

## 7 Refraktive Hornhautchirurgie

### 7.1 Refraktive Hornhautchirurgie mit dem Excimerlaser

#### 7.1.1 LASIK mit dem Keratom

G.I.W. Duncker

Die ungefähre Anzahl an LASIK-Operationen pro Jahr in Deutschland bei einer Bevölkerungszahl von 81,7 Millionen Menschen rangiert zwischen 70.000 und 125.000; numerisch exakte und vollständige Erfassungen der LASIK-Eingriffe sind bisher nicht verfügbar. Es wird von einem Anstieg von ungefähr 3% pro Jahr ausgegangen. Obwohl in der Patientennachfrage und in der Kongresspräsenz eine klare Tendenz zur Femto-LASIK besteht, werden nach wie vor etwa 70% der LASIK-Eingriffe mit Mikrokeratomen durchgeführt.

Die populärsten Mikrokeratome in absteigender Reihenfolge sind nach wie vor Hansatom XP, Amadeus, Moria und Pendular. Es ist zu vermuten, dass die Mikrokeratom-LASIK auch weiterhin einen hohen Prozentsatz der LASIK-Eingriffe ausmacht, im Wesentlichen wegen der erheblich höheren Anschaffungskosten eines Femtosekundenlasers, wegen der größeren Schnittvariabilität und der unkomplizierten Hinge-Positionierung, der kürzeren Ansaugzeit mit geringerem Risiko für die Induktion eines ischämischen Optikusschadens, aber auch wegen der geringeren Unterhaltungskosten, der leichteren Wiedereröffnung des Flaps zur Nachbehandlung und den mit dem Femtosekundenlaser geführten Eingriffen vergleichbaren Schnittqualitäten.

Sichere Indikationen für eine Mikrokeratom-LASIK sind:

- Myopien bis 8 Dioptrien,
- Hyperopien bis 3 Dioptrien,
- Astigmatismen bis ebenfalls 3 Dioptrien.

Für die Durchführung einer Mikrokeratom-LASIK sollte die Gesamthornhautdicke mindestens 500 µm betragen, nach Laserablation sollte das Reststroma mindestens 250 µm, besser 270–300 µm betragen, um ggf. eine ergänzende zusätzliche Laserablation (retreatment) durchführen zu können.

Grundsätzlich sollten ektatische Hornhauterkrankungen (Keratokonus, pellucidale marginale Hornhautdegeneration, PMCD) per Hornhauttopografie, aber auch entzündliche Hornhauterkrankungen wie Herpeskeratitiden oder Hornhautveränderungen im Rahmen einer rheumatoïden Arthritis oder einer Neurodermitis ausgeschlossen sein. Epitheliale Basalmembrandystrophien wie die Map-Dot-Fingerprint-Dystrophie neigen zu großflächigen Erosionen und sind daher keine guten Kandidaten für eine Mikrokeratom-LASIK, wohl aber für eine Oberflächenbehandlung (PRK/PTK). Auch stromale – granuläre oder gittrige – Hornhautdystrophien mit meist irregulären

Astigmatismen sollten nicht für eine LASIK-Behandlung vorgesehen werden. Ein Mindestalter von 18 Jahren sollte eingehalten werden.

#### Hintergrund

##### Absolute und relative Kontraindikationen zur Mikrokeratom-LASIK

- ektatische Hornhauterkrankungen
- entzündliche Hornhauterkrankungen
- Hornhautveränderungen im Rahmen einer rheumatoïden Arthritis oder Neurodermitis
- epitheliale Basalmembrandystrophien
- stromale Hornhauterkrankungen
- Alter < 18 Jahre

Mikrokeratome sind mechanische Schnittinstrumente, die es, vergleichbar einem Käsehobel, ermöglichen, oberflächliche, mindestens 100 µm dicke Hornhautscheiben so zu schneiden, dass die kreisförmige Schnittlamelle mit einer intakten Gewebsbrücke (Hinge) mit der Hornhaut verbunden bleibt. Dieses Scharnier ermöglicht es dann, den Hornhaut-Flap aufzuklappen und die eigentliche Laserablation entsprechend der gewünschten refraktiven Korrektur durchzuführen. Anschließend wird der Flap wieder zugeklappt und unter Zuhilfenahme einer eingangs gesetzten Strichmarkierung readaptiert.

Die ersten linear über die Hornhaut geführten Mikrokeratome wurden von Barraquer bereits in den 60er-Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt, um oberflächenparallele Hornhautscheiben zu entnehmen, die dann zur refraktiven Korrektur in gefrorenem Zustand weiterbearbeitet wurden. Das Prinzip dieser Mikrokeratome besteht unverändert in der stabilen Ansaugung der Hornhaut mit einem metallischen Saugring, in den eine Führungsschiene eingearbeitet ist, in der das Mikrokeratom mit konstantem Klingenabstand über die Hornhaut gefahren wird. Manuell betriebene Mikrokeratome wurden schnell durch motorisierte Varianten abgelöst. Bei den aktuellen Mikrokeratomvarianten gilt es, eine Vielzahl von Geräteeigenschaften zu beurteilen, um das individuell vorteilhafteste Keratom zu bestimmen.

Das Mikrokeratom wird durch einen elektrischen Motor vor- und zurückbewegt und auch die gleichmäßige Klingenoszillation wird durch einen Motor gewährleistet. Diese Motoren können unabhängig voneinander funktionieren oder auch gekoppelt sein.

#### Merke

Ein kardinaler Gesichtspunkt bei der Beurteilung eines Mikrokeratoms ist die Ansaugung und Stabilität der Fixation.

Jeder intraoperative Sogverlust führt zu Schnittfehlern, die dann deletäre Auswirkungen haben können, wenn trotz des Fehlschnitts die geplante Laserablation vorgenommen wird. Dies kann dann zur Ausbildung oberflächlicher Narben der Hornhaut führen mit Visusbeeinträchtigung. Das Vakuum sollte durch die gesamte Zirkumferenz des Ansaugrings aufrechterhalten werden, was auch an der Geometrie und Anzahl der Perforationen an der Innenseite des Ansaugrings erkannt werden kann. Mikrokeratomsysteme, die die Hornhaut vor der Schnittführung applanieren, sind zu bevorzugen, da sie bei stabilen Kraftvektoren das Risiko für irreguläre Schnitte und Schnittfehler überhaupt minimieren (► Abb. 7.1).

