

# Presbyopiekorrektur mit dem Femtosekundenlaser

M. Blum<sup>1</sup>, K. Kunert<sup>1</sup>, S. Riehemann<sup>2</sup>, R. Ackermann<sup>3</sup>, M. Dick<sup>4</sup>

Erfurt, Jena

**Zusammenfassung:** In den ersten 2 Jahren des wissenschaftlichen Projektes im Rahmen der staatlich geförderten Initiative SOMIT-COHS zur Korrektur der Presbyopie mittels Femtosekundenlaser wurden gute Fortschritte erzielt. Ein klinischer Datensatz von mehreren hundert Augen ermöglichte die mathematische Berechnung eines Augenmodells, mittels dessen unterschiedliche Akkommodationszustände und der Effekt von Laserschnitten simuliert werden können. Ein deutlicher technischer Fortschritt im Bezug auf die Geschwindigkeit des Lasereintrages auf das Linsengewebe wurde erreicht. Die jetzt vorliegenden Repetitionsraten nähren die Hoffnung, in weniger als 1 Minute Behandlungszeit eine effiziente Femtosekundenlaserung der menschlichen Linse durchführen zu können. Weiterhin stehen objektive Messmethoden zur Erfolgskontrolle zur Verfügung. Darüber hinaus existiert ein Labormessplatz zur Bestimmung der einwirkenden Kräfte auf den Ziliarmuskel und die Linse. Unter diesen Voraussetzungen sollen innerhalb der bleibenden Förderzeit erste klinische Untersuchungen zur Femtosekunden-Lasertherapie der Presbyopie mit einem Prototypen erfolgen.

OPHTHALMO-CHIRURGIE 20: 40-43 (2008)

**Summary:** Good progress is reported from a project testing the potential to treat presbyopia with a femtosecond laser supported by a grant from the German Government. A mathematical eye model based on clinical data of several hundred eyes can now simulate different stages of accommodation and the effect of laser incisions in the lens. The technical features of the laser itself were significantly improved. The repetition rate of the femtosecond laser has now reached a point where treatment times of the human lens within less than a minute are in reach. Furthermore diagnostic tools for measuring optical change in power to measure the effect of the treatment are now available. The forces deforming the lens can be tested in a newly developed laboratory setup. Within the remaining project time first clinical testing with a prototype femtosecond laser should be possible.

OPHTHALMO-CHIRURGIE 20: 40-43 (2008)

Die Presbyopie prägt sich bei allen Menschen in der Mitte des 5. Lebensjahrzehnts aus. Ursächlich sind die Altersveränderungen der Linsensubstanz, die mit einem kontinuierlichen Wachstum, d.h. Dickenzunahme der Linse, auch die Linsenhärte ansteigen lässt. Dieser biologische Ablauf ist bis heute keiner befriedigenden permanenten Korrektur zugänglich. In klinischer Erprobung be-

finden sich jedoch einige akkommodierende Kunstlinsen, die aber derzeit noch zu keiner breit etablierten Anwendung geführt haben.

Im Rahmen der Aktion „Schonendes Operieren mit innovativer Technik“ (SOMIT) fördert das Bundesforschungs-

ministerium seit 2005 ein Projekt des OphthalmInnovation Thüringen e.V.: Mittels Einsatz von Niedrigenergie-Femtosekunden-Laserimpulsen soll hier versucht werden, die Augenlinse selber therapeutisch zu beeinflussen (SOMIT-COHS FKN.: 13N8835). Aufgrund der Komplexität des Themas sind mehrere Institute und Kliniken am Gesamtprojekt beteiligt. Beim 22. Kongress der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation, interventionelle und refraktive Chirurgie (DGII) in Heidelberg werden nach 2-jähriger Förderperiode die ersten Fortschritte in den einzelnen Teilgebieten dargestellt.

