbildern wird eine dreidimensionale Rekonstruktion des Sehnervenkopfes errechnet (Bilder 1 und 2). An dieser können dann verschiedene Flächen und Volumina, die für die Glaukomdiagnostik wichtig sind, bis in den Mikrometerbereich genau gemessen wer-

Die Augenheilkunde stellt eine der medizinischen Fachdisziplinen dar, die Laserstrahlung schon sehr früh einsetzten und heute bei verschiedenen Erkrankungen anwenden.

Zur Diagnostik und Therapie der Glaukome, bei Netzhauterkrankungen, aber auch zur Behandlung von Fehlsichtigkeiten werden verschiedene Lasertypen erfolgreich eingesetzt.

Ophthalmology represents a medical field where laser technology was established very early and where lasers are nowadays frequently used.

In the diagnosis and treatment of glaucoma, for treatment of retinal disorders as well as for refractive surgery different types of lasers are used.



Bilder 1 und 2. 3-D-Rekonstruktion eines gesunden (links) und eines glaukomatösen (rechts) Sehnervenkopfes. Der glaukomatöse Sehnervenkopf erscheint viel stärker ausgehöhlt als der gesunde.

den. Beim Glaukom kommt es im Krankheitsverlauf zum Untergang von Nervenfasern, die mit diesen Verfahren sehr genau und reproduzierbar erfasst werden können (Bild 3).

Ein anderes Verfahren in der Glaukomdiagnostik – die Polarimetrie – ist in der Lage, die Dicke der Nervenfaserschicht der Netzhaut abzubilden. Die Nervenfaserschicht bildet im weiteren Verlauf die Fasern des Sehnervs. Veränderungen der Nervenfaserschicht der Netzhaut sind die frühesten Veränderungen, die beim Glaukom erkennbar sind. Verringern sich im Verlauf des Glaukoms die Fasern des Sehnervs kontinuierlich weiter, so schwindet auch die Dicke der Nervenfaserschicht der Netzhaut. Bei der Polarimetrie (GDxVCC, Zeiss) wird Laserlicht mit einem wohldefinierten Polarisationszustand ins Auge eingebracht und vom Augenhintergrund nach Durchtritt durch die Nervenfaserschicht in einen Detektor zurück reflektiert.

Die Altersassoziierte Makuladegeneration ist die häufigste Erblindungsursache in westlichen Industrienationen. Mit

Hilfe der optischen Kohärenztomografie (OCT) können sehr präzise Schnittbilder der Netzhaut und vor allem der Makula („Punkt des schärfsten Sehens“ oder auch Gelber Fleck) gemacht werden. Eine ganze Reihe eindimensionaler Punktmessungen (A-Scan) werden dann zu einem zweidimensionalen Schnittbild zusammengesetzt (B-Scan). Die resultierenden Bilder sind denen der Ultraschalluntersuchung sehr ähnlich, nur von deutlich höherer Präzision (Bilder 4 und 5).

3 Laser in der refraktiven Chirurgie

Der Aufbau des Auges ist gut mit dem einer Fotokamera vergleichbar. Die Hornhaut wirkt wie eine gläserne Linse und entspricht der vordersten Linse des Kameraobjektivs, die Pupille der Blende der Fotokamera, und die Linse des Auges entspricht den übrigen gläsernen Linsen, die in einem Kameraobjektiv eingebaut sind. Die Netzhaut schließlich ist mit dem Film in einer Fotokamera vergleichbar. Das Zusammenspiel von Hornhaut, Pupille und Linse erzeugt ein scharfes Bild der Umwelt auf der Netzhaut, so wie beim Fotoapparat durch das Objektiv ein scharfes Bild der Umwelt auf dem Film erzeugt wird. Beim Fotoapparat muss vor jeder Aufnahme das Bild durch Drehen am Objektiv scharf gestellt werden (moderne Kameras verfügen über einen sogenannten „Autofokus“, d. h., die Schärferegulierung erfolgt automatisch). Beim normalen Auge erfolgt diese Regelung der Schärfe durch eine automatische Verformung der Augenlinse. Ein normales Auge sieht in der Ferne immer scharf. Beim Blick in die Nähe, zum Beispiel zum Lesen, verformt sich nun automatisch die Augenlinse, sodass auch in der Nähe scharf gesehen werden kann (Akkommodation). Diese Fähigkeit der Augenlinse lässt im Alter nach (ca. ab dem 40. Lebensjahr).

