

# Moderne Therapieansätze mit dem Femtosekundenlaser

## Technik und Anwendungsgebiete in der Hornhautchirurgie

In der Hornhautchirurgie werden zahlreiche inzisionale Techniken angewandt. Sowohl für die Sicherheit als auch für das therapeutische und optische Ergebnis ist es dabei wichtig, dass die Schnitte mit größtmöglicher Präzision geführt werden. Bisherige mechanische Methoden bieten mittlerweile gute Ergebnisse, durch die Einführung des Femtosekundenlasers wird diese Präzision jedoch nochmals gesteigert. **Prof. Dr. Thomas Kohnen, Dipl.-Ing. (FH) Oliver K. Klaproth, Dr. Daniel Kook und Dr. Victor Derhartunian** geben eine Übersicht über die Technik des Femtosekundenlasers und zeigen einige aktuelle Anwendungsgebiete in der Hornhautchirurgie sowie deren Vor- und Nachteile auf.

**I**n der heutigen Hornhautchirurgie werden zahlreiche inzisionale Techniken, wie der Lentikelschnitt bei der Laser-in-situ-Keratomeileusis (LASIK), die relaxierende Inzision im Rahmen einer astigmatischen Keratotomie (AK) oder die Trepanation im Rahmen der Keratoplastik (KPL), angewandt. Dabei ist es sowohl für die Sicherheit als auch das therapeutische und optische Ergebnis der jeweiligen Operation wichtig, dass die Schnitte mit größtmöglicher Präzision geführt werden. Schon kleinste Irregularitäten auf der Hornhaut können zu starker Beeinträchtigung der optischen Qualität des Patienten führen. Bisherige mechanische Methoden bieten zwar mittlerweile gute Ergebnisse, durch die Einführung des Femtosekundenlasers jedoch wird diese Präzision nochmals gesteigert.

Der Femtosekundenlaser ermöglicht es, ultrakurze Laserpulse (bei ophthalmologischen Anwendungen meist im Bereich von einigen hundert Femtosekunden) direkt in das Gewebe zu applizieren. Bei dieser so genannten Sub-Surface-Technologie findet die Photodisruption unter der Oberfläche statt, durch die kurze Pulsdauer werden fast keine thermischen Nebeneffekte induziert. Die kleinen verwendeten Energien führen zu kleinen Photodisruptionsbereichen, daraus folgt eine hohe Präzision des Femtosekundenlasers. Nach einem Laserpuls bleibt eine Kavitationsblase im Gewebe zurück, die mit einem Gemisch aus Kohlenstoffdioxid, Stickstoff und Wasserdampf gefüllt ist. Durch die Aneinanderreihung vieler solcher Blasen entsteht ein so genannter Femtoschnitt (Mrochen et al. 2006).

### Femto-LASIK

Im Gegensatz zu den bei der LASIK meist eingesetzten mechanischen rotierenden Messern (Mikrokeratomen), bietet der Fem-

tosekundenlaser einige entscheidende Vorteile. Zum einen ist der Lentikeldurchmesser frei wählbar. Dadurch ist es zum Beispiel möglich, durch Wahl eines kleinen Durchmessers periphere korneale Vaskularisationen nicht zu eröffnen oder auch größere Lentikeldurchmesser für große optische Abtragszonen zu erzeugen. Diese Parameter sind auch noch kurz vor Beginn des Eingriffes stufenlos einstellbar.

Die hohe Präzision der Schnittlokalisierung ermöglicht darüber hinaus auch das Schneiden sehr dünner Lentikel im Bereich von 90 bis 100  $\mu\text{m}$  (Sub-Bowman-Keratomeileusis, SBK) mit einer hohen Reproduzierbarkeit. Dadurch bleibt zum einen mehr Reststroma erhalten, was die postoperative Stabilität der Hornhaut steigert und das Risiko iatrogenen Keratektasien minimiert, zum anderen werden weniger korneale Nervenfasern durchtrennt, was die postoperative Ausprägung des trockenen Auges vermindern soll. Die vom Mikrokeratom bekannten Schnittkomplikationen wie unvollständige oder abgetrennte Lentikel sowie Knopflochschnitte treten mit dem Femtosekundenlaser praktisch kaum mehr auf (Ratkay-Traub et al. 2003). Bisher unveröffentlichte Ergebnisse aus der Augenklinik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt zeigen seit November 2006 in einem Kollektiv von fast 300 mit dem Femtosekundenlaser behandelten Patienten lediglich zwei Fälle mit unvollständigem Ringschnitt über etwa 20 Grad. Diese Schnitte konnten jedoch intraoperativ problemlos mit einem Diamantmesser komplettiert werden.