<sup>1</sup> Helios Klinikum Erfurt GmbH, Klinik für Augenheilkunde

<sup>2</sup> Fraunhofer Institut für angewandte Optik und Feinmechanik (IOF), Jena

<sup>3</sup> Institut für angewandte Physik (IAP), Friedrich-Schiller-Universität Jena

<sup>4</sup> Carl Zeiss Meditec, Jena



**22. DGII-Kongress**  
**Samstag, 16. 2. 2008**  
**VIII. Wiss. Sitzung:**  
**Refraktive Hornhautchirurgie**  
**10.00 - 12.00 Uhr, Großer Hörsaal**

### Vermessung der Akkommodation: Klinische Studien mit neuem Gerät für Wellenfront-Auswertung

Die morphologischen Veränderungen des Auges bei Akkommodation können mit modernen Messverfahren bereits gut erfasst werden. Um eine objektive Charakterisierung der Presbyopie zu erreichen, sind diese geometrischen Daten alleine jedoch nicht ausreichend, da die optische Wirkung dieser geometrischen Veränderungen bisher nicht vollständig

erklärt werden kann. Es wurden daher zunächst klinische Studien durchgeführt, bei denen zum einen Messungen mit einem neuentwickelten System zur dynamischen Stimulation und Aberrometrie (DSA – Dynamic Stimulation Aberrometry) erfolgten (Abbildung 1). Über eine synchronisierte binokulare Stimulation der Akkommodation mittels eines motorisch verstellbaren Nahziels und einem Fernziel ist mit dem Gerät eine gezielte Auswertung des zeitlichen Verhaltens der Wellenfront an einem akkommodierenden Auge möglich.

Selektiv wurden Sphäre, Zylinder oder höhere Aberrationen an 84 Augen von 42 Probanden dynamisch analysiert. Die gewonnenen Daten zeigen sowohl die Akkommodations-Amplitude als auch die Reaktionszeit, um diese Anpassung zu erreichen, in Abhängigkeit vom Alter. Damit steht jetzt ein Instrument zur umfassenden objektiven Bewertung der dynamischen Refraktionsänderung eines Auges unter Akkommodation zur Verfügung. Dies ist besonders für die spätere objektive Bewertung eines Therapieerfolges der angestrebten Laserkorrektur notwendig.



Abbildung 1: DSA-Aufsatz auf einem WASCA-Aberrometer: Mit dem Gerät ist eine Auswertung des zeitlichen Verhaltens der Wellenfront an einem akkommodierenden Auge möglich. Es stimuliert die Akkommodation synchronisiert binokular durch ein motorisch verstellbares Nah- und Fernziel.

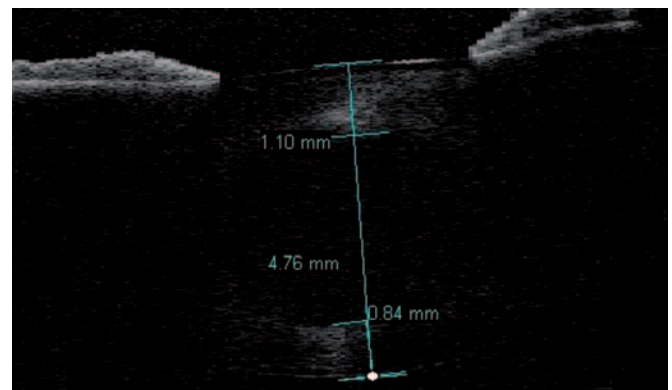


Abbildung 2: OCT-Aufnahme der Linse mit anteriorem und posteriorem Kortex bei Nahakkommodation. Die Dicke des anterioren Kortex, des Linsenkerne und des posterioren Kortex sind markiert und können vermessen werden.

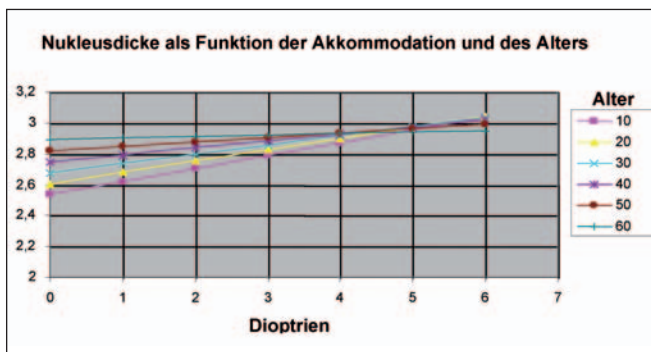


Abbildung 3: Veränderung der Dicke des Linsenkerne (Angaben in mm) als Funktion der Akkommodation (Angabe in Dioptrien). Die Kurven sind nach dem Alter der Probanden getrennt.