Eine **Sichtkontrolle** während des Schnittvorgangs aufgrund einer durchsichtigen Applanationsplatte ist für

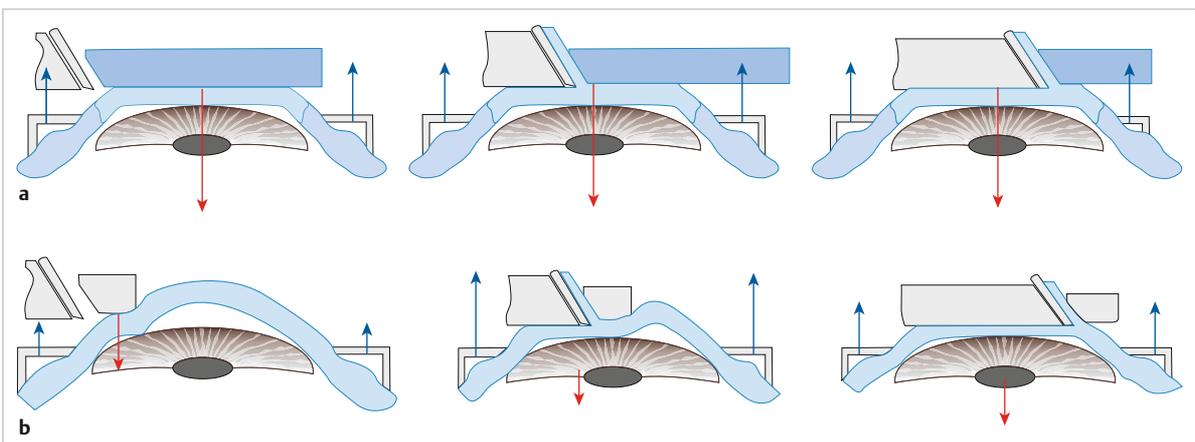


**Abb. 7.1 SKBM/Lasitom.** Prototyp eines linearen Mikrokeratoms mit vollständiger kornealer Applanation vor Schnittbeginn. Das Kreuz in dem durchsichtigen Applanationsplättchen ermöglicht eine optimale Zentrierung. Konstrukteur: Dr. H.J. Krumeich.

eine kontrollierte Mikrokeratomchirurgie förderlich. Außerdem ermöglicht ein durchsichtiges Plate die Bestimmung des Flapdurchmessers vor Beginn der Schnittführung. Die unterschiedlichen Schnittdicken werden in der Regel durch unterschiedliche Abstandshalter bzw. Applanations-scheiben gewährleistet. Bei unvorhergesehenem Aussetzen des Stromes sollte der Schnitt dennoch durch ein **Akku-System** zuende führbar sein, d.h., eine begrenzte Unabhängigkeit von der Stromversorgung erhöht die Sicherheit des Keratomschnitts. Zur Signalisierung der Vollständigkeit des Mikrokeratomschnitts bis zur Hinge-Position hat sich ein Kontrollton des Geräts bewährt, bevor der „Rückwärtsgang“ meistens mit dem Fußpedal eingeschaltet wird.

Während des Mikrokeratomschnitts sind zwei entgegengesetzt gerichtete Kraftvektoren zu beachten: Der nach außen gerichtete Sogdruck infolge des Unterdrucks des handgehaltenen Saugrings und andererseits der Richtung Augenzentrum gerichtete Druck, der durch die Applanations des Mikrokeratomkopfs ausgeübt wird. Wie ► Abb. 7.2 entnommen werden kann, muss hierbei unterschieden werden, ob vor Beginn des Schnittvorgangs die Hornhaut in gesamter Fläche applaniert ist (Beispiel: SKBM/Lasitom als lineares Mikrokeratom, ► Abb. 7.1) oder aber erst während des Schnittes zunehmend applaniert wird (Beispiel: Amadeus linear, Hansatom horizontal rotierend oder Carriazo/Barraquer-Mikrokeratom vertikal rotierend, ► Abb. 7.3). Grundsätzlich ist hierfür unerheblich, ob es sich um lineare oder um einen Drehzapfen rotierende Keratome handelt. Es gibt lineare Systeme, die sukzessive applanieren (Beispiel: Amadeus-Mikrokeratom) oder bei konstanten Vektorkräften arbeiten (Beispiel: Lasitom/SKBM).

Es ist unstrittig, dass eine sukzessive Applanation zu einer größeren Schnittdickenvarianz des einzelnen Flaps führt: In der Regel ist die Flapperipherie aufgrund des ge-



**Abb. 7.2 Vektorkräfte beim Mikrokeratomschnitt.** Oben von links nach rechts vollständige Applanation und anschließend Schnitt unter konstanten Druckbedingungen (Beispiel: SKBM/Lasitom). Unten von links nach rechts partielle Applanation vorwiegend rotierender Systeme mit ansteigendem Applanationsdruck, der von der Saugung aufgefangen werden muss.

ringeren Applanationswiderstands dicker als die Flapmitte bei maximaler Applanationsbeanspruchung. Demzufolge besteht dann auch ein relativ höheres Risiko eines Knopflochschnitts bei steilen Hornhäuten (> 46 Dioptrien).



Abb. 7.3 Um eine Achse (Zapfen) rotierende Mikrokeratome. Links das horizontal rotierende Hansatom und rechts das vertikal-schaukelartig rotierende Carriazo/Barraquer-Mikrokeratom.

**Rotierende Mikrokeratome** – sei es horizontal rotierend wie beim Hansatom oder vertikal rotierend wie beim Carriazo/Barraquer-Mikrokeratom (Prinzip „Affenschaukel“) – haben einen geringen Platzbedarf auch bei engen Orbitaverhältnissen und erlauben die Hinge-Positionierung in beliebiger Gradeinteilung.