Abb. 1 zeigt den direkten Vergleich zwischen einem mechanischen Lentikelschnitt (Zyoptix XP Mikrokeratom, Bausch und Lomb Surgical) mit einem fs-Laser-Schnitt (FS60, IntraLase-AMO), aufgenommen mittels Optischer Kohärenztomographie (Visante OCT, Carl Zeiss Meditec).

Ein Nachteil der Femto-LASIK ist die höhere Inzidenz der diffusen lamellären Keratitis (DLK) (Gil-Cazorla et al. 2008). Diese lässt sich jedoch durch entsprechende Medikation prä- und postoperativ gut kontrollieren. In der Zukunft könnte es weiterhin möglich sein, ganz auf den Excimerlaser zu verzichten und durch den Schnitt eines zweiten Lentikels unterhalb des ersten Lentikels und einem entsprechenden refraktiven Profil die LASIK vollständig nur mit dem Femtosekundenlaser durchzuführen.

### Inzisionale Chirurgie

Zur Behandlung hoher Astigmatismen, zum Beispiel nach KPL, ist oft die Astigmatische Keratotomie (AK) als inzisionales Korrekturverfahren die Methode der Wahl. Dabei werden senkrecht zum steilen Meridian der Hornhaut bogenförmige Schnitte appliziert (Abb. 2), die eine Abflachung der Hornhaut in diesem Meridian bewirken. Die Genauigkeit der Astigmatismuskorrektur ist dabei unter anderem von der Genauigkeit der Positionierung im Hinblick auf die Entfernung zur optischen Achse, der Länge und der Tiefe des Schnittes abhängig. Da diese Parameter mit dem Femtosekundenlaser frei wählbar und präzise kontrollierbar sind, sollten sich theoretisch auch besser kleine residuale Astigmatismen im Vergleich zur mechanischen AK durchführen lassen. Erste Ergebnisse bestätigen diesen Trend (eigene unveröffentlichte Ergebnisse).

### Intracorneale Ringsegmente

Intracorneale Ringsegmente (ICRS) sollen durch eine Abflachung der Hornhaut die Brechkraft zu negativen Werten hin beeinflussen. Dieses Verfahren findet sowohl bei Behandlung höherer Myopien (Daxer et al. 2008) als auch bei Keratokoni oder Keratektasien Anwendung (Ertan und Colin 2007). Verschiedene Systeme der ICRS werden in der Literatur beschrieben (Ertan und Colin 2007). Allen gemein ist jedoch die Notwendigkeit, einen intrastromalen Tunnelschnitt zur Implantation der Ringe zu präparieren. Hierzu wird der Femtosekundenlaser im Vergleich zum mechanischen Messer in der Literatur als deutlich präziseres Instrument beschrieben. Darüber hinaus induziert der Femtosekundenlaser praktisch keine Epithelschäden, unsaubere Schnittkanten oder Hornhautperforationen (Ratkay-Traub et al. 2003; Coskunseven et al. 2008).

### Keratoplastik

Die KPL ist die älteste und am häufigsten durchgeführte Transplantation menschlichen Gewebes. Traditionelle Verfahren zeigen zwar gute klinische Ergebnisse – nur etwa 20 Prozent Abstoßungsrisiko bei guten Voraussetzungen (Ing et al. 1998) – leider wird der optischen Rehabilitation aber oft nicht optimal Rechnung getragen. Ein großes optisches Problem bei der KPL ist ein postoperativ hoher residueller kornealer Astigmatismus. Dieser kann

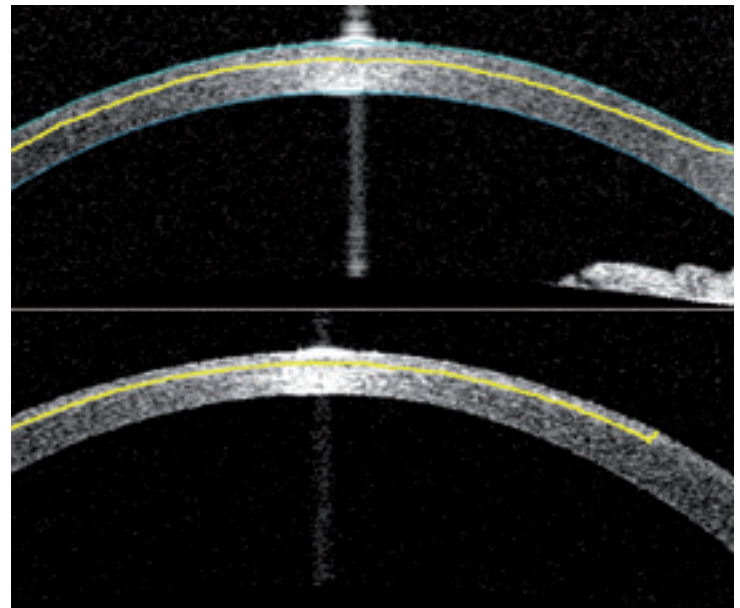


Abb. 1: Vergleich eines mechanischen LASIK-Flaps (oben) mit einem Femtosekundenlaser Lentikel (unten). Sichtbar sind die konstante Dicke des Femtosekundenlaserschnittes sowie die senkrechte Architektur der Schnittkante.