Parallel wurden die messbaren Veränderungen sowohl der Vorderkammertiefe als auch des Krümmungsradius der vorderen Linsenkapsel und die Linsendicke mittels Vorderabschnitts-OCT (Visante, Carl Zeiss Meditec) klinisch erfasst. 135 Augen im präpresbyopen und im presbyopen Alter mit unterschiedlichen Refraktionen gingen in die Datenbank ein. Wichtig für die Planung der eventuellen Lasertherapie war dabei auch die Differenzierung unterschiedlicher Linsenstrukturen, insbesondere die Trennung von Kortex und Nukleus der Linse (Ab-

bildung 2). Die hierbei erhobenen Datensätze bestätigen das „Helmholtz-Akkommodationsmodell“, mit einer Zunahme der Linsendicke vor allem durch Zunahme des Nukleus der Linse (Abbildung 3).

### Mathematisches, optisches Augenmodell: Verhalten der Linse wird simuliert

Die in der Klinik gewonnenen morphologischen und optischen Messdaten wurden in eine Datenbank vom Fraun-

hofer Institut für Optik (IOF) in Jena eingespeist. Anhand dieser Daten wurde ein mathematisch berechnetes Modellauge erstellt. Dieses Augenmodell ermöglicht nun, das physiologische Verhalten des Auges während der Akkommodation und während des Alterungsprozesses mathematisch zu erfassen. Insbesondere das Verhalten der Linse wurde mittels eines Finite-Elemente-Modells simuliert (Abbildung 4). Die im theoretischen Rechenmodell gefundenen Simulationsergebnisse korrespondieren gut mit den klinischen Daten. Damit ist die Grundlage geschaffen, um eine Simulation von Laserenergieeinträgen in die Augenlinse und deren mechanische Auswirkung vorzuberechnen. Unsicher bleibt weiterhin die Vorhersage der daraus resultierenden optischen Veränderungen und insbesondere der Qualität der optischen Abbildung am lebenden Menschen.

### Wirkung des Femtosekundenlasers auf Linsengewebe im Experiment

Im Tierversuch gibt es mittlerweile Anhaltspunkte, dass die Behandlung von Linsengewebe mit Femtolaserimpulsen die Elastizität der Augenlinse beeinflussen kann. Am Institut für angewandte Physik der Friedrich-Schiller Universität Jena (IAP) wurden mit unterschiedlichen Parametern Experimente zum Energieeintrag in Augenlinsen vorgenommen. Gewählt wurden Pulsenergien von 0,6 bis 3  $\mu\text{J}$  und Pulsdauern von 200 bis 400 fs. Bei einer Spotgröße von 5  $\mu\text{m}$  und Repetitionsraten bis 200 kHz wurde mit diesen Parametern ein Energieeintrag in Schweinelinsen vorgenommen. Ähnliche Versuchsanordnungen wurden an älteren Schafslinsen durchgeführt. Im Vergleich zu den „jungen“ Schweinen eines Schlachthofes sind die Linsen der Schafe wesentlich härter.