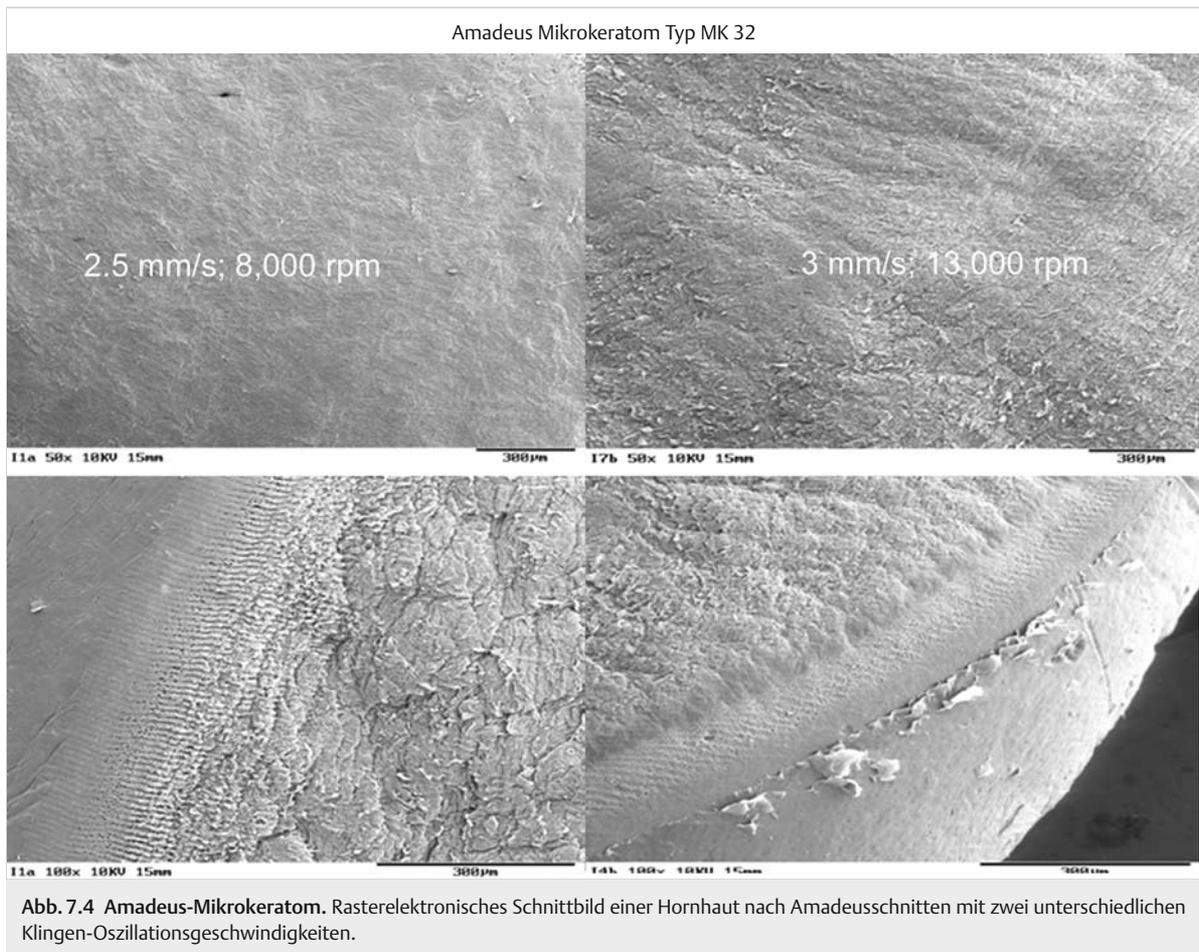
#### Merke

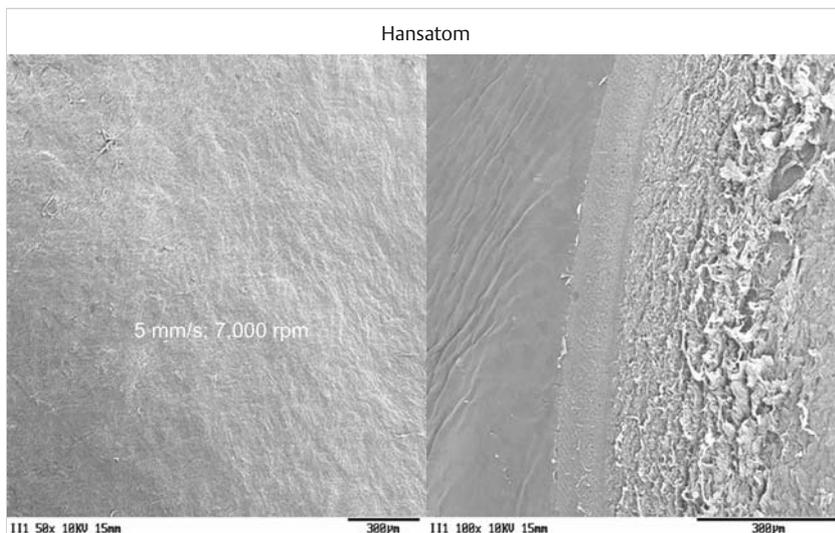
Rasterelektronenmikroskopisch finden sich die präzisesten Schnittbilder bei einer Klingenszillation von etwa 7000–8000 Klingebewegungen pro Minute und einer Vorwärtsgeschwindigkeit von 1–2 mm pro Sekunde.

Beispielhaft zeigt ▶ Abb. 7.4 rasterelektronenmikroskopische Schnittprofile des Amadeus-Mikrokeratoms und ▶ Abb. 7.5 ein LASIK-Schnittprofil des Hansatoms.

Die Güte der verwendeten Mikrokeratomklinge sollte vor Beginn des Schnittes unter dem Mikroskop beurteilt und gesichert werden. Eine Klinge sollte nur für ein Auge verwendet werden.

Doppler-sonografisch lässt sich die Optikusdurchblutung während des Keratomschnitts messen. Obwohl die





**Abb. 7.5 Hansatom.** Schnittprofil bei einer fixen Oszillationsgeschwindigkeit von 7000 Klingenbewegungen pro Minute.

Induktion von Optikusneuropathien zu den Raritäten nach LASIK-Eingriffen zählt, vermeiden Keratome dieses Risiko, die die Optikusperfusion nur geringfügig beeinträchtigen.

Zur Vermeidung von Schnittkomplikationen ist es unbedingt erforderlich, die Grenzwerte nicht zu überschreiten, für die das betreffende Mikrokeratom ausgelegt ist. Zu flache Hornhäute bergen das Risiko eines „Free-Caps“, zu steile Hornhäute sind besonders gefährdet, ein zentrales Knopfloch während des Keratomschnitts auszubilden (s. a. Kap. 12.1.3). Die Grenzwerte in Dioptrien, für die das betreffende Mikrokeratom ausgelegt ist, werden vom Hersteller angegeben. Während der freie Flap mit durchtrenntem Hinge nach regulärer Laserablation wieder Stroma-auf-Stroma mithilfe der eingangs gesetzten epithelialen Strichmarkierung auf der Hornhaut readaptiert und mit einer therapeutischen Kontaktlinse abgedeckt werden kann, ist bei einem Knopflochschnitt wichtig, nicht zu lasern, sondern erst einmal den Schnitt verheilen zu lassen, um dann nach 2–3 Monaten erneut die LASIK wie gewohnt durchzuführen. Wenn es hierbei in der optischen Achse zu keinen wesentlichen Vernarbungen oder Epithelimplantationen kommt, ist die visuelle Prognose gut.

**Epithelimplantationen** sind eine chirurgisch induzierte Versprengung von Epithelzellverbänden in den Keratomschnitt. Durch die Verwendung von Absaug-Lidsperren und sorgfältigem Spülen des Interfaces nach erfolgter Laserablation sind Epithelimplantationen nur noch selten zu beobachten. Auf die Behandlung wird in Kap. 12 gesondert eingegangen.

Vor dem Mikrokeratomschnitt ist es wichtig, die Hornhaut anzufeuchten, um Epitheldefekte zu vermeiden, die bevorzugt in der Hinge-Region auftreten. Präoperativ ist es auch wichtig, Basalmembrandystrophien auszuschließen, die nahezu regelmäßig mit einer Epithelablenkung einhergehen. Nur größere Epitheldefekte nach LASIK soll-

ten mit Kontaktlinsen versorgt werden, um die Abheilung zu erleichtern und die Ausbildung einer Interfacekeratitis zu vermeiden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es zahlreiche Gründe gibt, an Mikrokeratomen für LASIK-Eingriffe mindestens als Stand-by-Variante festzuhalten. Hierzu zählen:

- Die immer noch größere Variabilität in den Schnittparametern und der Hinge-Positionierung,
- die deutlich kürzeren Ansaugphasen mit geringerem Risiko für die Induktion ischämischer Optikopathien,
- die deutlich bessere Kosten-Nutzen-Relation verglichen mit der Investition von Femtosekundenlasern,
- der geringere Wartungsaufwand,
- die geringere Störanfälligkeit des Geräts,
- die viel leichtere Wiedereröffnung des Flaps aufgrund einer nur ganz geringen Vernarbung bei sogenannten Retreatments auch noch nach Jahren,
- die Tatsache, dass die Schnittqualität nach Femto-LASIK nicht überzeugend besser ist als mit mechanischen Mikrokeratomen neuester Generation.

