

DOE-basierter Ansatz zur gleichzeitigen Vermessung von Aberrationen und Hornhautoberfläche des Auges

U. Berg*, M. Beyerlein**, R. Dorn**, T. Eppig**, N. Lindlein*, J. Pfund**, J. Schwider*

*Institut für Optik, Information und Photonik, Universität Erlangen-Nürnberg,

**Optocraft GmbH, Erlangen

mailto: uberg@optik.uni-erlangen.de

Ein Verfahren zur gleichzeitigen Vermessung der Wellenaberration und der Hornhautoberfläche eines Auges wird vorgestellt. Kernstück ist ein diffraktives optisches Element, das auf Grund seiner Wellenlängenselektivität erlaubt, die benötigten zwei unabhängigen Wellenfronten zur Verfügung zu stellen.

1 Einführung

In der ophthalmologischen Diagnostik ist es wünschenswert, die Wellenaberrationen und die Form der Hornhaut (Kornea) gleichzeitig zu messen. Nur so kann sichergestellt werden, dass sich das Auge bei beiden Messungen im exakt gleichen Zustand befand. Zum zweiten bedeutet es auch eine Zeitersparnis, wenn beide Messungen mit einem Gerät vorgenommen werden können.

Zur simultanen Vermessung der Wellenaberrationen des Auges und der Hornhautoberfläche ist es notwendig, gleichzeitig eine ebene Wellenfront und eine konvergente Wellenfront am Auge bereitzustellen. Außerdem müssen die am Auge gestreuten bzw. reflektierten Wellenfronten zur Detektion eindeutig trennbar sein. Dies wird durch die Wellenlängenselektivität eines binären diffraktiv optischen Elementes (DOE) ermöglicht. Die Messung der Wellenfronten erfolgt jeweils mit einem Shack-Hartmann Sensor.

2 Messprinzip des Shack-Hartmann Sensors

Die zu messende Wellenfront fällt auf ein Mikrolinsen-Array. Ein CCD-Chip in der Fokalebene detektiert die Lage der Foki. Über die laterale Verschiebung der Foki lässt sich ein Gradientenfeld bestimmen, aus dem die Form der Wellenfront rekonstruiert wird (vgl. [1]). Dies wird in Abb. 1 veranschaulicht.

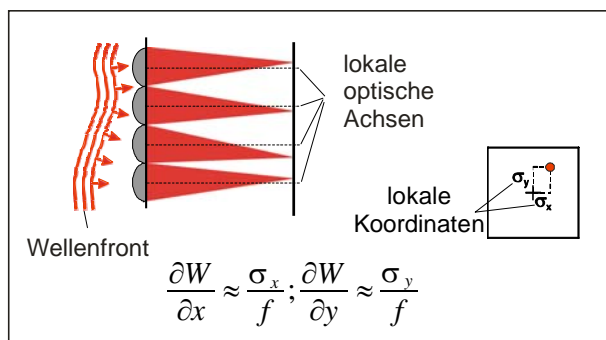


Abb. 1 Messprinzip des Shack-Hartmann Sensors.

3 Anforderungen der Augenmessung

Ziel ist es, gleichzeitig die Wellenaberrationen und die Form der Hornhaut (Kornea) zu messen. Beide Größen lassen sich über eine Wellenfrontmessung erfassen [2][3], jedoch sind die Anforderungen an die jeweils zur Verfügung gestellte Eingangswellenfront sehr unterschiedlich.

Hornhaut-Topographie: Ein aufgeweiteter Strahl wird durch ein DOE (teilweise) an die Korneaform angepasst. Das von der Kornea reflektierte Licht passiert wieder das DOE und wird dann mit einem Shack-Hartmann Sensor (SHS) gemessen.

Aberrometrie: Ein dünnes Strahlenbündel tritt in das (entspannte) Auge ein und formt einen kleinen Lichtfleck auf der Retina. Die Wellenfront des von dort zurückgestreuten Lichtes wird mit einem zweiten SHS erfasst. Das dünne Eingangsstrahlenbündel ist notwendig um Doppel-Pass-Effekte bei der Messung zu vermeiden [4].

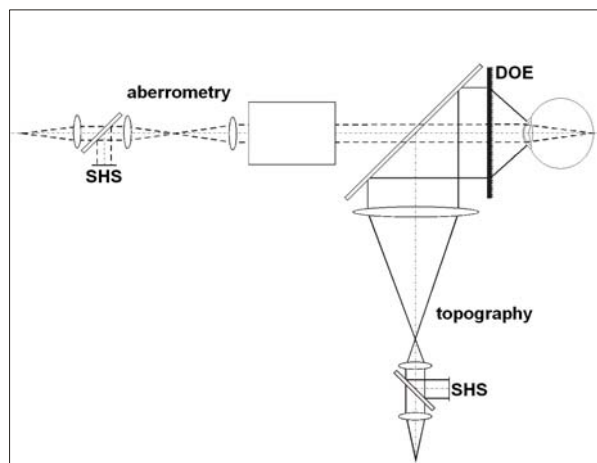


Abb. 2 Schema des Aufbaus mit wellenlängenselektivem Strahlteiler und DOE, das nur für eine Wellenlänge wirksam ist.

4 Diffraktives Optisches Element

Für die Topographie-Messung wird die aufgeweitete Wellenfront durch ein binäres DOE angepasst. Die Wirkung eines solchen DOEs beruht darauf, dass für die Design-Wellenlänge zwischen Graben und Steg der binären Struktur ein Phasenhub von einer halben Wellenlänge erzeugt wird.