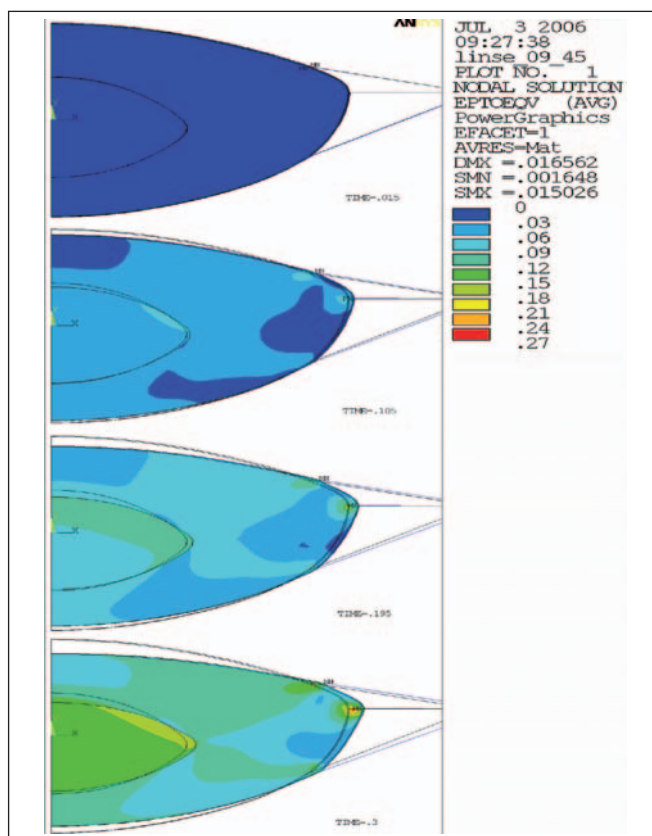


Abbildung 4: Finite-Elemente-Simulation (mathematisches Verfahren zum Lösen von Differentialgleichungen) des Akkommodationsprozesses der Linse (IOF). Das Untersuchungsobjekt (hier: die Linse) wird in eine endliche Anzahl kleiner Elemente aufgeteilt, die dann eine Berechnung ermöglichen. Die Größe der Veränderungen einzelner Elemente kann auch farbig kodiert werden – die Zunahme der Kraftereinwirkung am Ansatz der Zonula ist deutlich sichtbar.

Auch einzelne humane Linsen konnten für die Experimente gewonnen werden.

### **In greifbarer Nähe: Fs-Anwendung an menschlicher Linse**

Bei den anschließenden Untersuchungen des Linsenmaterials zeigte sich eine sehr regelmäßige Anordnung der Femtolaser-Sekundenimpulse in der Linse (Abbildung 5). Die einzelnen Impulse lagen in einem Abstand von 6  $\mu\text{m}$ . Ein zu kräftiges Überlappen der einzelnen Laserimpulse führte zu deutlich verstärkter Blasenbildung im Bereich des Linsengewebes und ist daher unerwünscht. Die „Behandlungszeit“ konnte gegenüber vorherigen Veröffentlichungen um einen Faktor 40 verkürzt werden. Es war aber an den Linsen möglich, einen einzelnen Schnitt im Bereich der

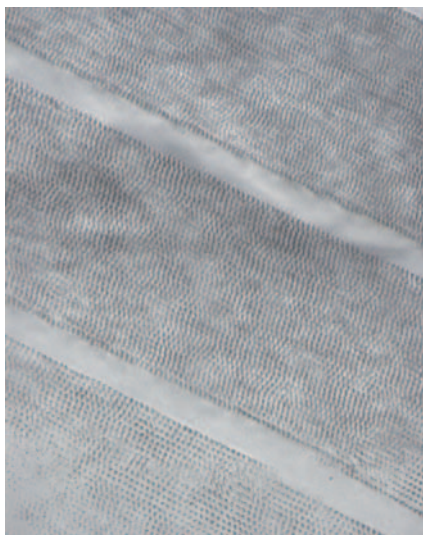


Abbildung 5: Mikroskopische Aufnahme (5x) der Laserspots in der Linse (IAP). Ein dunkler Punkt entspricht einem Lasereffekt – bei entsprechend hoher Laserfrequenz kann in kurzer Zeit eine große Anzahl von Lasereffekten in die Linse „geschrieben“ werden.

vorderen Linsenrinde innerhalb einer Zeit von 10 s zu realisieren. Durch diese Verbesserungen der physikalischen Parameter ist eine Anwendung auch am Menschen in greifbare Nähe gerückt. Um Schnittmuster zu finden, die in den Linsen dann eine Elastizitätszunahme bewirken, wurde weiterhin ein Voraufbau zur Messung der Akkommodationskräfte konstruiert. Mittels dieses realisierten Gerätes kann die Krafteinwirkung auf die Linse, die nötig ist, um eine definierte Deformierung zu erreichen, gezielt gemessen werden.

Korrespondenzadresse:  
PD Dr. med. Marcus Blum  
Klinik für Augenheilkunde  
Helios Klinikum Erfurt GmbH  
Nordhäuser Straße 74  
99089 Erfurt