3.1 Fehlsichtigkeiten

Sind nun die einzelnen Komponenten des Auges nicht exakt aufeinander abgestimmt, spricht man von Fehlsichtigkeit. Unter diesem Begriff werden die Kurzsichtigkeit (Myopie), die Weitsichtigkeit (Hyperopie) und die Stabsichtigkeit (Astigmatismus) zusammengefasst.

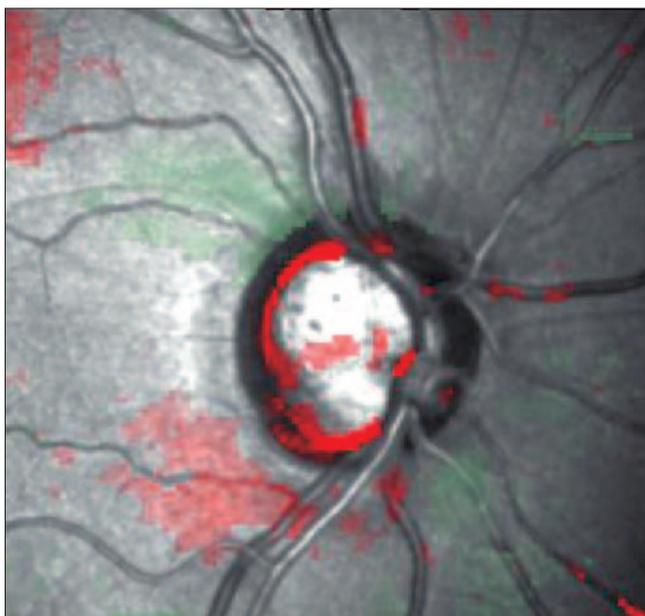
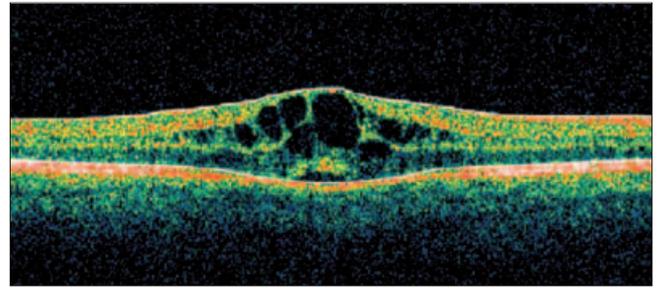
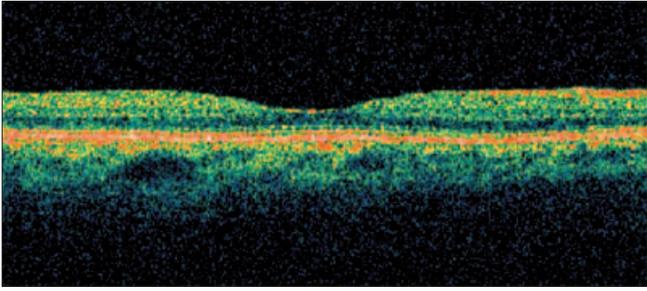


Bild 3. Farbkodierte Darstellung der Formveränderungen eines glaukomatösen Sehnervenkopfes. Der Gewebsverlust ist rot dargestellt.



Bilder 4 und 5. Schnittbilder (OCT) durch die Stelle des schärfsten Sehens (Makula) der Netzhaut. Die gesunde Netzhaut in dieser Region ist flach (links) und bei einem Ödem (Flüssigkeitseinlagerung) deutlich verdickt und aufgequollen (rechts). Der obere, dunkle Bildteil entspricht dem das Auge ausfüllenden Glaskörper.