Darüber hinaus ist es so, dass Femtolaser bei vernarbten und vaskularisierten Hornhäuten nicht verlässlich schneiden: Hier ist es immer günstig, wenn der Operateur ein mechanisches Mikrokeratom zur Hand hat.

## Literatur

- [1] Buratto L, Brint S. LASIK. Surgical techniques and complications. 2nd ed. Thorofare, New York: Slack Incorporated; 1998
- [2] Feder RS. The LASIK handbook, a case-based approach. 2nd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, Lippencott Williams & Wilkins; 2013

## 7.1.2 LASIK mit dem Femtosekundenlaser

Th. Neuhann

### Definition

#### Femto-LASIK

Femto-LASIK bezeichnet die technische Durchführungsform der LASIK, bei der die lamelläre Keratotomie mit einem Femtosekundenlaser durchgeführt wird.

Diese heute weit verbreitete Technik, welche zahlenmäßig diejenige mit dem Mikrokeratom bei Weitem überflügelt hat (auch wenn belastbares Zahlenmaterial nirgendwo erhältlich ist), ist eigentlich ein „Abfallprodukt“ einer ursprünglich auf ein anderes Ziel gerichteten Entwicklung: Da die ursprünglich angestrebte intrastromale Abtragung von Hornhautgewebe mit Femtosekundenlasern zur Refraktionsfehlerkorrektur sich nicht verwirklichen ließ, wurde die Technik, mit einem dichten Raster von ultrakurzen Pulsen (mehrere hundert Femtosekunden) eine Schnittebene im Gewebe zu erzeugen, zur Präparation der Hornhautlamelle („flap“) bei der LASIK entwickelt und erstmals im Jahre 2000 dafür eingesetzt.

### Zeitgenössische Technik

Die technische Entwicklung dieser Laser hat seither einen stürmischen Fortschritt erlebt. Derzeit sind wenigstens fünf solcher Systeme für die lamelläre Keratotomie bei LASIK verbreitet:

- Intralase (AMO),
- VisuMax (Carl Zeiss),
- Wavelight (Alcon),
- FemtoLDV (Ziemer),
- Victus (Bausch & Lomb).

Sie unterscheiden sich in Energie je Puls ( $\mu\text{J}$ – $\text{nJ}$ -Bereich), Pulsfrequenz (kHz–MHz Bereich), Applanationsoberfläche (flach bzw. gewölbt) und Applikationsmuster (z. B. Raster, Zick-Zack, Spirale) in unterschiedlichen Kombinationen. Schließlich sind auch Platzbedarf und Mobilität unterschiedlich. Gemeinsam ist allen Systemen die Andockung durch Ansaugung und direkten Kontakt des Applikationsinterface mit der Hornhautoberfläche und die Wellenlänge im Infrarotbereich.

Eine differenzierte Ausführung und Abwägung der technischen Charakteristika ist nicht das Ziel dieser Darstellung. Im Folgenden werden vielmehr die gemeinsamen klinischen Aspekte der Femtosekundenlaser-assistierten lamellären Keratotomie ausgeführt. Sie beschränken sich auf die Unterschiede zur Mikrokeratom-LASIK.

### Vorteile des Femtosekundenlasers

- Derzeit **maximale** technisch erzielbare dimensionale **Präzision** des Flaps: Während bei Mikrokeratomen – je nach Bauart – bis zu 25 % Abweichungen von der nominalen Flapdicke zu verzeichnen sind, sind die Abweichungen zwischen angestrebter und erzielter Flapdicke mit dem fs-Laser plattformübergreifend vielfach innerhalb von  $\pm 5 \mu\text{m}$  gemessen worden. Berücksichtigt man die technisch mögliche intraoperative Messgenauigkeit und die Variabilität biologischer Systeme, erscheint eine weitere Steigerung der Präzision kaum möglich, jedenfalls nicht relevant. Gleiches gilt für die „Planarität“ des Schnittes: Während mit Mikrokeratomen geschnittene Lamellen grundsätzlich meniskusförmig sind, also zentral dünner als peripher, schneidet der fs-Laser Lamellen von gänzlich uniformer Dicke. Schließlich gilt der Präzisionsvorteil auch für Durchmesser, Scharnierbreite, Side-Cut-Dimensionen (s. u.).
- **Vermeidung von Komplikationen:** Die angesprochene dimensionale Präzision verhindert Komplikationen wie zentrale Defekte („buttonhole“), Durchtrennung des Scharniers („free cap“), irreguläre Lamellen usw. Glücklicherweise selten, dann aber besonders relevant ist die Situation bei Sogverlust: Hier entsteht kein, jedenfalls kein funktionsrelevanter, Schaden mit dem Laser – in erheblichem Unterschied zu Mikrokeratom.
- **Höhere mechanische Festigkeit** nach Abheilung wird weitgehend als „internal evidence“ beschrieben, auch vom Autor geteilt. „External evidence“ in Form experimenteller oder klinischer Studien liegt dazu nur einzeln vor. Ob man dies als Vorteil, etwa bezüglich geringerer Traumagefahr, oder als Nachteil, etwa wegen im Langzeitverlauf erschwerten „flap relifts“ für Nachkorrektur sieht, ist offensichtlich umstandsabhängig.

### Nachteile des Femtosekundenlasers

- **Platzbedarf:** Während die meisten Geräte erhebliche Dimensionen – nach Ausdehnung und Gewicht – haben, gibt es auch solche, die klein und mobil sind.
- **Kosten:** Auch hier gibt es erhebliche Unterschiede, die sich aus den technischen Erfordernissen herleiten. Es würde den Rahmen dieses Kapitels sprengen, die Aspekte hier differenziert zu diskutieren (s. o.); dem Mikrokeratom gegenüber sind die Kosten für Investition, Wartung und Verbrauchsmaterial aber allemal erheblich höher.

