



SIMULATIONSGESTÜTZTE BESTIMMUNG DER BIOMECHANIK AM MENSCHLICHEN AUGE

Dipl.-Ing. Stefan Münch, Dr. Mike Röllig, Dr. Frank Schubert

Je früher man Krankheiten erkennt, desto früher kann man diese therapieren. Bei Augenerkrankungen wie dem Grünen Star sind bisherige Diagnosemöglichkeiten begrenzt. Hinzu kommt, dass man durch Behandlungen nur den Ist-Zustand erhalten und keine Verbesserung erzielen kann. Ähnlich verhält es sich beim Keratokonus, einer Ausdünnung und Verformung der Hornhaut. Um die Erkrankungen möglichst früh zu erkennen und damit viel Sehkraft erhalten zu können, bedarf es einer effektiven Methode.

Ursache oder Nebenwirkung verschiedener Augenerkrankungen sind Änderungen in den biomechanischen Eigenschaften der Augenbestandteile. Die Herausforderung besteht darin, diese Eigenschaften zerstörungsfrei zu bestimmen. Dafür hat die OCULUS Optikgeräte GmbH ein Gerät zur berührungslosen Messung des Augeninnendrucks entwickelt, ein sogenanntes Luftpulstonometer. Dieses verformt mithilfe eines Luftstrahls die Augenhornhaut und zeichnet die Verformungen optisch auf. Anhand der Verformungen kann dann auf die biomechanischen Eigenschaften des Auges geschlossen werden, wenn man die funktionellen Zusammenhänge kennt.

Das Fraunhofer IKTS-MD, die OCULUS Optikgeräte GmbH und die Augenklinik des Universitätsklinikums Dresden arbeiten aktuell an einer Weiterentwicklung des Geräts. Ziel dieses Projekts ist die Ermittlung von Regressionsfunktionen zur inversen Bestimmung der Materialeigenschaften des Auges.

Ein numerisches Modell ermöglicht mit vergleichsweise wenig Aufwand viele Parametervariationen durchzuführen. In Kombination mit statistischen Verfahren wie der Signifikanzanalyse kann man so die Einflüsse verschiedener Parameter auf bestimmte Zielgrößen systematisch untersuchen. Ausgangspunkt für ein solches Modell war in diesem Fall die Bestimmung der Kennwerte des Luftimpulses, die durch die Instationarität des Impulses messtechnisch nicht erfassbar sind. Deshalb wurden Experimente an Kontaktlinsen durchgeführt. Diese Versuche

wurden anschließend unter Variation der Luftimpulskennwerte nachsimuliert, um die funktionellen Zusammenhänge zu erfassen. Das Diagramm zeigt den relativen Fehler zwischen dem Ergebnis der Funktionen und des Experiments in Abhängigkeit der Kennwerte. Im weiteren Projektverlauf wurde ein geometrisch detailliertes numerisches Modell des menschlichen Auges erstellt, das nun schrittweise an die Realität herangeführt wird. Aktuell beinhaltet es anisotrope Materialeigenschaften, die entsprechend dem realen Verlauf der Collagenfasern im Auge (= Faserverstärkung) ausgerichtet sind. Zudem besitzt das Modell einen Iterationsalgorithmus, der den geometrischen Ausgangszustand des Auges unter Innendruck mit hoher Genauigkeit einstellt. Zukünftig werden hyperelastische Materialmodelle und eine für Faserverbundwerkstoffe typische Abhängigkeit der Materialeigenschaften von der Beanspruchungsart (Zug/Druck) implementiert.

Obwohl das Modell noch nicht ausgereift ist, konnten neben gerätetechnischen bereits medizinischen Fragestellungen nachgegangen werden, beispielsweise Untersuchungen zum Einfluss des Glaskörpers und seiner Viskosität auf das Verformungsverhalten und den Innendruck. Weiterhin wurden vereinfachte Regressionsfunktionen zur Bestimmung der Biomechanik ermittelt. Zukünftig sollen Funktionen mit höherer Genauigkeit und zusätzlichen Aussagen folgen.

- 1 Numerisches Modell des menschlichen Auges.
- 2 Verformter Modellzustand (Fluid ausgeblendet).
- 3 Oberflächendarstellungen der relativen Abweichung über den Luftimpulskennwerten.