

Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin

Campus Benjamin Franklin

aus der Augenklinik

Direktor: Prof. Dr. Michael Foerster

Hornhauttopometrie mittels ultravioletter Streifenprojektion

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades

Doctor rerum medicarum

Charité – Universitätsmedizin Berlin

Campus Benjamin Franklin

vorgelegt von

Stephan Schründer

aus Münster

Referent: Prof. Dr. med. Friedrich Hoffmann

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. med. Ebba Schwarz

Gedruckt mit Genehmigung der Charité - Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin

Promoviert am: 22.02.2008

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Einleitung und Motivation..... | 5 |
| 2 | Grundlagen | 7 |
| 2.1 | Das Auge | 7 |
| 2.1.1 | Anatomie des Auges | 7 |
| 2.1.2 | Refraktion des Auges und Bildentstehung auf der Netzhaut | 8 |
| 2.1.3 | Anatomie der Hornhaut..... | 9 |
| 2.1.4 | Hornhautform | 11 |
| 2.1.5 | Optische Eigenschaften der Hornhaut | 12 |
| 2.2 | Hornhauttopometrie | 15 |
| 2.2.1 | Historische Entwicklung | 15 |
| 2.2.2 | Verfahren zur Hornhauttopometrie..... | 18 |
| 2.2.3 | Darstellung der Hornhauttopologie | 27 |
| 2.3 | Refraktive Hornhautchirurgie..... | 30 |
| 2.3.1 | Technologische Voraussetzungen | 30 |
| 2.3.2 | Geräteentwicklungen | 31 |
| 2.3.3 | Behandlungsschritte..... | 34 |
| 2.3.4 | Behandlungsmethoden | 34 |
| 2.3.5 | Fehlerquellen und Komplikationen | 35 |
| 3 | Material und Methoden | 40 |
| 3.1 | Meßverfahren und Datenverarbeitung | 40 |
| 3.1.1 | Projektion | 42 |
| 3.1.2 | Detektion | 44 |
| 3.1.3 | Kalibrierung..... | 47 |
| 3.1.4 | Auswertung | 47 |
| 3.1.5 | Registrierung | 49 |
| 3.1.6 | Meßgrößen und Statistik | 50 |
| 3.1.7 | Unbedenklichkeit und Bestrahlungsgrenzen | 53 |
| 3.2 | Experimente..... | 55 |
| 3.2.1 | Testkörper | 55 |
| 3.2.2 | Augen..... | 57 |
| 4 | Ergebnisse..... | 62 |
| 4.1 | Messungen an Testkörpern..... | 62 |
| 4.1.1 | Meßgenauigkeit | 62 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1.2 | Reproduzierbarkeit im Meßvolumen..... | 62 |
| 4.2 | Messungen an Augen | 63 |
| 4.2.1 | Schlachthofaugen | 63 |
| 4.2.2 | Probandenaugen | 65 |
| 4.2.3 | Sleralprofil | 70 |
| 4.2.4 | Keratokonus | 73 |
| 4.2.5 | Keratoplastik | 76 |
| 4.2.6 | Photorefraktive Keratektomie (PRK) | 77 |
| 4.2.7 | Laser in Situ Keratomileusis (LASIK) | 81 |
| 5 | Diskussion | 92 |
| 5.1 | Hornhauttopometrie..... | 93 |
| 5.1.1 | Keratometer | 93 |
| 5.1.2 | Videokeratoskope..... | 93 |
| 5.1.3 | Spaltscannende und –rotierende Systeme..... | 95 |
| 5.1.4 | Projektionssysteme mit Fluoreszein | 96 |
| 5.1.5 | Streifenprojektionsverfahren | 97 |
| 5.1.6 | UV Streifenprojektion | 97 |
| 5.2 | Intraoperative Messungen..... | 98 |
| 5.2.1 | Alternative Methoden..... | 98 |
| 5.2.2 | Topometrie während Photorefraktiver Keratektomie (PRK)..... | 101 |
| 5.2.3 | Topometrie während Laser in situ Keratomileusis (LASIK) | 102 |
| 5.2.4 | Topometrie von Flapfalten und Übergangszonen | 103 |
| 5.2.5 | Bewertung der Firma Alcon | 106 |
| 6 | Zusammenfassung | 108 |
| 7 | Literatur..... | 110 |
| 8 | Anhang..... | 116 |
| 8.1 | Danksagung..... | 116 |
| 8.2 | Lebenslauf..... | 117 |
| 8.3 | Erklärung | 118 |