### Praktische Aspekte

#### „Standardtechnik“

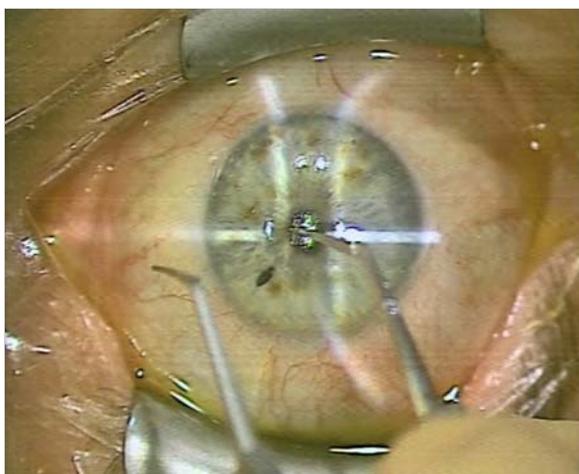
Bei allen Plattformen wird für die Anwendung eine feste Verbindung zwischen Auge und Gerät über ein Verbindungsstück (Interface) zur einmaligen Verwendung durch Ansaugung hergestellt. Sobald diese Verbindung stabil

und innerhalb des vorgesehenen Andruckbereichs erzielt ist (dies wird vom Gerät bestätigt), kann die Laserapplikation ausgelöst werden – nach dem lamellären Schnitt („side cut“) durch die Oberfläche geführt. Danach wird die Ansaugung gelöst. Die vorpräparierte Lamelle wird unter dem Operationsmikroskop durch stumpfe Durchtrennung der verbliebenen Gewebsbrücken mit einem Spatel vollends eröffnet für den anschließenden refraktiven Abtrag.

Für die Optimierung des Ablaufs empfiehlt es sich, die im Folgenden genannten Aspekte zu beachten.

### Wahl der Parameter

- **Optimierung der Laserparameter:** Bei einem neuen System wird man, sinnvollerweise unter Begleitung durch einen Applikationsspezialisten des Herstellers, die Grundparameter der Laserexposition – Abstand der Laserpulse voneinander, Expositionsenergie und gegebenenfalls Art des Rasters – für das eigene Gerät im Verlauf der ersten Anwendungen optimieren. Ausgehend von einer für die Plattform bewährten Einstellung wird man einen selbst zu definierenden optimalen Kompromiss zwischen Pulsenergie, Rasterdichte und benötigter Zeitdauer für den Eingriff ermitteln.
- **Zentrierung:** Der Flap sollte möglichst genau auf das erste Purkinje-Bild, auf das auch die Zentrierung des Abtrags erfolgen muss, zentriert werden (► Abb. 7.6). Darauf ist – je nach System – bereits bei der Anbringung des Saugrings zu achten. Eine feine Markierung auf der Hornhautoberfläche empfiehlt sich für alle diejenigen Systeme, bei denen nach dem Andocken eine Feinzentrierung über den Kontrollbildschirm möglich ist, um einen Parallaxenfehler zu vermeiden. Abweichungen von dieser idealen Zentrierung des Flaps sind ohne



**Abb. 7.6 Zentrierungsmarkierung.** Das abgerundete Ende einer Knüpfpinnzette wird mit Gentianaviolett angefärbt und mit leichtem Druck auf das Hornhautepithel gedrückt an der Stelle der Abbildung des 1. Purkinje-Bildes.

Konsequenz, solange in Kombination mit seinem Durchmesser und dem der gewählten Abtragszone der richtig zentrierte refraktive Abtrag innerhalb des Stromabetts bleibt.

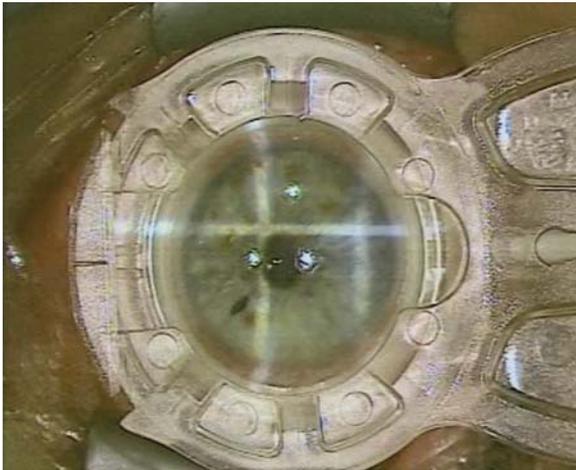
- **Flapdurchmesser:** Er muss groß genug gewählt werden, um den refraktiven Abtrag für dessen richtige Zentrierung und in dessen gewähltem Durchmesser im Stromabett zu ermöglichen und enthält sinnvollerweise eine gewisse Sicherheitsmarge für seine im Einzelfall möglicherweise nicht ganz perfekte Zentrierung. Da die möglichen Durchmesser nach oben gerätespezifisch begrenzt sind, ist das Ausmaß der möglichen rechnergestützten Nachzentrierung umso größer, je kleiner der Durchmesser gewählt ist. Ein guter allgemeiner Anhaltspunkt ist deshalb ein Durchmesser nicht größer als 8,5 mm, nicht kleiner als 8,0 mm.
- **Flapdicke:** Einer der wesentlichen Vorteile dieser Technik ist die äußerst hohe Präzision der erzielten Flapdicke und ihre Gleichmäßigkeit über seine gesamte Ausdehnung. Weitgehend etabliert hat sich eine Einstellung zwischen (100–)110–120  $\mu$ . Bei einer Epitheldicke von wenigstens 50  $\mu$  steigt darunter die Gefahr von Komplikationen, wie etwa Gasdurchbruch oder Faltenbildung, bei Werten darüber wird die biomechanisch besonders feste oberflächliche Hornhaut ohne zusätzlichen Vorteil geschwächt.
- **Lage und Breite des Scharniers („hinge“):** Die Lage bei 12:00 Uhr und die Ausdehnung von 50–60° haben sich weitestgehend als Standard etabliert.
- **Profil des Side Cut:** Ein V-förmiges Profil (Durchmesser außen > innen), wie beim Mikrokeratome unvermeidbar, hat keinen ersichtlichen Vorteil, aber die potenziellen Nachteile einer womöglich erleichterten Dislokation und Epithelinvasion. Hier bietet die mit dem Laser mögliche Schnittführung senkrecht zur Oberfläche (90°) offensichtliche Vorteile ohne erkennbaren Nachteil. Einige Geräte erlauben die Wahl eines „inversen“ Side-Cut-Profils (A-förmig, Durchmesser außen < innen). Hierfür treffen die Vorteile des 90°-Profils noch vermehrt zu, zusätzlich ist hierfür auch eine höhere mechanische Festigkeit nach Abheilung nachgewiesen.

### Vorbereitung

Die Vorbereitung – ggf. medikamentöse Anxiolyse/Sedierung, topische Anästhesie, Infektionsprophylaxe, verbale perioperative und intraoperative Führung usw. – unterscheidet sich nicht von der Mikrokeratom-LASIK (s. a. Kap. 6).

Dies gilt auch für das Vorgehen bei sehr enger Lidspalte und/oder sehr tief liegenden Augen: Da beide Verfahren mit Andockung durch Ansaugung des Bulbus (► Abb. 7.7) arbeiten, wird man in manchen dieser Fälle auf einen Lidsperrer verzichten müssen, um den Saugring anbringen zu können.