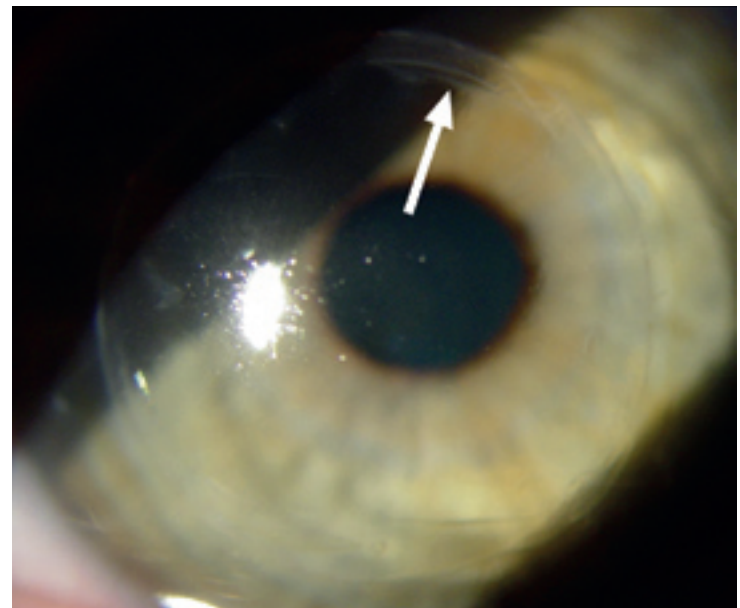


Abb. 2: Schnitfführung bei AK nach KPL (weißer Pfeil), steiler Meridian in etwa 80 Grad.

aus zahlreichen unterschiedlich gut kontrollierbarer Parametern wie Präzision, der Trepanation, einer suboptimale Ausrichtung der Spender- oder Empfängerhornhaut, einer horizontale Verkippung oder vertikale Torsion der Spenderhornhaut sowie dem Typ und der Lage der Naht (Seitz et al. 2005) resultierten.

Den größten Einfluss auf diese optischen Probleme hat die Trepanationstechnik, denn die Präzision des Schnittwinkels und der

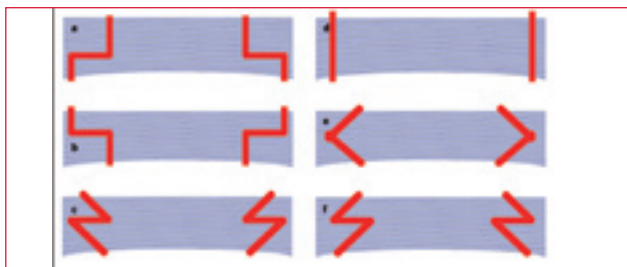


Abb. 3: Verschiedene Schnittführungen für die Femtosekundenlaser-KPL: a: Top-Hat KPL, b: Mushroom KPL, c und f: Zig-Zag KPL, d: Straight-Cut KPL, e: Diagonal-Cut KPL.

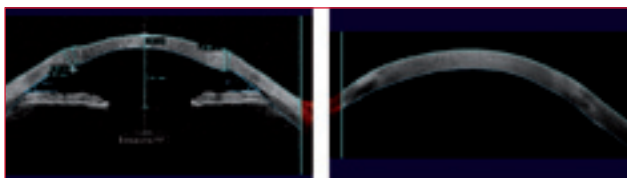


Abb. 4: Vergleich einer traditionellen mechanischen Keratoplastik (links) mit einer Top-Hat Femtosekundenlaser-Keratoplastik (rechts).