8 Anhang

8.1 Danksagung

Ganz besonders herzlich möchte ich mich bei meinem Betreuer und Erstgutachter Prof. Dr. Friedrich Hoffmann bedanken. Seiner Geduld und Beharrlichkeit ist es geschuldet, daß diese Dissertation doch noch entstand. Mit seinen freundlichen und kritischen Anmerkungen und Fragen hat er dafür gesorgt, daß die Arbeit in sich schlüssig und vollständig wurde.

Bedanken möchte ich mich vor allem auch bei meinem langjährigen Freund PD Dr. Dr. Norbert Müller-Stolzenburg, der mich 1988 an die Thematik der Laseranwendungen am Auge herangeführt hat.

Die ersten Untersuchungen fanden an der Laser- und Medizin Technologie gGmbH unter der Leitung von Prof. Dr. Gerhard Müller und Dr. Hansjörg Albrecht statt, bei denen ich mich ganz herzlich für ihre Unterstützung bedanke.

Fortgesetzt wurden die Arbeiten an der Augenklinik der Charité unter Prof. Dr. Dr. Hartmann[†], dem ich vor allem dafür Dank schulde, daß er mir die nötige Freiheit zur Forschung gab.

Entscheidende Fortschritte wurden in der BioShape AG gemacht, wo mir die Herren Andreas Dankert, Hendrik Fuchs, Saso Spasovski und Daniel Klüting bei vielen Aspekten intensiv halfen. Ihnen sei ausdrücklich gedankt.

Die Arbeit wäre nicht ohne die finanzielle Unterstützung der Technologieholding (später 3i) möglich gewesen. Unser Betreuer war Holger Specht, dem ich hiermit danke.

Die klinischen Tests kamen in Kooperation mit der Firma Alcon zustande, die dafür die Kosten übernahm. Hier möchte ich besonders den Herren Steven Bott, Robert Stevens, George Pettit und Kevin Liedel aus den USA herzlich danken.

Die klinische Studie wurde in Mailand bei Dr. Francesco Carones und in Prag bei Drs. Martin Filipec und Josef Hycl durchgeführt, denen ich hiermit für Ihre Hilfe danke.

Aus der Technologie entstandene Weiterentwicklungen erfolgen derzeit mit Unterstützung der Gründerwerkstatt der Technischen Fachhochschule Berlin in enger Kooperation mit dem Studiengang Augenoptik/Optomietrie. Dort gilt mein besonderer Dank den Herren Prof. Dr. Manuel Fraatz und Prof. Dr. Peter Moest sowie dem Augenoptiker Thomas Mühlberg.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei meinen lieben Eltern Myrte und Wolfgang Schröder, die mir stets die Freiheit ließen, meinen eigenen Weg zu wählen und mich dabei uneingeschränkt nach Kräften unterstützten.

Mein ganz besonderer Dank gilt aber meiner geliebten Frau Sigrid und unseren wunderbaren Töchtern Emilia und Philippa. Sie haben mir mit ihrer endlosen Liebe Stärke gegeben, um auch in schwierigen Phasen nicht zu verzweifeln und haben mit mir die Freude über gelungene Momente geteilt.

8.2 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.

8.3 Erklärung

Ich, Stephan Schröder, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Hornhauttopometrie mittels ultravioletter Streifenprojektion“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

Berlin, 04.02.2008

Stephan Schröder