Bei einem *kurzsichtigen* Auge ist die Brechkraft der Hornhaut zu hoch – die Lichtstrahlen werden bereits vor der Netzhaut gebündelt, auf der Netzhaut entsteht also nur ein unscharfes Bild. Andererseits kann der Kurzsichtige in geringer Entfernung einwandfrei scharf sehen, da die von nahen Objekten ausgehenden Lichtstrahlen auf der Netzhaut gebündelt werden.

Bei einem *weitsichtigen* Auge ist die Brechkraft der Hornhaut bzw. des Auges zu gering, oder das Auge ist zu kurz. Die Lichtstrahlen werden daher erst hinter der Netzhaut gebündelt – auf der Netzhaut entsteht nur ein unscharfes Bild der Umwelt. Bei weitsichtigen Menschen wird ein Teil der Verformungsfähigkeit der Linse bereits für den Blick in die Ferne benötigt. Zum Lesen steht dabei nur ein geringerer Teil zur Verfügung. Da mit zunehmendem Alter die Verformungsfähigkeit der Augenlinse nachlässt, benötigen Weitsichtige früher eine Lesebrille als Normalsichtige. Im hohen Alter wird zusätzlich eine Brille für die Ferne erforderlich, wenn die Verformungsfähigkeit der Augenlinse so stark nachgelassen hat, dass auch kein scharfes Bild für die Ferne mehr erzeugt werden kann.

Zusätzlich zur Kurzsichtigkeit oder Weitsichtigkeit besteht häufig ein sogenannter *Astigmatismus* (Stabsichtigkeit). Ein Astigmatismus entsteht durch eine ungleichmäßige Krümmung der Hornhautoberfläche. Die normale Hornhaut ist wie die Linse einer Fotokamera halbkugelförmig. Dadurch können sowohl senkrechte als auch waagerechte Linien scharf abgebildet werden, eine punktförmige Lichtquelle wird auch als heller Punkt abgebildet. Ist die Hornhaut statt halbkugelförmig elliptisch geformt, wird das Bild verzerrt. Ein Punkt wird beispielsweise nicht als Punkt, sondern als kleiner Strich abgebildet.

3.2 Möglichkeiten zur Korrektur der Fehlsichtigkeit mit dem Laser

Am weitesten verbreitet ist die Korrektur von Fehlsichtigkeiten mittels einer Brille. Außer der Tatsache, dass man darauf angewiesen ist, hat eine Brille bei geringer und mittlerer Fehlsichtigkeit praktisch keine Nachteile. Kontaktlinsen bieten ebenfalls eine gute Korrektur und werden von den meisten Menschen getragen. Bei weichen Kontaktlinsen und vor allem bei mangelhafter Pflege der Kontaktlinsen kann es in einigen Fällen zu Hornhautentzündungen und Infektionen kommen oder zum Einwachsen von Blutgefäßen in die Hornhaut. In der Regel sind diese Nebenwirkungen jedoch sehr selten.

Sollte ein Patient aus persönlichen Gründen nicht optimal mit Brille oder Kontaktlinsen zurechtkommen, so kann ihm durch einen refraktiv-chirurgischen Eingriff eine entschei-

dende Verbesserung seiner Sehschärfe und damit auch seiner Lebensqualität ermöglicht werden. Brillen und Kontaktlinsen gleichen eine Fehlsichtigkeit vorübergehend aus, indem sie die Brechkraft des Auges durch Vorschalten des entsprechenden Korrekturwertes verringern oder erhöhen. Die refraktive Chirurgie bewirkt im Gegensatz hierzu eine dauerhafte Korrektur der Fehlsichtigkeit, indem sie die Brechkraft des Auges um einen bestimmten Betrag verändert.