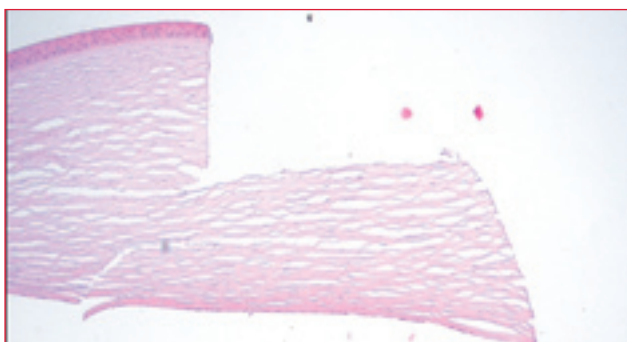


Abb. 5: Histologischer Schnitt durch die Spenderhornhaut bei Top-Hat Femtosekundenlaser-Keratoplastik (Hematoxylin and Eosin, Originalvergrößerung 40-fach).

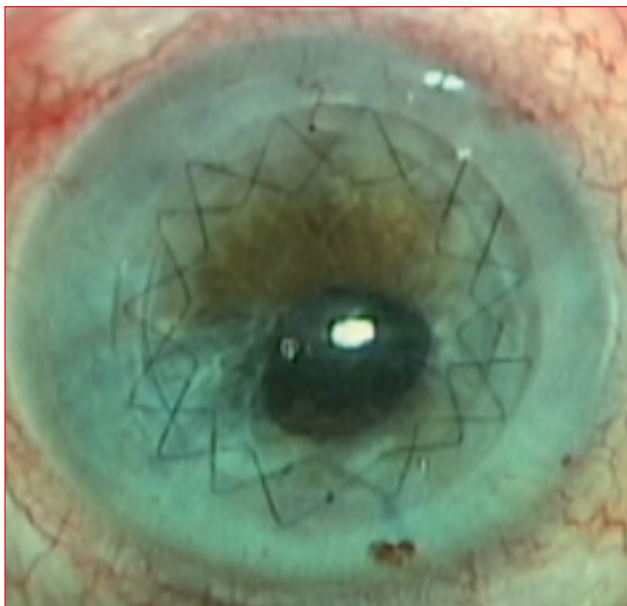


Abb. 6: Zustand nach Top-Hat Femtosekundenlaser-Keratoplastik.

Schnitttiefe mittels traditioneller mechanischer Methoden obliegt bestimmter Grenzen und ist außerdem nicht sehr gut reproduzierbar. Der Femtosekundenlaser ist den traditionellen Trepanationsverfahren in dieser Hinsicht deutlich überlegen (Meltendorf et al. 2006). Moderne Steuereinheiten können die Laserpulse im Raum beliebig zirkulär rotieren und so annähernd jedes denkbare Schnittmuster erzeugen. Studien zeigen, dass die Femtosekundenlaser-KPL mit der so genannten Top-Hat-Konfiguration zu einer siebenfach geringeren Wahrscheinlichkeit undichter Nähte und zu einem geringeren postoperativen Astigmatismus führt (Ignacio et al. 2006; Steinert et al. 2007). Eine histologische Studie von Kook et al. (2008) präsentiert diese präzise Schnittarchitektur des Femtosekundenlasers. Abbildung 3 stellt eine Übersicht über mögliche KPL-Schnittarchitekturen dar, die durch den Femtosekundenlaser erzeugt werden können. Weitere Studien müssen zeigen, welche dieser Varianten sich als die beste herauskristallisiert wird. Im Grunde genommen sind die Vorteile der Femtosekundenlaser-KPL schon jetzt offensichtlich, Abbildung 4 zeigt einen Vergleich zwischen traditioneller und Femtosekundenlaser-KPL, aufgenommen mit Optischer Kohärenztomographie (Visante OCT, Carl Zeiss Meditec), Abbildung 5 einen histologischen Schnitt durch den äußeren Rand einer Top-Hat Femtosekundenlaser-KPL Spenderhornhaut und Abbildung 6 einen Zustand nach Top-Hat Femtosekundenlaser-KPL.

Eine Ausnahme stellen KPL dar, bei denen bereits eine Vaskularisierung der Hornhaut im Bereich der geplanten Schnittlinie vorliegt. In diesem Fall ist das Gewebe zu uneben, um einen sicheren Femtosekundenlaserschnitt zu gewährleisten. Außerdem würde eine Blutung eine genaue Laserzentrierung (sowohl lateral als auch in der z-Achse) unmöglich machen.

### Zusammenfassung

Mit wenigen Einschränkungen ist der Femtosekundenlaser den entsprechenden traditionellen Verfahren der Hornhautchirurgie überlegen. Die Schnitte sind präziser und besser reproduzierbar, die Ergebnisse der Behandlungen sind sicherer, vorhersagbarer, effektiver und bergen ein geringeres Komplikationsrisiko.

Literatur auf Anfrage in der Redaktion.

**Prof. Dr. Thomas Kohnen**  
 Univ.-Augenlinik Frankfurt  
 E-Mail: kohnen@em.uni-frankfurt.de