Durch geeignete Wahl der Wellenlängen für Topometrie und Aberrometrie ist es möglich, dass das DOE nur für den Topographiestrahlgang wirksam ist, während das Licht des Aberrometriestrahlgangs mit der halb so großen Wellenlänge unbeeinflusst bleibt. Für letztere Wellenlänge erzeugt das DOE nämlich einen Phasenhub von einer ganzen Wellenlänge.

Abb. 2 zeigt, wie man die beiden Strahlengänge unter Verwendung eines solchen DOEs und eines wellenlängenselektiven Strahlteilers kombinieren kann.

5 Messaufbau

Im Rahmen eines Projekts der OPTOCRAFT GmbH wurde von uns ein Testaufbau erstellt, an dem die Tauglichkeit des Verfahrens durch Messungen an Modellaugen gezeigt wurde. Dieser ist in Abb. 3 zu sehen. Die Strahlengänge für die Topographie (rot) und Aberrometrie (grün) sind schematisch eingezeichnet.

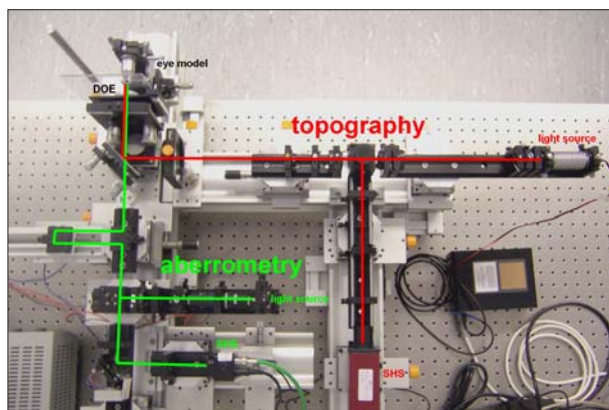


Abb. 3 Testaufbau mit Topometrie- und Aberrometrie-Strahlengang (schematisch).

6 Ergebnisse

Mit diesem Testaufbau wurden Messungen an Modellaugen durchgeführt. Abb. 4 zeigt eine solche Messung an einem Modellauge aus PMMA. Das obere Bild zeigt die Aberrometrie-Messung, das untere die Topometrie. Das verwendete DOE erzeugt eine sphärische Wellenfront. Die Wellenfront ist also nur teilweise an die Oberflächenform angepasst. Die Asphärizität der Modell-Hornhaut äußert sich in dieser Situation in erster Linie als Sphärische Aberration.

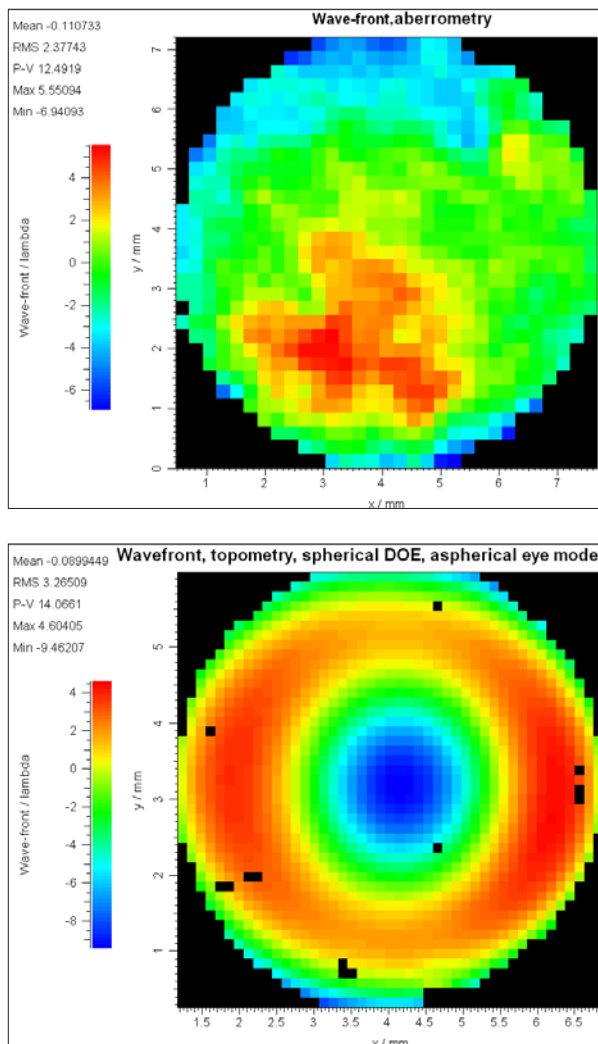


Abb. 4 Messungen an einem Modellauge aus PMMA. Oben Aberrometrie unten Topometrie.

Literatur

- [1] D. Malacara: *Optical Shop Testing*, John Wiley & Sons, New York/Chichester/Brisbane/Toronto, 1978
- [2] J. Liang et al.: *Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor*, J. Opt. Soc. Am. A 11(7), pp1949-1957 (1994)
- [3] F. Zhou et al.: *Validation of a combined corneal topographer and aberrometer based on Shack-Hartmann wave-front sensing*, J. Opt. Soc. Am. A 21(5), pp. 683-696 (2004)
- [4] L. Diaz-Santana. *Wavefront Sensing in the Human Eye with a Shack-Hartmann Sensor*. Ph.D. Thesis, Imperial College, London (2000)