

Fachbereich
Angewandte Naturwissenschaften
Studiengang Biomedizintechnik

Bachelor-Abschlussarbeit

Optikdesign für eine hochaufgelöste und abgeflachte Corneadarstellung im Messfenster einer intraoperativen OCT-Kamera

Zusammenfassung

Ziel. Das Ziel dieser Arbeit ist das Design, der Bau und die Analyse eines Vorderabschnittmoduls für die intraoperative OCT-Bildgebung, das die abgeflachte und hochaufgelöste Darstellung der menschlichen Cornea ermöglicht. Die Motivation ist das Liefern eines funktionierenden Ansatzes für die Verbesserung der diagnostischen OCT-Bildgebung im intraoperativen Einsatz.

Material und Methode. Die Entwicklung folgt einem Prozess, zu Beginn wurden Anforderungen und Ziele definiert. Das software-gestützte Optikdesign fand mit Zemax OpticStudio 16.5 statt. Danach wurde eine Halterung konstruiert und mittels 3D-Druck gefertigt. Für die Analyse der entwickelten Optik stehen zwei unterschiedliche SLD-Lichtquellen zur Verfügung, die eine ermöglicht Standardbildgebung, die andere ultrahoch-aufgelöste Bildgebung. Mit einem Operationsmikroskop und zwei OCT-Kameras wurden Aufnahmen von Modellaugen gemacht und mit definierten Messmitteln optische Parameter vermessen. Dazu gehören die laterale sowie axiale Auflösung, die Berechnung des abgescannten Corneabereichs, die relative OCT-Vergrößerung sowie der Transmissionswert. Danach folgte die qualitative Bewertung von in-vivo Aufnahmen zweier Probanden sowie die Bewertung von Modellcorneas mit Nanopartikeln.

Ergebnisse. Die axiale Auflösung beträgt je nach Lichtquelle $(8,48 \pm 0,10) \mu\text{m}$ oder $(3,31 \pm 0,04) \mu\text{m}$. Je nach Vergrößerung wird eine kleinste laterale Auflösung von $(24,8 \pm 2,86) \mu\text{m}$ oder größte laterale Auflösung von $(12,4 \pm 1,43) \mu\text{m}$ erreicht. Die kleinste abgedeckte Corneafläche beträgt $(2,41 \pm 0,35) \text{mm}^2$, die größte $(52,5 \pm 1,93) \text{mm}^2$. Die kleinste relative OCT-Vergrößerung für eine Zoomstufe beträgt $(3,16 \pm 0,14)$, die größte $(3,44 \pm 0,04)$. Der optische Transmissionswert mit Serien-SLD ist $(76,7 \pm 1,02) \%$, der mit hochauflösender SLD $(72,9 \pm 2,77) \%$. Die angegebenen Fehler der lateralen Vergrößerung, der abgedeckten Corneafläche und der relativen OCT-Vergrößerung sind Ablesefehler, andere statistische oder systematische Fehler können diesen Fehler vergrößern. Mittels hochauflösender Lichtquelle sind detailreiche in-vivo Aufnahmen der vorderen Schichten entstanden. Besonders die Trennung zwischen Epithel und Stroma lässt sich gut erkennen. Die hinteren Schichten sind nur bei geringer Vergrößerung gut sichtbar.

Schlussfolgerung. Abgeflachte Corneabildgebung funktioniert und ist mit einfachen Ansätzen erreichbar. Die entwickelte Optik hält als Demonstrator den meisten der selbst definierten Anforderungen stand, bietet aber auch Ansätze für Verbesserungen. Die Bildqualität ist bei niedriger und mittlerer Vergrößerung am besten. Eine Weiterentwicklung würde sinnvollerweise mit Custom-Linsen stattfinden. Eine klinische Studie muss darüber hinaus zeigen, ob die Abflachung einen Mehrwert für die Corneachirurgie bietet.

Schlüsselwörter: OCT-Bildgebung, iOCT, ultrahoch-aufgelöste OCT, UHR-OCT, Abflachung, Vorderabschnitt, Corneabildgebung, Corneaschichten

Abstract

Purpose. The purpose of this thesis is to design, build and analyze an anterior segment module for intraoperative OCT-imaging that is capable of a flattened and high-resolution representation of the human cornea. The motivation is to develop a working approach for improving diagnostic OCT-imaging in an intraoperative use.

Material and methods. The development follows a process. At its beginning goals and requirements were defined. The software-supported optical design was developed with Zemax OpticStudio 16.5. After that an optical mount was constructed and 3d-printed. Two different SLD lightsources for the analysis of the developed optical system were available, one is capable of standard imaging, the other one is capable of ultrahigh-resolution imaging. By using a surgical microscope and two OCT-cameras images of model eyes were taken. With defined devices optical parameters were measured. This includes the lateral and axial resolution, the calculation of the scanned corneal area, the relative OCT magnification and the optical transmission. A qualitative evaluation of in vivo images from two subjects as well as model corneas with nano-sized particles followed.

Results. The axial resolution depends on the lightsource and is either $(8,48 \pm 0,10) \mu\text{m}$ or $(3,31 \pm 0,04) \mu\text{m}$. The lowest lateral resolution is $(24,8 \pm 2,86) \mu\text{m}$ and the highest lateral resolution is $(12,4 \pm 1,43) \mu\text{m}$, depending on the magnification. The lowest value of the scanned corneal area is $(2,41 \pm 0,35) \text{mm}^2$ and the highest value $(52,5 \pm 1,93) \text{mm}^2$. The smallest relative OCT-magnification for one zoom is $(3,16 \pm 0,04)$, the highest is $(3,44 \pm 0,04)$. The optical transmission with the serial-SLD is $(76,7 \pm 1,02) \%$ and with the high-resolution SLD it is $(72,9 \pm 2,77) \%$. The stated error of the lateral resolution, the scanned corneal area and the relative OCT-magnification is a reading error. Other statistic and systematic errors may increase this error. Using the high-resolution SLD resulted in high detailed in vivo images. The distinction between the epithelium and the stromal tissue succeeds well. The deeper layers are well visible only at low magnifications.

Conclusion. Flattened corneal imaging works and is achievable by using a simple approach. The developed optical system fulfills most of the self-defined requirements but still offers room for improvement. The image quality is best at low or medium magnifications. Further developments should include custom lenses. Furthermore, a clinical trial has to show that flattening has an additional value to corneal surgery.

Keywords: OCT imaging, iOCT, ultrahigh-resolution OCT, UHR-OCT, flattening, anterior segment, corneal imaging, corneal layers

Verfasser: Fabian Henk

Betreuer: Prof. Dr. rer. nat. Mathias Beyerlein

Korreferent: Dr. rer. nat. Marc Krug

Datum der Abgabe: 10.06.2020