Bestimmte räumliche und apparative Voraussetzungen, aber möglicherweise auch Ablaufpräferenzen führen da-



**Abb. 7.7 Ansaugen des Patienteninterfaces.** Das Einmalinterface wird anhand der Markierungen so exakt wie möglich zentriert angesaugt – die endgültige Zentrierung erfolgt softwaregesteuert.

zu, dass die Laserkeratotomie räumlich und/oder ablaufmäßig getrennt vom refraktiven Laserabtrag durchgeführt wird. In diesen Situationen wird zunächst an beiden Augen mit dem fs-Laser der Flap geschnitten und der Patient anschließend zum Excimerlaser gebracht, wo die eigentliche Eröffnung des Flaps und der refraktive Abtrag geschehen.

In beiden dieser Situationen ist es für das Laserverfahren von Vorteil, dass auf eine Abdeckung verzichtet werden kann, weil durch den Laserschnitt noch keine Gewebeeröffnung und damit Infektionsmöglichkeit geschieht. Deshalb kann die sterile Abdeckung danach, vor der Flaperöffnung und dem refraktiven Abtrag, erfolgen.

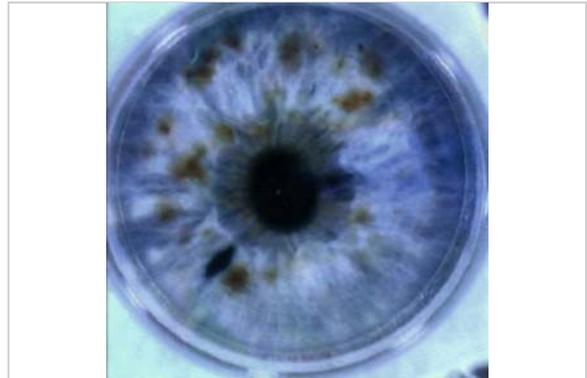
### Andocken und Laserkeratotomie

Hier richten sich die Details der Durchführung nach den Besonderheiten der jeweiligen Laserplattform. Wichtig ist hier generell das Bewusstsein, dass der Prozess mehr Zeit in Anspruch nimmt als mit dem Mikrokeratom. Deshalb ist hier die verbal führende Begleitung der Patienten ganz besonders wichtig, ebenso wie ein perfekt eingespielter Ablauf und Kommunikation/Verständnis zwischen technischer Assistenz und Operateur, um die „komplikations-sensitive“ Phase zwischen Andocken und Abdocken (► Abb. 7.7, ► Abb. 7.8, ► Abb. 7.9) zeitlich auf das mögliche Minimum zu reduzieren.

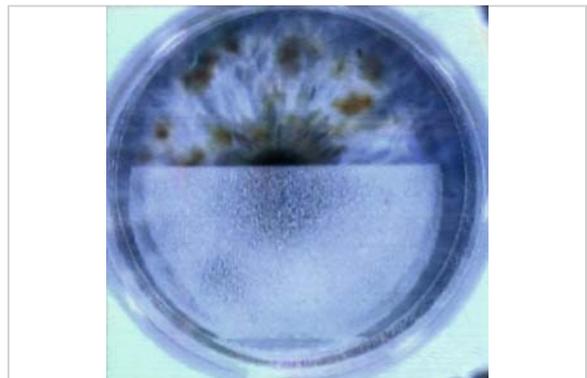
### Flaperöffnung

Während nach einem Mikrokeratomschnitt die entstandene Lamelle nur noch zurückgeklappt werden muss, bestehen nach dem fs-Laserschnitt noch feine Gewebsbrücken zwischen den einzelnen Laserexpositionen. Diese müssen durch stumpfe Trennung durchbrochen werden, um die Lamelle vollends zu eröffnen. Hierfür ist eine Viel-

zahl von Instrumenten und Variationen davon entworfen worden – im Wesentlichen handelt es sich naturgemäß um Abwandlungen von Mikrospateln. Eine besonders häufig verwendete Version ist der Spatel nach B. Seibel, optimiert in der Version nach B. Lege (► Abb. 7.10).Gene-



**Abb. 7.8 Andocken.** Mit dem Patienteninterface des Lasers wird die Hornhaut so weit applaniert, dass der gesamte Flapdurchmesser und eine schmale umgebende Sicherheitszone applaniert sind. Der Meniskus zeigt die Applanierungsfläche.



**Abb. 7.9 Laserschnitt.** Der Schnitt ist zur Hälfte durchgeführt; er liegt vollständig innerhalb des Meniskus. Die Zentrierungsmarke ist angedeutet zu erkennen.



**Abb. 7.10 Spatel nach B. Seibel, optimiert in der Version nach B. Lege.**

rell ist hierbei technisch wichtig, die Trennung nicht zu forcieren, sondern den Widerstand zu minimieren und dafür mehr schwenkende Passagen in Kauf zu nehmen. Dabei ist es auch hilfreich, die stumpfe Dissektion vom Side Cut aus nahe am Scharnier zu beginnen, nahe am Scharnier gegenüber den Side Cut von innen zu eröffnen, von dort mit einem zweiten Spatel einzugehen und am Scharnier gegenzuhalten und dann nach peripher weiter zu eröffnen (► Abb. 7.11, ► Abb. 7.12, ► Abb. 7.13). Weitere technische Details sind nicht von grundsätzlicher Bedeutung, sondern, wie so oft in der Chirurgie, der persönlichen Präferenz überlassen.

## Spezielle Situationen, Komplikationen und der Umgang damit

### Opaque Bubble Layer

Normalerweise bleiben die die winzigen Gasblasen, die durch die Fotodisruption durch jeden Laserpuls erzeugt werden, im erzeugten Interface. Sie können jedoch auch teilweise in die darunter liegenden Stromaschichten eindringen/eingepresst werden, wo sie zu einer dichten weißlichen undurchsichtigen Fläche von unregelmäßigen Ausmaßen konfluieren können. Dieses Phänomen ist grundsätzlich ohne nachteilige Bedeutung – das Gas resorbiert sich innerhalb kurzer Frist. Solange eine solche Trübung jedoch besteht, kann sie die Funktion eines Trackers im Excimerlaser beeinträchtigen, indem sie eine hinreichend vollständige Bilderfassung der Iris verhindert (s. a. Kap. 12.1.3). Während eine sichere Vermeidung dieses Phänomens nicht möglich ist, kann sein Auftreten nach Häufigkeit und Intensität verringert werden:

- Integration einer „Tasche“ in das Schnittprofil, in welche die entstehenden Gasblasen abgeleitet werden können.

nen. Einige Laserplattformen erlauben es, eine solche Tasche mit voreingestellten Parametern, in der Regel am Scharnier, auszuwählen.

- Ausübung des geringst erforderlichen Druckes auf die Hornhaut mit dem Applanationsinterface, welcher gerade eine sicher ausreichende Applanation für den gewählten Flapdurchmesser bewirkt.
- Optimierung der Expositionsparameter (s. o.).
- Ist eine Opaque Bubble Layer entstanden, welche die Funktionen des Trackers beeinträchtigt, kann man entweder die spontane Resorption abwarten oder nach Eröffnung des Flaps die im Stroma gefangenen Gasblasen unter leichtem Druck mit einem polierten Spatel „ausmassieren“.