„*Refraktive Chirurgie*“ stellt den Oberbegriff für alle Operationen dar, die die Brechkraft des Auges ändern und damit eine Fehlsichtigkeit ausgleichen. Die Verfahren, die mittels eines Excimer-Lasers eine Fehlsichtigkeit korrigieren können, sind:

- photorefraktive Keratektomie (PRK)
- Laser-Epithelial-Keratomileusis-Verfahren (LASEK) und
- Laser in-situ Keratomileusis (LASIK).

Excimer-Laser (Abkürzung für „Excited Dimer“) werden zum oberflächlichen Abtragen von Gewebe benutzt, das direkt von einem festen in einen gasförmigen Zustand gebracht wird. Der Excimer-Laser ist ein Kaltlichtlaser im unsichtbaren Ultraviolett Spektrum, der bei entsprechender Steuerung und Berechnung nur wenige tausendstel Millimeter in das Hornhautgewebe eindringt und dieses abträgt. Mit dem computergesteuerten Laserstrahl des Excimer-Lasers kann die Hornhautkrümmung eines kurzsichtigen Auges so verändert werden, dass eine natürliche Zerstreuungslinse geformt wird und sich im Idealfall die Lichtstrahlen anschließend auf der Netzhaut vereinigen. Das Zentrum der Hornhaut ist ca. 0,5 mm dick, ihr Rand ca. 1 mm.

Beim *PRK-Verfahren* wird das Epithel – die oberste Deckschicht der Hornhaut – entfernt. Mittels des Lasers werden etwa 15 µm pro zu korrigierender Dioptrie von der zentralen Hornhaut abgetragen, um die Fehlsichtigkeit auszugleichen. Bei geringer und mittlerer Kurzsichtigkeit (bis ca. –6 Dioptrien) liefert die PRK-Methode gute Ergebnisse mit Erfolgsraten von über 90 %, d. h., ein Jahr nach der Operation weichen über 90 % der Patienten um maximal eine Dioptrie vom angestrebten Ziel ab.

Bei der *LASEK* verdampft der Excimer-Laser – wie bei der PRK-Methode – das Gewebe nicht im Inneren der Hornhaut, sondern an der Oberfläche. Das Epithel der Hornhaut wird hierbei nicht vollständig entfernt. Es wird mit einem Spezialspatel beiseite geschoben. Der Excimer-Laser trägt die berechnete Gewebemenge von der Hornhaut ab. Dieses Verfahren kann bei Kurzsichtigkeit bis –6 Dioptrien und Stabsichtigkeit bis –3 Dioptrien angewendet werden.

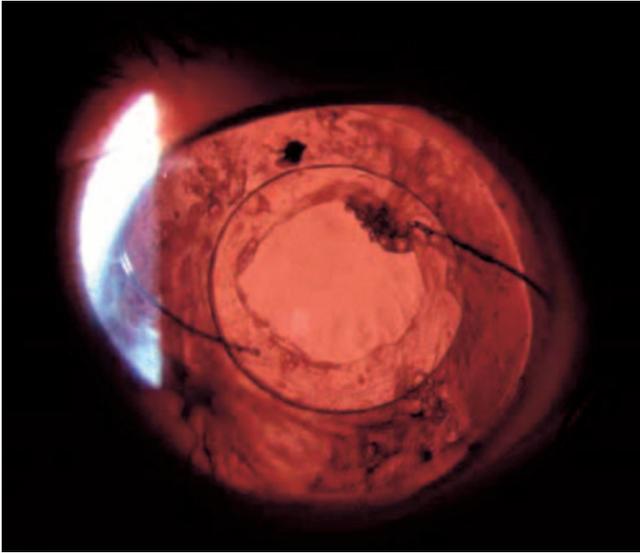


Bild 6. Ein mit dem Nd:YAG-Laser durchtrennter Nachstar (erneute Eintrübung der Linse nach einer Kataraktoperation)

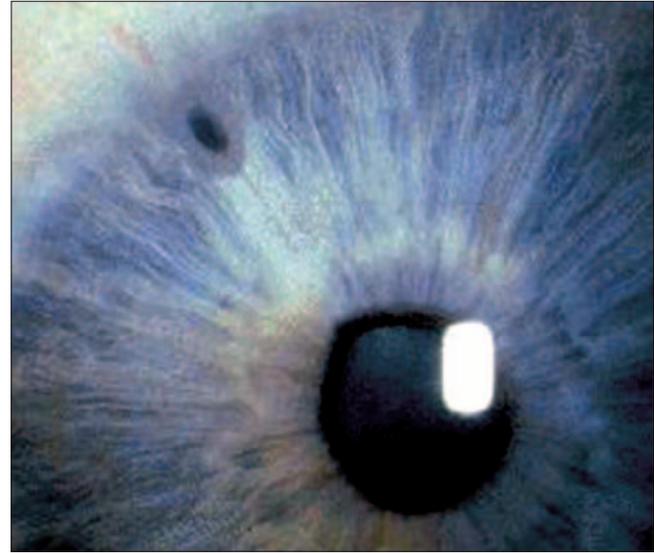


Bild 7. Iridotomie (Loch in der Regenbogenhaut) zur Durchbrechung eines „Glaukomanfalls“

Die *LASIK* wird seit 1993 praktiziert. Bei dieser Methode wird nicht auf der Oberfläche der Hornhaut Gewebe entfernt, sondern im Inneren der Hornhaut. Um an das Innere der Hornhaut zu gelangen, wird zunächst mit einem automatisch gesteuerten Mikrokeratom ein dünnes Scheibchen der Hornhaut (Flap) teilweise abgetrennt und wie ein Deckel nach oben geklappt. Das Innere der Hornhaut wird wie bei der PRK mit dem Excimer-Laser bearbeitet. Danach wird der Flap wieder zurückgeklappt und angedrückt. Er saugt sich von selbst fest und muss nicht angenäht werden. Der Patient darf jedoch einige Tage lang das Auge nicht reiben und muss über Nacht einen Verband tragen. Der Vorteil der LASIK besteht darin, dass die Oberfläche der Hornhaut nicht zerstört wird. Daher ist die Narbenbildung nach der LASIK geringer als nach der PRK, und der Patient hat nach der Operation keine Schmerzen. Die Hornhautoberfläche ist mit der Haut vergleichbar: Eine große Abschürfung der Haut ist wesentlich schmerzhafter und hinterlässt eine größere Narbe als eine kleine Schnittwunde. Derzeit wird die LASIK zur Korrektur der Kurzsichtigkeit bis -10 Dioptrien sowie der Weitsichtigkeit bis ca. $+6$ Dioptrien und der Hornhautkrümmung (Astigmatismus) eingesetzt.

Wenn sich ein Patient nach entsprechend eingehender Beratung und Information für eine Laseroperation entschieden hat, erfolgt eine umfangreiche Untersuchung seiner Augen. Neben der genauen Bestimmung des Brechwertes wird mit Hilfe eines Computers ein exaktes Oberflächenbild (Topografie) seiner Hornhaut aufgezeichnet. Daher müssen Kontaktlinsenträger vor der Operation eine Tragepause von einigen Tagen bis Wochen einlegen. Unter Berücksichtigung dieser Daten erfolgt ambulant die Korrektur mit dem Excimer-Laser, der vor jeder Behandlung einer genauen Funktionsprüfung unterzogen wird. Der kurze Eingriff ist nach vorheriger Verabreichung betäubender Augentropfen völlig schmerzfrei. In der Regel sind Heilungsprozesse auf einige Wochen beschränkt. Die Sehfunktionen stabilisieren sich dann im Laufe von 6 Wochen (bei LASIK) oder 3 bis 6 Monaten (bei PRK) nach der Operation, sodass die bisher getragenen Gläser nicht mehr gebraucht werden und man in vielen Fällen sogar ganz auf die Brille verzichten kann. Grundsätzlich gilt, dass die Chance, nach der Operation keine Fernbrille mehr zu benötigen, umso größer ist, je geringer die Fehlsichtigkeit vor der Operation war. Völlige