Abb. 7.12 Beendigung der Dissektion. Mit einem Lege/Seibel-Spatel wird am Scharnier („hinge“) gegengehalten, während mit dem zweiten solchen Spatel die Dissektion vollendet wird.

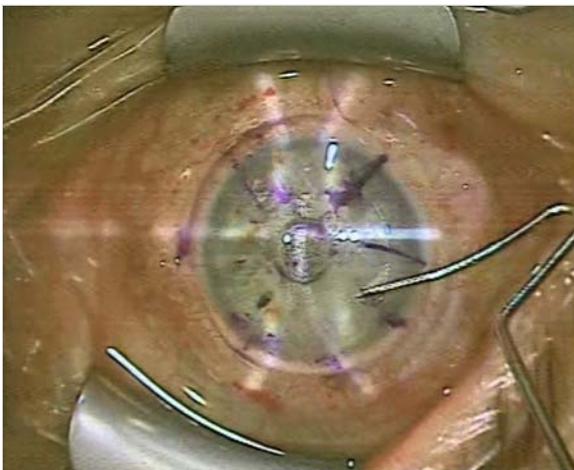


Abb. 7.11 Beginn der Lamellen- („Flap“-)Dissektion. Mit einem Lege/Seibel-Spatel, der der Wölbung der Hornhaut entsprechend gebogen ist, wird durch den seitlichen Begrenzungsschnitt („side cut“) in die Dissektionsebene eingegangen.

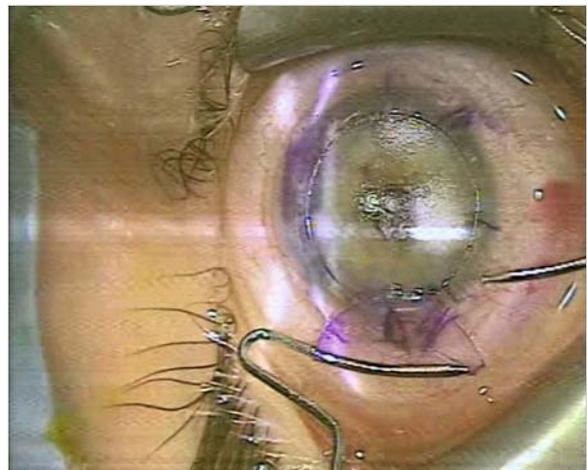


Abb. 7.13 Beendigung der Anhebung des Flaps. Die Lamelle wird hälftig gefaltet, die Innenseite des Scharniers wird vom Lamellenrand bedeckt und vor akzidenteller Abtragung während des refraktiven Abtrags geschützt.

## Gasdurchbruch nach außen

Unter bestimmten Umständen können die entstehenden Gasblasen auch nach außen, subepithelial oder in das Interface, durchbrechen. Dies ist zwar, für sich gesehen, schadlos, weist aber in der Regel auf einen an dieser Stelle extrem dünnen Flap hin. In einer solchen Situation ist es ratsam, den Eingriff nicht fortzusetzen, die Abheilung für wenigstens 3 Monate abzuwarten und dann eine neue Entscheidung über das weitere Vorgehen zu treffen. Dabei wird das Ergebnis der Ursachenanalyse und einer differenzierten Befunderhebung (inkl. SD-OCT) wegweisend zu berücksichtigen sein.

## Sogverlust

Reißt während der Keratotomie die Ansaugverbindung zwischen dem Bulbus und Laserinterface ab, sind grundsätzlich zwei Vorgehensweisen denkbar:

- Sofortiges erneutes Andocken und Vollendung bzw. Wiederholung des Schnittes mit exakt den gleichen Parametern, wie zuvor, unter rechnergestützter Zentrierung auf die am Bildschirm erkennbare vorherige Zentrierung.
- Abbruch des Eingriffs, Abwarten der Abheilung für wenigstens 3 Monate und sodann erneute Entscheidung über das weitere Vorgehen (PRK, Mikrokeratom-LASIK oder phake IOL); eine erneute fs-Laserkeratotomie beinhaltet das Risiko, dass Gas in das vorher erzeugte Interface eintritt und so zu einer irregulären Interfaceebene führen kann.

## „Transient Light Sensitivity“

Dies ist eine Komplikation, welche in der Literatur als wenige Tage bis Wochen nach dem Eingriff auftretend beschrieben wird: Sie ist charakterisiert durch erhebliche bis massive Fotophobie bei guter Sehschärfe. Biomikroskopisch-morphologisch finden sich keine nennenswerten Veränderungen. Unter aggressiver Steroidtherapie, die über viele Wochen erforderlich sein kann, bildet sich die Symptomatik vollständig zurück. Die Ursache ist nicht bekannt, diskutiert wird eine entzündliche Reaktion der Keratozyten auf die Gasblasen und/oder das Infrarotlicht – damit könnte es sich um eine Sonderform des größeren Formenkreises der Interfacekeratitis (s. Kap. 12.1.4) handeln.

## „Rainbow Glare“

Mit dieser Bezeichnung wird das Auftreten ringförmiger Farbsäume um punktförmige Lichtquellen nach Femto-LASIK bezeichnet. Es wird in der Literatur in einigen wenigen Berichten beschrieben und in Korrelation zu bestimmten Rastern, Energieeinstellungen und der Länge der Service-Intervalle des Lasers gesetzt.

## Grenzen des Femtosekundenlasers

Wenn Kostenaspekte außer Acht gelassen werden, gibt es für reguläre „Standardsituationen“ keinen vernünftigen Grund, lamelläre Keratotomien *nicht* mit dem fs-Laser durchzuführen.

Seine Grenzen findet das Verfahren dort, wo Hornhauttrübungen nennenswerten Ausmaßes bestehen.

Dies ist im üblichen und regulären Bereich der refraktiven Chirurgie nicht der Fall. In besonderen Situationen kommt diese Einschränkung aber durchaus zum Tragen: Wenn man von vereinzelt, sehr individuellen Konstellationen absieht, ist dies mit einer gewissen Regelmäßigkeit bei denjenigen Indikationen für refraktive Hornhautchirurgie der Fall, in denen eine – perforierende – Keratoplastik vorangegangen ist. Wenn hier zur Korrektur eines postkeratoplastischen Astigmatismus eine LASIK indiziert ist, muss die Keratoplastiknarbe zumeist über nennenswerte Anteile bei der lamellären Keratotomie durchdrungen werden. Jedenfalls muss der Flap anschließend durch stumpfe Dissektion vollendet werden. Hier besteht zum einen das Risiko der unzureichenden Laserdissektion durch die Intransparenz der Narbe, zum anderen das Risiko, dass der streifenförmige Anteil außerhalb der Narbe womöglich an der Narbe bricht. In solchen Situationen entscheide ich mich deshalb individuell im Zweifel für das Mikrokeratom.