Unabhängigkeit von einer Fernbrille kann somit nicht garantiert werden, die Brillenstärke ist jedoch in jedem Fall wesentlich geringer als vor dem Eingriff. Es ist wichtig für jeden Patienten zu beachten, dass die refraktive Chirurgie eine Operation an einem gesunden Auge darstellt und das Ziel jedes refraktiv-chirurgischen Eingriffs rein funktionell ist – er stellt eine Alternative zur Brille oder Kontaktlinse dar – und die morphologischen Auswirkungen der Fehlsichtigkeit nicht verhindert.

Weltweit haben sich bisher Hunderttausende Patienten einer Excimer-Laser-Operation unterzogen – in der weitaus überwiegenden Zahl der Fälle ohne Komplikationen. Sollte ein refraktiver Eingriff gewählt werden, so sind alle Vor- und Nachteile sorgfältig abzuwägen. Jeder Interessent sollte wissen, dass schwere Nebenwirkungen nach einer Excimer-Laser-Behandlung der Hornhaut zwar nicht wahrscheinlich sind ($< 1\%$), jedoch nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden können. Die zufriedensten Patienten sind die Patienten, die realistische Erwartungen und ein umfassendes Verständnis der möglichen Nebenwirkungen haben.

4 Einsatz von Lasern in der Vorderabschnittschirurgie

Die am häufigsten in der Medizin durchgeführte Operation ist die Kataraktoperation¹. Im Rahmen dieser Operation wird mittels Ultraschall die Linse verflüssigt und abgesaugt sowie eine Kunstlinse in das Auge eingesetzt. Hierbei wird die Kunstlinse in die alte Hülle, den sogenannten Kapselsack, der Linse eingeklemmt und bleibt so an der Stelle, wo sie benötigt wird, um eine scharfe Abbildung auf der Netzhaut des Auges zu ermöglichen. Nach der Operation kann es zu einer Eintrübung des Kapselsacks kommen und dadurch zu einer erneuten Sehverschlechterung. Mittels des sogenannten YAG-Lasers kann man ein Loch in den hinteren Teil der Kapsel schießen. Hierzu wird der Zielstrahl des Lasers auf die hintere Kapsel fokussiert. Die Energie wird langsam gesteigert, bis ausreichend Energie vorhanden ist, um ein Loch in die Kapsel zu reißen. In der Regel sind

¹ Katarakt oder Grauer Star bezeichnet eine Trübung der Augenlinse. Hauptsymptom ist ein langsamer Sehverlust.

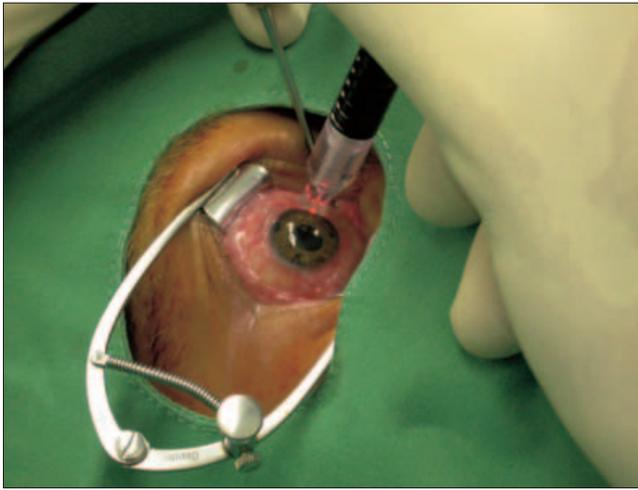


Bild 8. Verödung des Strahlenkörpers mit der Zyklphotokoagulation

Energieeinstellungen von ca. 1 mJ pro Puls erforderlich, in seltenen Fällen bis 2,5 mJ pro Puls. Bei der Durchführung dieser Laserbehandlung muss zunächst das Auge mit Betäubungstropfen oberflächlich betäubt werden, dann wird ein spezielles Kontaktglas eingesetzt. Bei dieser Laserkapsulotomie ist das Wichtigste, die Kunstlinse nicht zu beschädigen.