### Merke

Von speziellen Einzelsituationen abgesehen ist die lamelläre Keratotomie mit dem Femtosekundenlaser derjenigen mit dem Mikrokeratom bezüglich Präzision und Sicherheit überlegen. Dem stehen deutlich höhere Kosten gegenüber.

## Literatur

- [1] Knorz MC, Vossmerbaeumer U. Comparison of flap adhesion strength using the Amadeus microkeratome and the IntraLase iFS femtosecond laser in rabbits. *J Refract Surg* 2008; 24: 875–878
- [2] Pajic B, Vastardis I, Pajic-Eggspuehler B et al. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome-assisted flap creation for LASIK: a prospective, randomized, paired-eye study. *Clin Ophthalmol* 2014; 8: 1883–1889
- [3] Ratkay-Traub I, Juhasz T, Horvath C et al. Ultra-short pulse (femtosecond) laser surgery: initial use in LASIK flap creation. *Ophthalmol Clin North Am* 2001; 14: 347–355
- [4] Ratkay-Traub I, Ferincz IE, Juhasz T et al. First clinical results with the femtosecond neodymium-glass laser in refractive surgery. *J Refract Surg* 2003; 19: 94–103
- [5] Yu CQ, Manche EE. A comparison of LASIK flap thickness and morphology between the IntraLase 60- and 150-kHz femtosecond lasers. *J Refract Surg* 2014; 30: 827–830
- [6] Zheng Y, Zhou Y, Zhang J et al. Comparison of laser in situ keratomileusis flaps created by 2 femtosecond lasers. *Cornea* 2015; 34: 328–333

### 7.1.3 LASIK mit Presbyopiekorrektur

D. Holland, S. Arba Mosquera, T. Ewering

#### Einleitung

Die PresbyLASIK oder multifokale LASIK stellt eine spezielle Form der LASIK-Behandlung mit dem Excimerlaser dar, entwickelt für die Kompensation presbyoper Symptome und die zeitgleiche Korrektur einer Kurzsichtigkeit, Weitsichtigkeit und des Astigmatismus. Die ersten Überlegungen und Erkenntnisse zum Thema Presbyopiebehandlung mit dem Excimerlaser gehen auf das Jahr 1992 zurück als Moreira u. Kollegen [11] Topografie- und Brechkraftänderungen nach myoper Ablation untersuchten. Mögliche Nebenwirkungen wie Verluste im Kontrastsehen, stärkere optische Phänomene und Einschränkungen im Visus waren bereits damals ein Diskussionspunkt der ersten multifokalen Ansätze. Insbesondere ein möglicher Verlust an bestkorrigiertem Visus stellt auch heute noch einen Kritikpunkt an diesen Verfahren dar. Auf der anderen Seite haben die Behandlungsmöglichkeiten an der Augenoberfläche den großen Vorteil, dass visusbedrohende Komplikationsmöglichkeiten wie eine Endophthalmitis oder Ablatio retinae im Gegensatz zu intraokularen Methoden der Presbyopiekorrektur nicht bestehen.

Die Nachfrage nach der Behandlung von presbyopen Symptomen insgesamt wird in den nächsten Jahren aufgrund der demografischen Entwicklung immer weiter steigen. In diesem Kapitel wird ein Überblick über die verschiedenen Ansätze zur PresbyLASIK mit einem Schwerpunkt auf dem sogenannten PresbyMAX-Verfahren gegeben.

#### Ansätze bzw. Verfahren

##### Monovision

Die Monovision [16] stellt wahrscheinlich die älteste und am meisten verbreitetste Methode zur Behandlung der Presbyopie dar. Typischerweise wird dabei das dominante Auge für die Ferne und das nichtdominante Auge für die

Nähe korrigiert, das bedeutet eine Myopie als Zielrefraktion geplant. Alternativ kann es auch zu einer Korrektur des dominanten Auges für die Naharbeit kommen, hier wird dann von „gekreuzter“ Monovision [2], [7] gesprochen.

#### Merke

Monovision wird von der Mehrzahl der (jungen) Presbyopen erfolgreich akzeptiert, auch wenn sich das binokulare Sehen eingeschränkt zeigt [6].

Prinzipiell scheinen sich myope Patienten mit einer geplanten Unterkorrektur im Nahauge für die Anwendung der Monovision am besten zu eignen, da dieser Umstand Gewebe spart und bei möglicher Unverträglichkeit die Anisometropie auf einfache Weise durch eine klassische Nachbehandlung aufgehoben werden kann. Hyperope hingegen bedürfen einer Überkorrektur im Nahauge und zusätzlichen Gewebeverbrauch im Fall eines Reversals. Generell ist ein Kontaktlinsen- bzw. Brillentrageversuch präoperativ zur Simulation der postoperativen Situation und deren Verträglichkeit zu empfehlen [12]. Monovision durch Kontaktlinsen oder LASIK-induziert nutzt üblicherweise ein Nomogramm für die Nahaddition; der Anteil der Anisometropie steigt dabei von ungefähr  $-1,50$  dpt bei einem 45-jährigen Patienten auf bis zu  $-2,50$  dpt bei einem 65-jährigen Patienten an, wobei wir nur selten auf die maximale Anisometropie zielen würden. In den meisten Fällen ist eine Myopie des nahdominanten Auges von  $-1,75$  dpt für den Alltag und eine hohe Patientenzufriedenheit ausreichend [1], [3], [4], [10].

#### Multifokale Ablationen

Multifokale Ansätze zur Presbyopiekorrektur [1] sind eine Weiterentwicklung bzw. Verbesserung der Monovision. Sind beide Augen in der Lage, ein Objekt zu fokussieren, besteht die Annahme verbesserter Tiefenwahrnehmung. Zudem soll durch die meisten multifokalen Designs mehr gebündeltes Licht auf die Netzhaut gelangen als bei Mo-

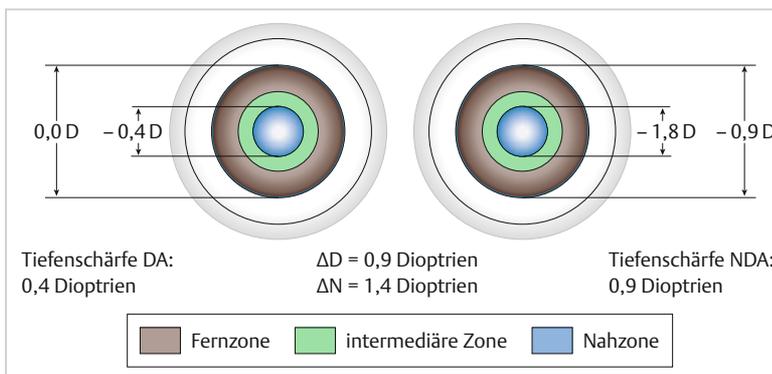


Abb. 7.14 Darstellung eines zentralen PresbyLASIK-Ansatzes am Beispiel von PresbyMAX Hybrid mit einer Addition von  $+1,75$  dpt. Dominantes (DA) und nichtdominantes (NDA) Auge erhalten unterschiedliche Zielwerte in Bezug auf Defokus und Tiefenschärfe.