5 Einsatz von Lasern in der Glaukomchirurgie

Bei einem sogenannten Winkelblockglaukom oder „Glaukomanfall“ kommt es zu einer Abflussstörung des Kammerwassers aus dem Auge. Zeichen dafür sind starke Schmerzen, Verschwommensehen und Übelkeit. Ursache dieses Anfalls ist, dass das Kammerwasser, welches in der Hinterkammer des Auges produziert wird, nicht mehr von hinten durch die Pupille in die Vorderkammer und damit in den Bereich der Abflusswege fließen kann. Ursache für das akute Winkelblockglaukom ist also der fehlende Druckausgleich zwischen Hinter- und Vorderkammer des Auges. Aus diesem Grund kann eine künstlich angelegte Verbindung von Hinter- und Vorderkammer das akute Winkelblockglaukom verhindern und den „Anfall“ durchbrechen. In der Regel wird diese künstliche Verbindung – die „Iridotomie“ – mit einem YAG-Laser durchgeführt (Bilder 6 und 7).

Eine weitere Anwendung des Lasers in der Glaukomchirurgie ist die sogenannte Zyklphotokoagulation. Diese Operation wird in der Regel bei einem primär chronischen Offenwinkelglaukom² oder auch bei sekundärem Offenwinkelglaukom³ durchgeführt, wenn eine Senkung des Augeninnendrucks mit Augentropfen nicht mehr ausreichend ist. Bei der Zyklphotokoagulation wird mit einem Laserstrahl der sogenannte Ziliarkörper (Strahlenkörper), in dem die Flüssigkeit des Auges produziert wird, verödet. Durch die Reduktion des Drüsengewebes kommt es zu einer geringeren Kammerwasserproduktion und somit zu einer Senkung des Augeninnendrucks (Bild 8).

Manuskripteingang: 6.2.2008
Angenommen am: 21.4.2008

² Steigerung des Augeninnendrucks ohne dass eine weitere Augenerkrankung vorliegt.

³ Gesteigerter Augeninnendruck infolge einer anderen Augenerkrankung.



Pillunat, Lutz E.

Prof. Dr. med. habil.

Studium Humanmedizin und Psychologie von 1977 bis 1983 an der Universität Düsseldorf ♦ 1984 Promotion zum Dr. med. ♦ 1989 Habilitation zum Dr. med. habil. ♦ seit 2001 Professor für Augenheilkunde und Direktor der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden



Böhm, Andreas G.

PD Dr. med. habil.

Studium Humanmedizin von 1989 bis 1995 ♦ 1995 Promotion zum Dr. med. ♦ 2006 Habilitation zum PD Dr. med. habil. ♦ seit 2001 Mitarbeiter an der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden



Raiskup-Wolf, Frederick

Dr. med.

Studium Humanmedizin von 1989 bis 1995 an der Comenius-Universität Bratislava/Slowakei ♦ 1995 Promotion zum Dr. med. ♦ Mitarbeiter an der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden



Schmidt, Eckart

Dr. med.

Studium Humanmedizin von 1995 bis 2001 an der Universität Heidelberg ♦ 2006 Promotion zum Dr. med. ♦ seit 2003 Mitarbeiter an der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden



Schreiber, Jana

Dr. med.

Studium Humanmedizin von 1987 bis 1993 an der Medizinischen Akademie Dresden ♦ 2003 Promotion zum Dr. med. ♦ Mitarbeiterin an der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden



Spörl, Eberhard

apl. Prof. Dr. rer. nat. habil.

Studium Physik von 1973 bis 1978 an der TU Dresden ♦ 1981 Promotion zum Dr. rer. nat. ♦ 1989 Habilitation zum Dr. rer. nat. habil. ♦ seit 1980 Mitarbeiter an der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden