Universitätsklinikum Ulm
Klinik für Augenheilkunde
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. Gerhard K. Lang

Untersuchung möglicher Ursachen eines „Refractive surprise“ nach Katarakt-Operation mit Standardverfahren und zusätzlicher Bildgebung mittels Visante-OCT

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm
vorgelegt von

Daniela Keller

Ulm

2016

Amtierender Dekan	Prof. Dr. rer. nat. Thomas Wirth
1. Berichterstatter	Prof. Dr. Gerhard K. Lang
2. Berichterstatter	Prof. Dr. Dr. Michael Georgieff
Tag der Promotion	21.10.2016

meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis

Seite

1 EINLEITUNG **1**

1.1 Allgemeines zur Katarakt 1

1.2 Geschichte der Kataraktchirurgie 6

1.3 Heutige Operationstechnik 8

1.4 Intraokularlinsen 10

1.5 Refractive surprise 13

1.6 Studienziel 14

2 MATERIAL UND METHODEN **15**

2.1 Studienaufbau 15

2.2 Patientenkollektiv 15

2.3 Ethikkomission 16

2.4 Studienablauf 16

2.5 Statistische Auswertung der Daten 28

3 ERGEBNISSE **30**

3.1 Deskriptive Statistik 30

3.2 Ergebnisdarstellung 47

	Seite
4 DISKUSSION	**65**
4.1 Refractive surprise	66
4.2 Biometrie, Augenanomalien	67
4.3 IOL	72
4.4 Hinterer Augenabschnitt	74
4.5 Visante OCT	75
5 ZUSAMMENFASSUNG	**76**
6 LITERATURVERZEICHNIS	**78**
7 ANHANG	**84**
8 DANKSAGUNG	**86**
9 LEBENSLAUF	**87**

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	= Abbildung
AL	= **A**chs**l**änge des Augapfels
AR	= Autorefraktor
CE	= **C**ataract**e**xtraction
cc	= cum correctione (korrigierter Visus)
D	= Dioptrie (Formelzeichen)
dpt	= Dioptrie (Einheitswert)
ERM	= **e**pi**r**etinale **M**embran
HKL	= **H**inter**k**ammer**l**inse
IOL	= **I**ntra**o**kular**l**inse
LA	= linkes Auge
LASIK	= **L**aser **a**ssisted **i**n **s**itu **k**eratomileusis
m	= Meter
mm	= Millimeter
Max	= Maximum
Min	= Minimum
µm	= Mikrometer
N	= Fallzahl
OCT	= **O**ptical **C**oherence **T**omography, Optische Kohärenztomografie
Phako	= Phakoemulsifikation

postOP	= postoperativ
präOP	= präoperativ
PRK	= **P**hoto**r**efraktive **K**eratektomie
RA	= rechtes Auge
s.	= siehe
sc	= sine correctione (unkorrigierter Visus)
SNR	= **S**ignal to **N**oise **R**atio, Signal- Rausch-Verhältnis
Vgl.	= vergleiche
VKL	= **V**order**k**ammer**l**inse
VKT	= **V**order**k**ammer**t**iefe

1 EINLEITUNG

„qui dat videre dat vivere“ – „wer Sehkraft gibt - gibt Leben“

(Aufschrift auf dem Wagen des reisenden Okulisten „Chevalier“ John Taylor um 1750)

1.1 Allgemeines zur Katarakt

Der **Ursprung** des Wortes Katarakt ist griechisch. καταρράκτης *katarrháktēs* herabstürzend. Der Katarakt, Wasserfall. Die medizinische Form ist feminin. Die Katarakt. Trübung der Augenlinse, grauer Star. [16] Früher hielt man die graue Trübung der Linse für geronnene Flüssigkeit. Die umgangssprachliche Bezeichnung „grauer Star“ hängt mit dem „starren Blick“ der vollständig Erblindeten zusammen.

Weltweit ist die jährliche Rate der Erblindung durch Katarakt sehr hoch. Sie wird als „avoidable blindness“ also behandelbare Blindheit bezeichnet, da durch eine mit heutigen Methoden relativ einfache Routineoperation, die Entfernung der Linse, Abhilfe geschaffen werden kann.

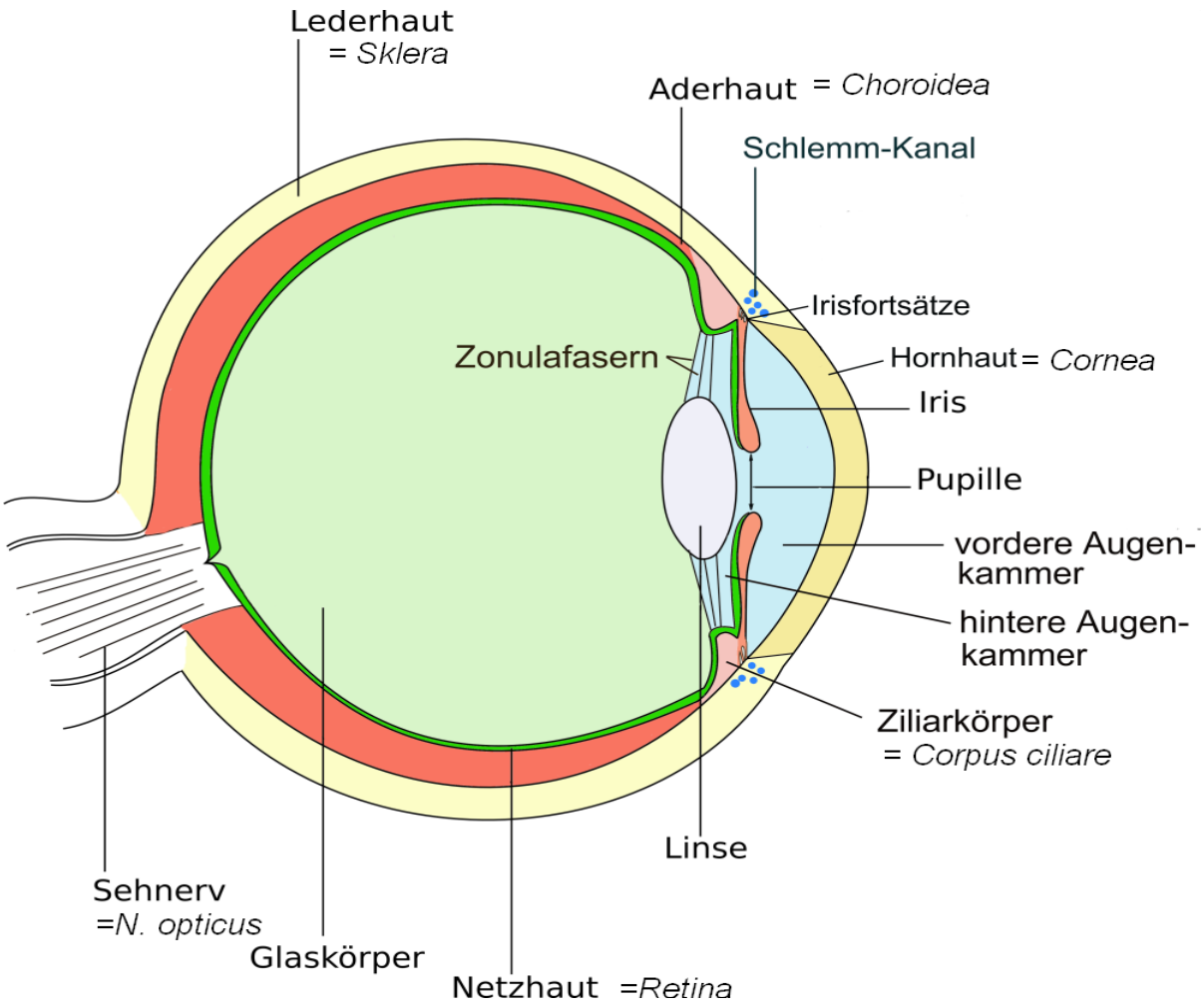

Abb. 1: Auge, schematisch; Von Talos, colorized by Jakov - copied from German Wikipedia, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3321021, bearbeitet (23.3.2016)

Die **Linse** ist Teil des dioptrischen Apparates und durch die Zonulafasern am Ziliarkörper aufgehängt. Sie bildet die Grenze zwischen vorderem und hinterem Augenabschnitt. Sie ist bikonvex, enthält keine Gefäße (avaskulär) und ist dadurch kristallklar. Sie kann durch Wölbung ihre Brechkraft ändern, wodurch eine scharfe Abbildung von Gegenständen in Nähe und Ferne auf der Netzhaut möglich ist. Diesen Vorgang nennt man Akkommodation. Gesteuert wird die Linsenkrümmung durch Kontraktion der Muskulatur des Ziliarkörpers. Im Inneren besteht die Linse aus

einem Kern und einer Kapsel. Sie ist aus langgestreckten lamellenartig gelagerten Linsenfasern aufgebaut. Der anteriore Pol direkt unter der Kapsel ist von einschichtigen Linsenepithelzellen bedeckt, welche lebenslang teilungsfähig bleiben und die azellulären Linsenfasern synthetisieren. Die anterioren Kapselfasern sind daher die Jüngsten und werden nach und nach weiter Richtung Kern gedrängt. Die Linse wächst daher kontinuierlich lebenslang, wodurch ihre Elastizität entsprechend im Laufe der Lebensjahre abnimmt. Es kann nicht mehr akkommodiert werden. Auch der Wassergehalt der Linse nimmt mit dem Alterungsprozess ab. Sie verliert durch diesen Vorgang an Transparenz, was zur Minderung der Sehschärfe führt [2, 3, 35].

Allgemein lässt sich die **Symptomatik bei Linsentrübung** wie folgt zusammenfassen:

- reduzierte Sehschärfe, bis nur noch Lichtschein wahrgenommen werden kann
- Blendung durch unregelmäßige Lichtstreuung
- herabgesetztes Kontrastsehen
- Farbsehstörung, da die meist gelblich verfärbte Linse vor allem blaues Licht herausfiltert
- erschwerte Naheinstellung
- monokulare Doppelbilder (Diplopie), wenn in der Linse Bezirke mit unterschiedlicher Brechung vorliegen und dadurch zwei Brennpunkte entstehen.

1.1.1. Formen der Katarakt

Es lassen sich verschiedene Formen der Katarakt bezüglich der Ursache unterscheiden.

Alterskatarakt (Cataracta senilis)

Katarakt bei systemischen Erkrankungen: Meist ist Diabetes mellitus der verschlimmernde Faktor. Es kann aber auch bei Veränderungen der Stoffwechsellage durch Dialyse oder bei Kalziummangel (Cataracta tetanica) zu Eintrübungen kommen. Weitere Ursachen können unter anderem chronische Neurodermitis (Cataracta syndermatotica) oder Galaktosämie sein.

Katarakt bei Augenerkrankungen (Cataracta complicata): Bei Heterochromie,-zyklitis kann eine einseitige Trübung erfolgen. Weitere Erkrankungen, die eine Linsentrübung nachsichziehen können, sind beispielsweise chronische Iridozyklitis, Retinopathia pigmentosa, Glaukom und Netzhautablösung.

Traumatische Katarakt (Cataracta traumatica): entweder iatrogen nach intraokularen Operationen wie Vitrektomie oder nach externen Verletzungen wie Prellungen (Kontusionsstar) oder perforierenden Verletzungen wie Eisensplitter (Cataracta siderotica) oder Kupfersplitter im Auge.

Physikalisch bedingte Katarakt ist durch Strahlung, Infrarotstrahlung oder Starkstrom bekannt. Katarakt durch Medikamente und Vergiftungen: Bei einer Kortikosteroidtherapie länger als ein Jahr tritt häufig eine subkapsuläre hintere Rindentrübung auf.

Eine Kongenitale Katarakt tritt entweder in Folge von Vererbung oder durch intrauterine Virusinfekte auf (Mumps, Hepatitis, Röteln).

Je nach Lokalisation der Trübung existieren verschiedene Bezeichnungen. Rindenstar (Cataracta corticalis), subkapsuläre hintere Linsentrübung (Cataracta subcapsularis posterior), Kernstar (Cataracta nuclearis), Schichtstar (Cataracta zonularis), Kranzstar (Cataracta coronaria).

Die am häufigsten operierte Form ist die senile Katarakt. Die Einteilung in Altersstadien wird vor allem hier verwendet:

a) Cataracta incipiens. Beginnende Trübung.

b) Cataracta provecta. Fortgeschrittene Trübung.

c) Cataracta immatura. Unreife, noch nicht vollständige Trübung.

d) Cataracta matura. Hier ist die Linse vollständig eingetrübt, “reif“.

e) Cataracta intumescens. Die Linse ist durch Wasseraufnahme stark vergrößert.

f) Cataracta hypermatura. Die Linse ist verflüssigt. Der braune Kern sackt ab.

Risikofaktoren für eine Katarakt sind: UV-Licht, Unterernährung, Myopie, Rauchen, Alkohol, Diabetes mellitus, Kortikosteroide. [21, 29]

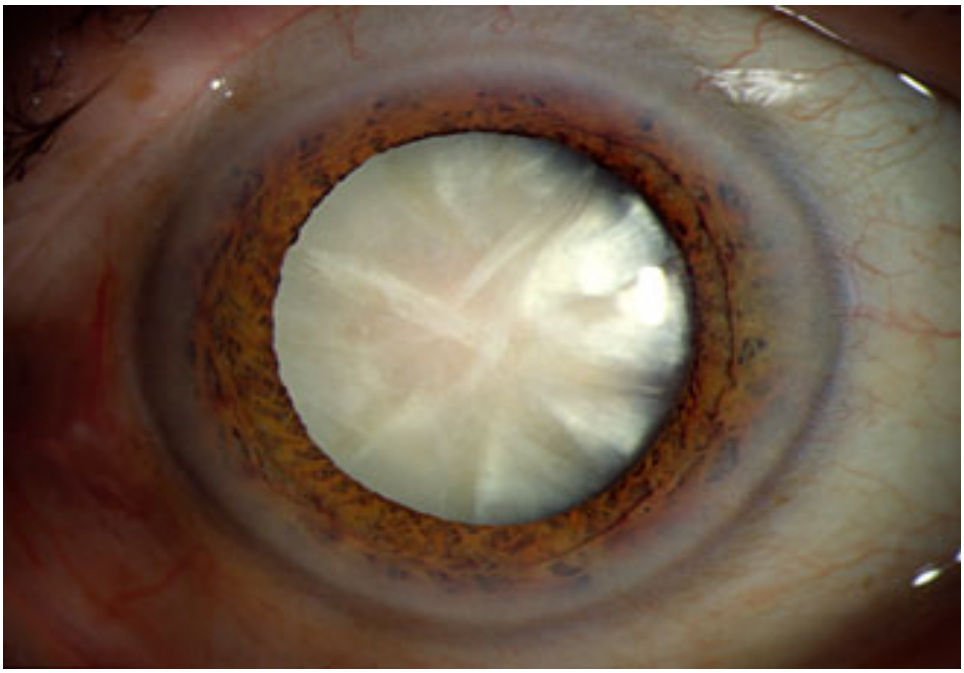

Abb. 2: Senile Katarakt; Augenheilkunde, Prof. Dr. med. G. K. Lang, Universitätsaugenklinik Ulm: (2015 persönliche Mitteilung mit freundlicher Genehmigung von Hr. Prof. Lang)

1.1.2 Therapie der Katarakt

Die einzig kurative **Therapie** der Katarakt ist die Operation. Die getrübte natürliche Linse wird aus dem Auge entfernt und durch eine Kunstlinse ersetzt.

Medizinische Hauptoperationsindikation ist die Sehverbesserung, weitere medizinische Indikationen entstehen, wenn die Gesundheit des Patienten durch die Katarakt gefährdet wird. Dies geschieht, wenn beispielsweise die Linse in ihrer Dicke zunimmt und dadurch den Kammerwinkel verlegt, was zu einem sekundären Glaukom führen kann.

1.2 Geschichte der Kataraktchirurgie

Die Kataraktchirurgie ist sehr alt. Bereits im alten Ägypten wurde Augenheilkunde betrieben. Belege für Kataraktchirurgie finden sich auch bei den Assyrern. Im Gesetzesbuch des Königs Hammurabi (1792-1730 v.Chr.) wird von einer „Öffnung des nakaptu“ oft übesetzt als „Öffnung der Augenhöhle“ gesprochen. [22] Assyrologen legen den Ausdruck verschieden aus, aber es scheint sich um den Starstich zu handeln.

Im 1.Jahrhundert nach Christus schrieb Aulus Cornelius Celsus ein Lehrbuch der Medizin. Der Starstich samt postoperativer Komplikationen wird genauestens erklärt: „(…)Vor der Operation genieße der Kranke 3 Tage lang nur mäßig viel Speise und trinke nur Wasser; am letzten Tage vor derselben darf er weder essen noch trinken. Bei der Operation sitzt der Kranke in einem hellen Zimmer, das Gesicht dem Lichte zugekehrt, auf einem Stuhle; der Operateur sitze ihm gegenüber etwas höher (...) Man nehme nun eine Nadel, welche so scharf sein muss, dass sie bequem eindringen kann, aber nicht zu dünn sein darf, (setze sie an) und durchstoße (...) Befindet sich nun die Nadel in dem leeren Raum, so muss man sie bis an den Star heranbringen, sie dort ein wenig drehen und nun den Star allmählich bis unter die Pupille herunterschieben (...) damit er unten sitzen bleibt. (...)“ [10]

Diese Technik des Starstichs durch Luxieren der Linse in den Glaskörper wurde eineinhalb Jahrtausende unverändert beibehalten. „Okulisten“ reisten quer durch Europa und praktizierten auf Jahrmärkten und in Privathäusern. (s.Abb. 3)
Im 11.Jahrhundert nach Christus beschrieb der Ägypter Ammar Ben Ali al-Mamsli eine neue Technik. Er entleert die Linse durch Absaugen mittels einer Hohlnadel. Dies ähnelt schon eher dem heutigen Verfahren. In Europa führte Jacques Daviel in Marseille zum ersten Mal 1745 einen Linsenextraktion durch. Die Hornhaut wurde zur Hälfte inzidiert, die Linsenkapsel geteilt und die Linse exzidiert. Pellier de Quensy, ein Zeitgenosse Daviels, verbreitete die Technik und beschrieb sie in seinen Lehrbüchern.
Die größten Probleme bestanden in postoperativen Blutungen, Infektionen und Sekundärglaukomen, was meist im Verlust des Auges mündete. Die Operation wurde zu Hause durchgeführt, die Instrumente wurden niemals sterilisiert und meist nur abgewischt (s. Abb. 3). Die meisten Patienten erblindeten. Der Komponist Johann Sebastian Bach wurde ein Opfer einer solchen Operation. Er erholte sich nicht mehr und starb 4 Monate später mit hohem Fieber. Die Infektion hatte ihn wohl das Leben gekostet. [53]

Ende des 19. Jahrhunderts nach Christus wurden Komplikationen wie Schmerz und Infektion vermindert. 1884 entdeckte der Wiener Carl Koller die Anästhesie mittels Kokain auf der Augenoberfläche, nachdem ihn Sigmund Freud auf diesen Aspekt aufmerksam gemacht hatte, und es wurde vermehrt auf sterile Bedingungen geachtet. [14] Walter Atkinson verbesserte die Technik der Lokalanästhesie durch seine Erfindung der Retrobulbärnadel. [48]



Abb. 3: Starstich im barocken Salon; Stich aus dem Werk von Lorenz Heister „de cataracta, glaucomate et amaurosi tractatio, Alfortii 1713“; Universitätsbibliothek Erlangen-Nürnberg

1.3. Heutige Operationstechnik

Eine Kataraktoperation ist heutzutage ein Routineeingriff. Ende des 20.Jahrhunderts kam die Phakoemulsifikation, genannt Phako, auf, welche heute das Standardverfahren darstellt. Dabei wird die Linse mittels Ultraschallwellen durch eine minimale Inzision zertrümmert und abgesaugt.

Anästhesie

Die meisten Kataraktoperationen erfolgen in Lokalanästhesie. Das bedeutet eine retrobulbäre Leitungsanästhesie der motorischen und sensiblen Nerven im Muskeltrichter. Der Zugang erfolgt durch Haut oder Bindehaut. Ebenfalls möglich ist eine Oberflächentropfanästhesie mit Tetracain in Kombination mit einer intracameralen Injektion von verdünnter Lösung während der Hydrodissektion. Jedoch muss der Patient hier aktiv seine Augenbewegungen unterdrücken. Eine Vollnarkose ist eine ebenfalls häufig eingesetzte Variante.

Chirurgie

Nach Desinfektion des Operationsgebietes und Einsetzen des Lidsperrers erfolgt die **Präparation** des Zugangsweges. Die Bindehaut wird am Übergang zur Cornea abpräpariert, sodass die Sklera frei liegt. Nun erfolgt die **Inzision** mit Eröffnung der Vorderkammer an der Corneo-Skleralgrenze durch einen sogenannten „Tunnelschnitt“. Je nach Schnittführung ist eine Naht später überflüssig. Ein alternativer Zugangsweg ist die Tunnelpräparation in der Cornea. Es werden bis zu zwei weitere Zugänge für die Parazentese im Bereich des Limbus corneae angelegt. Danach wird ein Viskoelastikum ins Auge injiziiert. Dies dient zur Erhaltung des Raumes der Vorderkammer.

Die Kapsulorhexis bezeichnet das Eröffnen der vorderen Linsenkapsel. Hierbei wird ein Stück der Kapsel mithilfe einer gebogenen Nadel herausgerissen. Durch Hydrodissektion werden Linse und Linsenkern voneinander getrennt. Nun kann man die Phakosonde einführen. Diese besitzt an ihrer Spitze piezoelektrische Kristalle, die longitudinal schwingen, dabei Ultraschallwellen emittieren und dadurch den Linsenkern zertrümmern. Die Spitze der Phakonadel besteht aus einer Hohlnadel aus Titan, welche die Linsenteile aspirieren kann. Am Häufigsten erfolgt das Zerlegen der Linse in mehrere Fragmente („Divide and Conquer“) als „Vier-Quadranten-Technik“, also die Zerlegung in vier Teile. Die Viertel werden fragmentiert und aspiriert. Die Entfernung der Rinde erfolgt durch weitere Aspiration. Jedoch muss darauf geachtet werden, die hintere Kapsel nicht zu verletzen, was sonst zu erheblichen

Operationskomplikationen führen kann. Der Kapselsack wird ebenfalls mit Viskoelastikum aufgefüllt. Danach erfolgt die Implantation der IOL. Die faltbare Intraokularlinse kann durch einen sehr kleinen Schnitt von etwa 3 mm Länge eingebracht werden. Die Linse wird in den Kapselsack eingebracht und entfaltet sich dort. Die Zentrierung erfolgt durch korrigierende Rotation.

Zum Abschluss wird das Viskoelastikum aus dem Auge aspiriert und die Parazentese mithilfe von Kochsalzlösung durch Hydrierung verschlossen. Die Bindehaut wird mit einer Einzelknopfnaht refixiert.

[21, 29]

1.4 Intraokularlinsen

1.4.1 Allgemeines

Bis ins 20.Jahrhundert blieb nach der Linsenentfernung immer noch die starke Hyperopie von bis zu +20 dpt. Heutzutage wird nach dem Entfernen der Linse eine individuell berechnete Kunstlinse, meist eine Hinterkammerlinse, eingesetzt. Weitere Möglichkeiten sind bei nicht erhaltener Linsenkapsel eine sklerafixierte, eine sulkusfixierte Vorderkammerlinse oder Kontaktlinse.

Früher verwendete „Starbrillen“ sind nur noch selten im Gebrauch. Diese hatten ein starkes Plusglas von +11 bis +12 dpt für die Fernsicht und +15 dpt für die Nähe. Ein Nachteil dieser starken Brillen ist die Vergrößerung aller Gegenstände um 25%, eine Umstellung auf die veränderte Entfernungseinschätzung ist vor allem für ältere Personen nicht einfach. [21] Ein weiteres Problem bei nur einem Auge mit Starglas und einem unoperierten phaken Auge besteht in der Aniseikonie, also einer Ungleichsichtigkeit, die so gravierend ist, dass es für das Gehirn unmöglich wird, die beiden unterschiedlich großen Bilder auf der Retina der beiden Augen zu einem zusammenzuführen.

Die erste Kunstlinse aus Plexiglas wurde von Sir Harold Ridley 1949 implantiert. Sein Versuch resultierte aus Beobachtungen während des 2.Weltkrieges. Verwundete Piloten, die Plexiglasteile ihres gesplitterten Cockpitdachs ins Auge bekamen, entwickelten keine Immunreaktion. [51] Die zweite Linsengeneration in den 50er und 60er Jahren umfasst die frühen Vorderkammerlinsen (VKL). Es wurde nach neuen Fixationsorten gesucht, um Dezentrierungen zu vermindern. Denn die Komplikationen bestanden vor allem in Hornhautdekompensationen durch Druck der nicht fixierten Kunstlinse auf die Hornhauthinterfläche. Die flexiblen VKL waren mit Haptikschlaufen versehen. Doch durch die Biodegradation des Nylon kam es weiterhin zu Dezentrierungen und die Haptiken konnten zu Verletzungen und in der Folge zu Entzündungen führen. Daher war die 3. Linsengeneration um 1960 irisfixiert. Moderne Vorderkammerlinsen werden heute noch implantiert. Das Prinzip der offenen Haptikschlaufen wurde bei der Entwicklung der Hinterkammerlinse weiterverfolgt. In den letzten 20 Jahren wurden sowohl die Kunstlinsen als auch die Operationsmethoden gemeinsam weiterentwickelt und angepasst. Der heutige Standard bei Kataraktoperation besteht in der Implantation von kapselfixierten Hinterkammerlinsen (HKL). Die modernen Faltlinsen bestehen aus Acrylat- oder Methacrylat-Polymeren unterschiedlichen Wassergehalts (hydrophil oder hydrophob) Außerdem sind Silikonelastomere als Material verbreitet. [3]

Allgemein besteht eine IOL immer aus einem zentralen refraktiven Element, der Optik und einer Haptik, die eine stabile zentrale Positionierung der Linse erlaubt (s. Abb 4). Die Fixierung erfolgt mithilfe der Haptikschlaufen entweder im Sulcus oder im Kapselsack. Die in dieser Studie verwendeten HKL wurden in den verbleibenden Kapselsack eingebracht. [29]

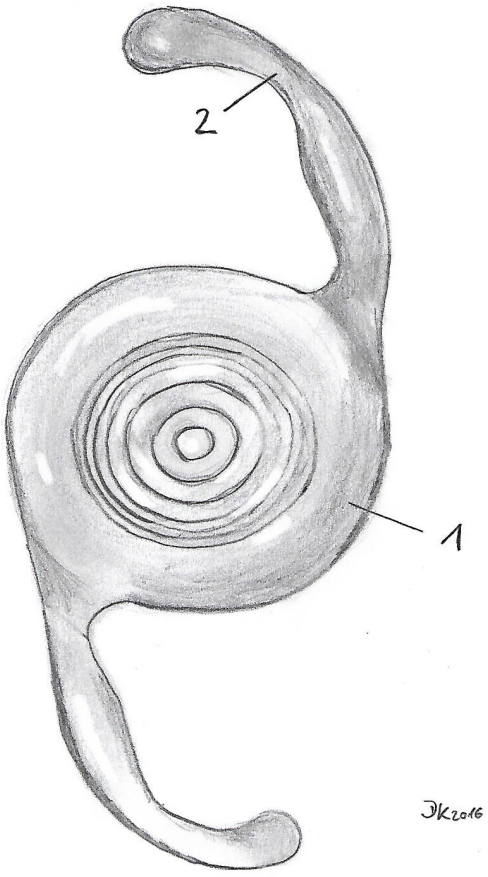

Abb. 4: Intraokularlinse, schematisch; eigene Zeichnung

1= Optik, 2= Haptikschlaufe

1.4.2 IOL Berechnung

Ein wichtiges Element für einen postoperativ guten Visus ist die Berechnung der korrekten Brechkraft der zu implantierenden IOL. Dies muss für jeden Patienten individuell erfolgen. Es gibt verschiedenste Möglichkeiten, die Linsenstärke zu berechnen, beispielsweise das Abschätzen anhand von Hornhautbrechkraft und Achslänge sowie verschiedenste Formeln. Anfangs wurden Röntgenstrahlen zur Bildgebung der inneren Augenabschnitte benutzt, später A-Scan Ultraschall Biometrie. Heutzutage kann die Achslänge, Hornhautkrümmung und Vorderkammertiefe des Auges berührungsfrei mithilfe von Laserlicht gemessen werden. Postoperative Zielrefraktion ist meist eine Emmetropie, das heißt Normalsichtigkeit, bei Kurzsichtigen wird häufig eine leichte Myopie postoperativ belassen. Es sollte jedoch im Zusammenspiel mit dem anderen nicht-operierten Auge keine Anisometropie (Differenz der Brechkraft beider Augen) von mehr als 3 dpt ergeben, da das Gehirn die beiden Bilder sonst nicht fusionieren kann. Daher muss die Zielrefraktion entsprechend gewählt werden.

1.5 Refractive surprise

In einigen Fällen findet sich eine Abweichung der postoperativen Refraktion von der präoperativ festgelegten Zielrefraktion. Eine Refractive surprise wurde in dieser Arbeit als eine Abweichung von über 1 dpt von der Zielrefraktion definiert.

1.6 Studienziel

Ziel der Studie ist es mögliche Ursachen für das Abweichen der postoperativen Refraktion von der Zielrefraktion (Refractive surprise) zu untersuchen und deren Häufigkeit im Patientenkollektiv aufzuzeigen. Dazu wird, zusätzlich zu den bereits standardmäßig durchgeführten Untersuchungen mit dem IOL-Master, eine neue Methode der Bildgebung des vorderen Augenabschnitts, das Visante OCT, eingesetzt. Die Ergebnisse sollen zukünftig in die präoperative Planung einfließen, um Fehlkalkulationen der Hinterkammerlinse zu vermeiden. Dies dient einer Verbesserung des postoperativen Ergebnisses und der Zufriedenheit des Patienten. Komplikationen wie beispielsweise ein zweiter Eingriff zur Korrektur der Refraktion könnten somit vermieden werden. Ein zweiter Eingriff wie eine LASIK oder die Implantation einer zusätzlichen „add-on“ Linse sind wie die erste Operation mit allen Risiken behaftet, die ein operativer Eingriff nach sich ziehen kann.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Studienaufbau

Die Studie erfasst prospektiv erhobene Daten von 53 Patienten mit einer untersuchten Gesamtanzahl von insgesamt 61 Augen in der Augenklinik der Universität Ulm. Die Untersuchungen wurden im Zeitraum von zwei Jahren (2010, 2011) an den Patienten durchgeführt, jeweils vor und nach einer Kataraktoperation mittels Phakoemulsifikationsverfahren und Implantation einer Intraokularlinse. Zusätzlich zu den Standarduntersuchungen im Rahmen eines solchen Eingriffs wurden prä- und postoperativ Messungen mittels der Bildgebung des vorderen Augenabschnitts durch das Zeiss Visante OCT durchgeführt.

Zielsetzung war, mögliche Ursachen für die postoperative Abweichung von der präoperativ berechneten Zielrefraktion, einen sogenannten "Refractive surprise", zu finden.

2.2 Patientenkollektiv

Einschlusskriterien der Patienten für die vorliegende Studie waren

- das Vorliegen einer Katarakt und

- deren Behandlung durch eine CE mit Implantation einer IOL in den Kapselsack.

Nicht eingeschlossen wurden Fälle mit gleichzeitiger Rubeosis iridis oder akuten okulären Entzündungen oder Pupillenmotilitätsstörungen oder vorhergegangener refraktiver Chirurgie wie LASIK.

2.3 Ethikkomission

Die Ethikkommission der Universität Ulm gab einen positiven Bescheid zur Durchführung der Studie. Alle angewendeten Untersuchungsverfahren waren berührungs- und schmerzfrei und sämtliche verwendeten Geräte etabliert. Keiner der Patienten musste sich unabhängig von seinem Klinikaufenthalt zu den Untersuchungen begeben. Eine mündliche und schriftliche Aufklärung jedes einzelnen Patienten über die Untersuchungen und Datenerhebung war obligatorisch. Die Datenverarbeitung erfolgte anonym und erst nach schriftlicher Einwilligung.

2.4 Studienablauf

Freiwillig an der Studie teilnehmend wurden die Probanden vor und nach der Operation am Universitätsaugenklinikum Ulm vom stets gleichen Untersucher examiniert.

2.4.1 Datenerhebung vor der Operation

Zum stationären Aufenthalt stellten sich die Patienten in der Regel einen Tag vor der Operation zur Aufnahme vor. An diesem Tag wurden die präoperativen Daten der Patienten erhoben. Vor Aufnahme in die Studie erfolgte ein persönliches Gespräch mit dem Patienten, wobei umfassend über die Studienteilnahme aufgeklärt und nach Beantwortung offener Fragen seitens des Patienten das schriftliche Einverständnis zur Teilnahme eingeholt wurde.

Nachfolgend erfolgte die bei diesem Eingriff vorgenommene standardisierte Erhebung bei jedem einzelnen Patienten von Alter (Jahre), Geschlecht (männlich, weiblich), zu operierendes Auge (LA,RA), Brillenwerte, Fernvisus, Autorefraktion. Mit dem IOL-Master wurden die Achslänge des Bulbus (mm), die Vorderkammertiefe (mm) und die Keratometrie ermittelt. Die Keratometrie umfasst Informationen über die Hornhautkrümmung. Aus diesen Werten berechnet der IOL-Master über die gewünschte Zielrefraktion die benötigte Linsenstärke mithilfe der Haigis-Formel.

Außerdem wurde speziell studienspezifisch ein OCT der Makula durchgeführt, um die zentrale Netzhautdicke (µm) und das eventuelle Vorliegen einer epiretinalen Membran zu ermitteln. Eine epiretinale Membran ist eine Proliferation retinaler Gliazellen im vitreoretinalen Zwischenraum. Dies kann Visusminderungen und Metamorphopsien verursachen.
Studienspezifisch wurde eine Bildgebung des vorderen Augenabschnitts mit dem **Zeiss Visante OCT** durchgeführt. Damit wurde präoperativ die Vorderkammertiefe, also der Abstand der Hornhauthinterfläche zur Linse, ermittelt (mm). Die Messungen mit dem Zeiss visante OCT wurden sowohl prä- als auch postoperativ vom selben Untersucher unter gleichen Bedingungen in Mydriasis durchgeführt.

2.4.2 Geräte und Messverfahren

2.4.2.1 Refraktionsbestimmung

Begonnen wurde mit der Messung der objektiven Refraktion, d.h. der Messung der Brechkraft unabhängig von subjektiven Patientenangaben. Hierzu verwendeten wir einen **Autorefraktor**. Der Patient blickt direkt in das Gerät welches die Brechkraft sphärisch und zylindrisch erfasst. Für die Brechkraftbestimmung wird eine Testfigur auf die Retina projiziert. Der AR ermittelt die Abbildungsqualität und reguliert mit Korrekturlinsen nach, bis der Sollwert der Abbildung erreicht ist.
Mehrere (mindestens 3) Messungen bilden einen Mittelwert.

Mithilfe dieser Messwerte wurde dann die subjektive Refraktion des Patienten bestimmt. Dies geschah mittels **Phoropter** (s. Abb. 5) und **Visustafeln**. Allgemein versteht man unter Sehschärfe das Auflösungsvermögen des Auges für kleine Objekte bei hohem Kontrast. Die anguläre Sehschärfe ist der kleinste Winkel (min), unter dem zwei getrennte Punkte gerade noch getrennt wahrgenommen werden. Der Kehrwert dieser Zahl ergibt den Visus. Die Sehzeichen sind logarithmisch abgestuft. [7]



Abb. 5: Phoropter

Die Sehschärfe ist das optimale Auflösungsvermögen des Auges, also der bestkorrigierte Visus (Visus cc).

Es werden die Augen einzeln geprüft, begonnen wird klassischerweise mit dem rechten Auge, das andere Auge ist abgedeckt. Das korrigierende Glas wird am Phoropter (s.Abb 5) eingestellt.

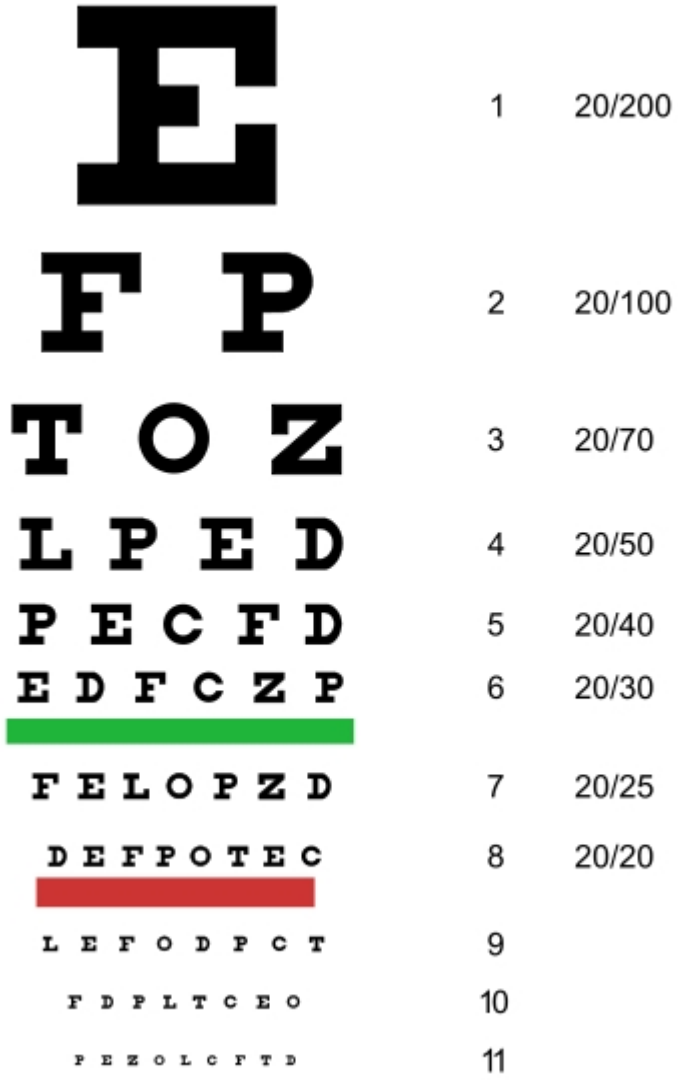

Abb. 6: Sehzeichen

Der Patient blickt durch die korrigierenden Gläser auf die Sehzeichen, die Optotypen. Verwendet wurden Buchstaben (s. Abb 6). Es wurden das beste sphärische und zylindrische Glas bestimmt. Vergleichend wurde der Visus ohne optische Hilfsmittel geprüft (Visus sc, Visus naturalis).

Der Visus wird anschließend in der Formel V= d/D ausgedrückt.

(V=Visus, d=Entfernung Auge-Lesetafel, D=Entfernung in der das Lesezeichen von einer Person mit einem Visus von 100% also 1,0 gerade noch wahrgenommen werden kann. D ist jeweils neben der Sehzeichenreihe auf den Tafeln angegeben.)

Praktischerweise wird nun nicht die Sollentfernung variiert, sondern die Optotypen werden kleiner. [33]

Um die erhobenen Werte vergleichbar zu machen, wurden die unterschiedlichen und nicht vergleichbaren Visusangaben von Handzeichen, Lesetafel und dpt in eine einheitliche Schreibweise gebracht. Diese Umformung geschah mithilfe der logarithmischen Umformung anhand der Logarithmierung nach Bach und Komerell.

2.4.2.2 IOL-Bestimmung



Abb. 7: Zeiss IOL-Master

Danach erfolgte die Untersuchung mit dem **IOL-Master** (s.Abb 7), einer Kombination aus verschiedenen Messinstrumenten. Der Patient platziert seinen Kopf auf der Kinnstütze und blickt geradeaus in das Gerät auf zwei Fixierleuchten. Der Untersucher steuert mithilfe eines Joysticks auf der gegenüberliegenden Seite die Messinstrumente und richtet das Gerät auf das Auge des Patienten aus.

Der IOL-Master vermisst das Auge und berechnet die Brechkraft der zu verwendenden Kunstlinse. Die Messtechnik basiert auf der Laserinterferometrie und ist ein non-contact-Verfahren. Zwei koaxiale Laserstrahlen werden ins Auge projiziert, die partiell kohärent sind, wodurch ein Kohärenzmuster produziert wird. [29] Im Gegensatz zur Ultraschalltechnik muss das Auge nicht anästhesiert werden, da hier keine direkte Berührung erfolgt. Es besteht daher keine Gefahr einer Hornhautverletzung oder Infektion. Das Gerät ermittelt die Achslänge (AL) des Bulbus, die Hornhautkrümmungsradien (Keratometriewerte) und die Vorderkammertiefe (VKT). Der IOL-Master besitzt eine bis zu 20% höhere Messerfolgsquote als andere optische Biometriegreäte. [52] Hieraus gibt das Gerät dann die erforderliche Linsenstärke aus. Die Berechnungen fußen auf der Formel für dünne Linsen nach Haigis. Die Formel ist im Anhang erläutert. Wichtig dabei sind Überprüfungen der gemessenen Parameter. [49] Es erfolgen pro Wert bis zu fünf Messungen, deren Mittelwert durch den Computer ausgegeben wird.

2.4.2.3 Cirrus-OCT

Die nächste Messung erfolgte mit dem **Zeiss Cirrus HD-OCT**, dem Makula OCT. Dieses Gerät dient zur Abbildung der Netzhaut. Im Falle der Studie wurden die zentrale Retinadicke gemessen und das Vorliegen einer ERM (epiretinale Membran) ermittelt. Der Patient stützt seinen Kopf auf verstellbare Stirn- und Kinnstützen und blickt geradeaus. Der Untersucher steuert die Messung mittels Lichtquelle von der anderen Seite computergesteuert mit der Maus.

2.4.2.4 Visante OCT



Abb. 8: Zeiss Visante OCT

Studienspezifisch erfolgte danach die Vermessung des vorderen Augenabschnitts mit dem **Zeiss Visante OCT** (s.Abb. 8). Es liefert Schnittbilder der Vorderkammer und des Kammerwinkels in beliebigen Orientierungen. Der äußere Aufbau und die Bedienung entsprichen quasi dem Cirrus HD-OCT. Die Funktionsweise des optischen Kohärenztomographen basiert auf der Lasertechnologie. Die Vermessung des vorderen Augenabschnitts verwendet im Gegensatz zur Ultraschallmethode Licht statt Schall mittels Streulichtauswertung. Es gehört damit ebenfalls zu den non-contact Verfahren, bei denen das Auge nicht berührt werden muss und dadurch keine Verletzungsgefahr besteht. Die Beleuchtungslaserquelle ist eine Superlumineszenzdiode der Wellenlänge 1310 nm. Mit dieser Bildgebung kann schnell eine exzellente Beurteilung der vorderen Augenabschnitte erfolgen. Allerdings können pigmentierte Strukturen wie die Iris nicht durchdrungen werden. [42, 52] Das visante OCT liefert ein Schnittbild des vorderen Augenabschnitts, anhand dessen prä- und postoperativ die Vorderkammertiefe ausgemessen wurde. Im postoperativen Auge mit der IOL erfolgte noch die Messung der Abstände Linse zu Iris nasal und temporal (s. Abb. 9).

Um standardisierte reproduzierbare Bedingungen zu erzeugen, erfolgten die Messungen mit dem Zeiss visante OCT prä- und postoperativ in Mydriasis nach Gabe von Mydriaticum Augentropfen.

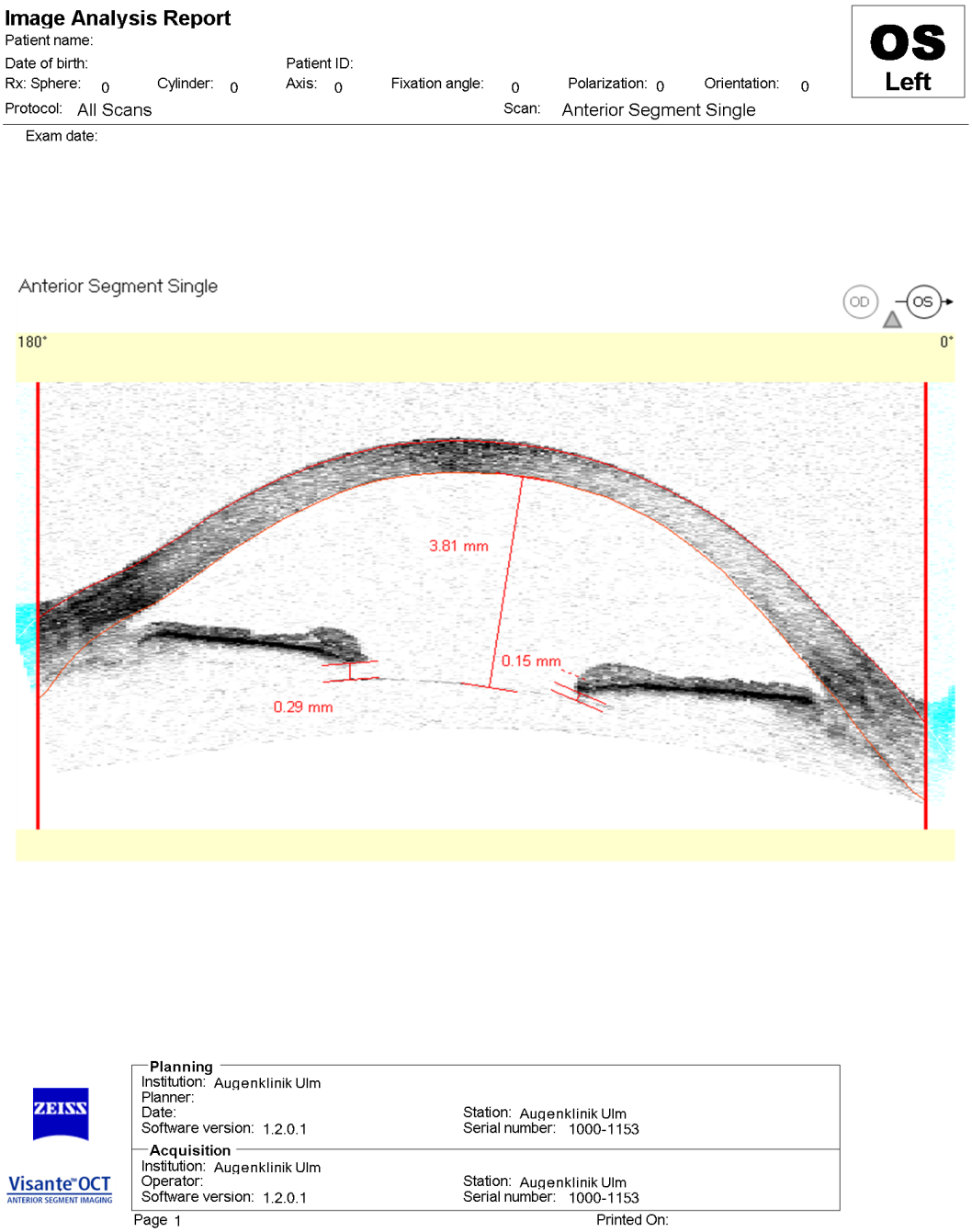

Abb. 9: Auswertung der Bildgebung im postoperativen Auge, Messung Vorderkammertiefe und der Abstände Iris-Linse nasal und temporal, Zeiss visante OCT

2.4.3 Operationsablauf

Phakoemulsifikation

Die in die Studie aufgenommenen Patienten wurden alle mittels Phakoemulsifikationsverfahren und Einsetzen einer intraokularen Hinterkammerlinse in den Kapselsack behandelt.

Zunächst erfolgt die Platzierung des Patienten auf dem OP-Tisch.

In der Universitätsaugenklinik Ulm werden die Patienten entweder in ITN oder Retrobulbäranästhesie operiert.

Die Region um das Auge wird steril abgedeckt und die Lider sowie der Bindehautsack werden mit Jod desinfiziert. Dann wird der Lidsperrer eingesetzt, um das Auge offen zu halten.

Nach Eröffnung der Bindehaut erfolgt die Präparation des cornealen Tunnels. Danach wird ein Viskoelastikum (Healon5) in die Vorderkammer eingebracht. Dies dient der Stabilität der Vorderkammer. Mithilfe einer Pinzette wird die vordere Linsenkapsel eröffnet (Kapsulorhexis).

Mithilfe der Hydrodissektion werden Kapsel und Linse getrennt.

Nach Anlegen einer Parazentese wird die Phakosonde ins Auge eingeführt. Dies erfolgt meistens durch Viertelung des Linsenkerns mit anschließender Absaugung der Fragmente. Dieses Verfahren wird als „divide and conquer“ bezeichnet. Zur Erhaltung des Hohlraumes füllt man den Kapselsack mit Viskoelastikum.

Die Intraokularlinse (IOL) wird nun gefaltet implantiert, entfaltet sich im Kapselsack und wird durch Rotation zentriert. Die Haptiken halten durch Abstützen im Kapselsack die IOL zentral.

Schließlich wird das Viskoelastikum wieder entfernt. Die Bindehaut wird mit einer Naht verschlossen.

Der Patient bekommt für den ersten Tag einen sterilen Verband. Für die weiteren Tage wird eine Schutzbrille empfohlen. [29] Im Universitätsaugenklinikum Ulm erhalten die Patienten außerdem eine Kombination aus Augentropfen zur Infektionsprophylaxe

2.4.4 Datenerhebung nach der Operation

Am ersten Tag nach der Operation wurden die subjektive und objektive Refraktion des operierten Auges bestimmt. Außerdem wurde nochmals eine Bildgebung mit dem Zeiss visante OCT durchgeführt. Ermittelt wurden die Vorderkammertiefe in mm (Abstand Hornhauthinterfläche-Linse) und der Abstand Iris - Vorderfläche der Linse nasal und temporal (mm). (s. Abb 9)

2.5 Statistische Auswertung der Daten

Alle erhobenen Werte wurden in eine Tabelle des Microsoft Excel-Programms übertragen. Die statistische Auswertung und grafische Darstellung der Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm R-Project. Die erhobenen Werte beinhalteten:

- Alter
- Geschlecht
- Examiniertes Auge
- Brillenstärken vor Operation
- Autorefraktorwerte prä- und postoperativ
- Visus prä-und postoperativ
- Zielrefraktion
- Vorderkammertiefe, gemessen mit dem IOL-Master präoperativ
- Keratometrie, gemessen mit dem IOL-Master
- Achslänge des Bulbus, gemessen mit dem IOL-Master
- Vorderkammertiefe prä-und postoperativ, gemessen mit dem visante OCT
- Abstand Iris-Kunstlinse nasal und temporal, gemessen mit dem visante OCT
- Zentrale Retinadicke, gemessen mit dem Makula-OCT
- Vorhandensein einer ERM, ersichtlich im Makula-OCT
- Brechkraft der Kunstlinse
- Modell der Kunstlinse
- SNR - Signal-Rausch-Verhältnis (Signal to Noise-Ratio) des IOL-Master

Zur Auswertung zählten

- der Mittelwert

- der Median

- das Maximum und das Minimum

- das 1. und das 3. Quantil

- spezifische Tests wie Wilcoxon, Spearman und Pearson, beinhaltend den p – Wert als Indikator für lokale statistische Signifikanz, Signifikanzniveau bei 5%

- grafische Darstellungen als Histogramm, Boxplot, Punktewolke

Von hauptsächlichem Interesse dieser Studie ist das postoperative Vorliegen einer Refractive surprise, wobei wir eine Refractive surprise als Abweichen des sphärischen Äquivalents des postoperativ mit dem Autorefraktor gemessenen Visus von der präoperativ durch den IOL-Master festgesetzten Zielrefraktion um >/= 1 dpt festgelegt haben, was hier in der Statistik als refraktive Differenz (refdiff) bezeichnet wird. Die Berechnung erfolgte folgendermaßen. Die Zielrefraktion wird vom sphärischen Äquivalent des postoperativen Wertes subtrahiert.

3 ERGEBNISSE

3.1 Deskriptive Statistik

Es wurden bei einer Gesamtzahl von 53 Patienten insgesamt 61 Augen einbezogen, die an der Universitätsaugenklinik Ulm einer Kataraktoperation unterzogen wurden.

Es handelt sich um 27 (44,3%) rechte und 34 (55,7%) linke Augen. Bei 8 Patienten wurden beide Augen, das heißt 26,2% der Gesamtaugen operiert. Bei 45 Patienten jeweils nur ein Auge. Für die Auswertung wurde jedes einzelne Auge jedoch als einzeln betrachtet. Die Augenanzahl wird als Fallzahl gewertet, alle Werte beziehen sich auf die Anzahl von 61 Patientenaugen.

Bei der Geschlechtsverteilung ergab sich so eine Gesamtzahl von (39,3%) 24 männlichen und (60,7%) 37 weiblichen Augen.

3.1.1 Altersverteilung

Die Altersverteilung der Augen bewegte sich in der Spanne von 20 bis 96 Jahren. Durchschnittlich betrug das Alter 71,1 Jahre bei Operation.

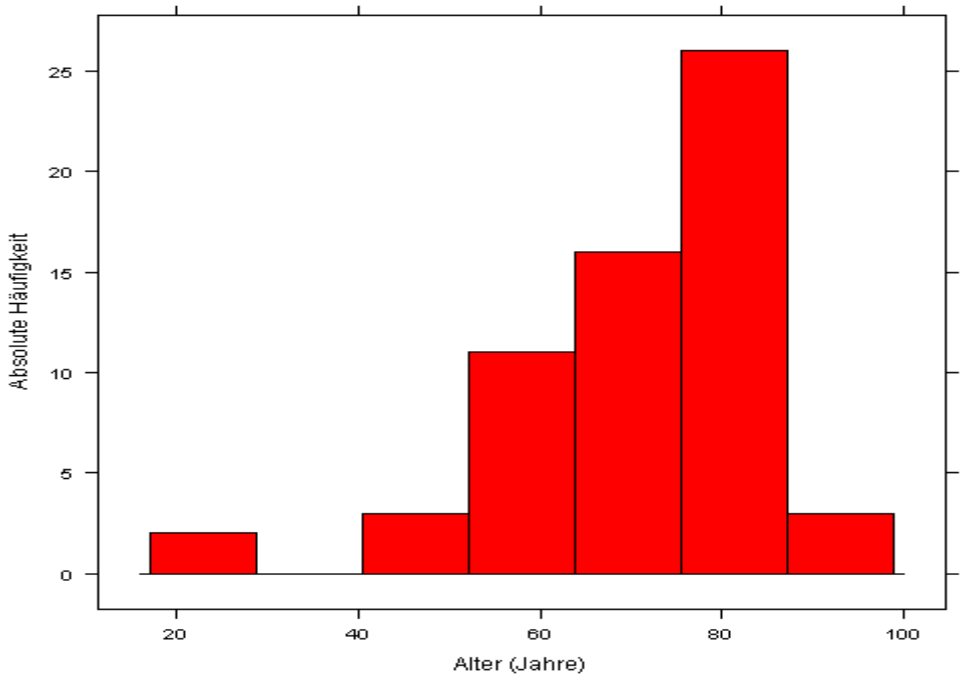

Abb. 10: Altersverteilung der Patienten mit Katarakt (Jahre). Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse das Alter in Jahren aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

Tabelle 1: Altersverteilung nach Geschlecht (m=männlich, w=weiblich) in Jahren

	Minimum	1. Quantil	Median	Mittelwert	3. Quantil	Maximum
m	48,0	57,5	66,5	66,7	74,2	96,0
w	20,0	71,0	79,0	74,0	83,0	89,0

3.1.2 Vorderkammertiefe

Die Messung der Vorderkammertiefe erbrachte folgende Ergebnisse: Bei der Messung mit dem IOL-Master betrugen das Minimum 2,27 mm, das Maximum 4,96 mm, der Median 3,12 mm und der Mittelwert 3,12 mm. Bei der Messung mittels Visante OCT betrugen das Minimum 1,30 mm, das Maximum 3,76 mm, der Median 2,58 mm und der Mittelwert 2,62 mm.

Als Histogramme für die einzelnen Geräte stellen sich die Werte wie folgt dar:

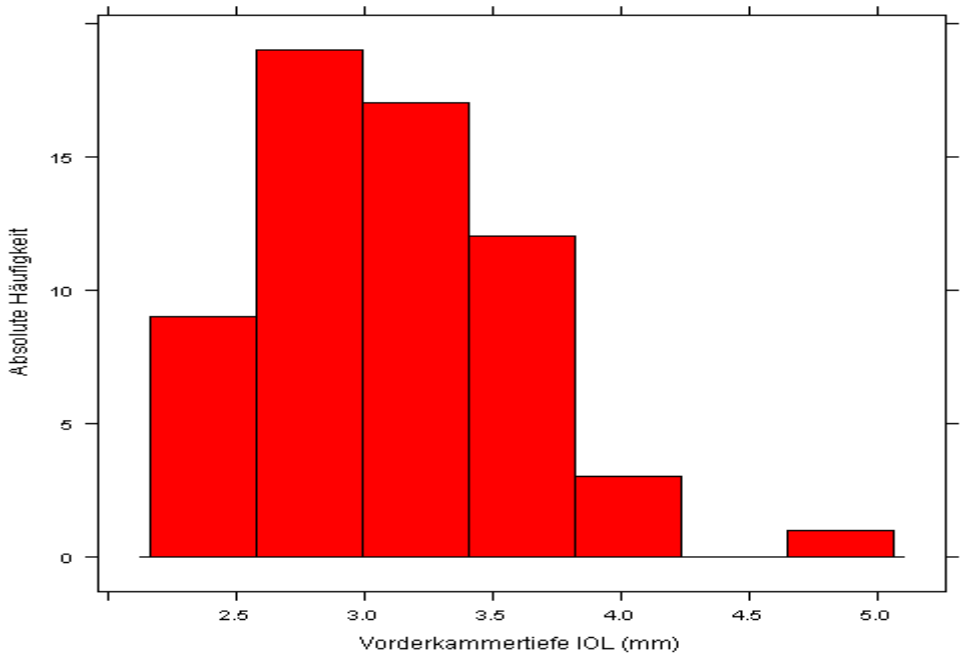

Abb. 11: Vorderkammertiefe präoperativ (mm) gemessen mit dem IOL-Master der Augen von Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse die Vorderkammertiefe in mm=Millimeter, gemessen mit dem IOL-Master (IOL=Intraokularlinse), aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

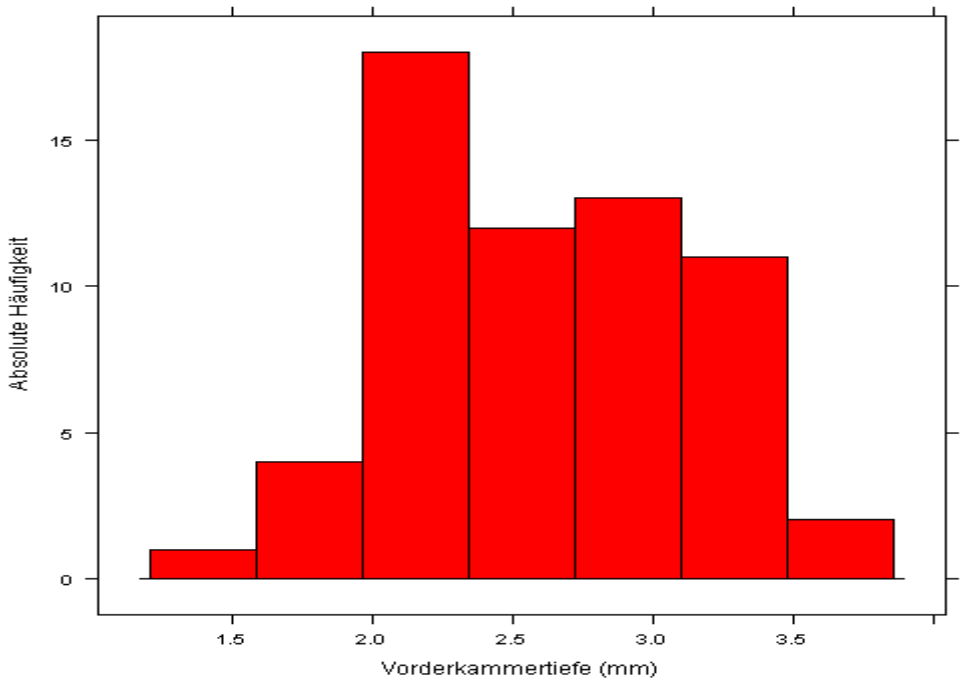

Abb. 12: Vorderkammertiefe präoperativ (mm) gemessen mittels visante OCT der Augen von Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse die Vorderkammertiefe in mm=Millimeter, gemessen mit dem Visante OCT (OCT=optische Kohärenztomografie), aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

Bei den unterschiedlichen Messungen ergaben sich in den Werten die in der folgenden Tabelle dargestellten Abweichungen in Millimeter.

Tabelle 2: Differenz der VKT (=Vorderkammertiefe)Messwerte präoperativ mit IOL-Master (IOL=Intraokularlinse) und visante OCT (OCT=optische Kohärenztomografie) in Millimeter

Minimum	1. Quantil	Median	Mittelwert	3. Quantil	Maximum
-1,20	-0,59	-0,48	-0,50	-0,41	-0,09

Postoperativ wurde die VKT nur mittels der Bildgebung des visante OCT manuell bestimmt. Hierbei betrugen die Werte: 4,12 mm Median, 3,04 mm Minimum, 5,00 mm Maximum und der Mittelwert 4,10 mm.

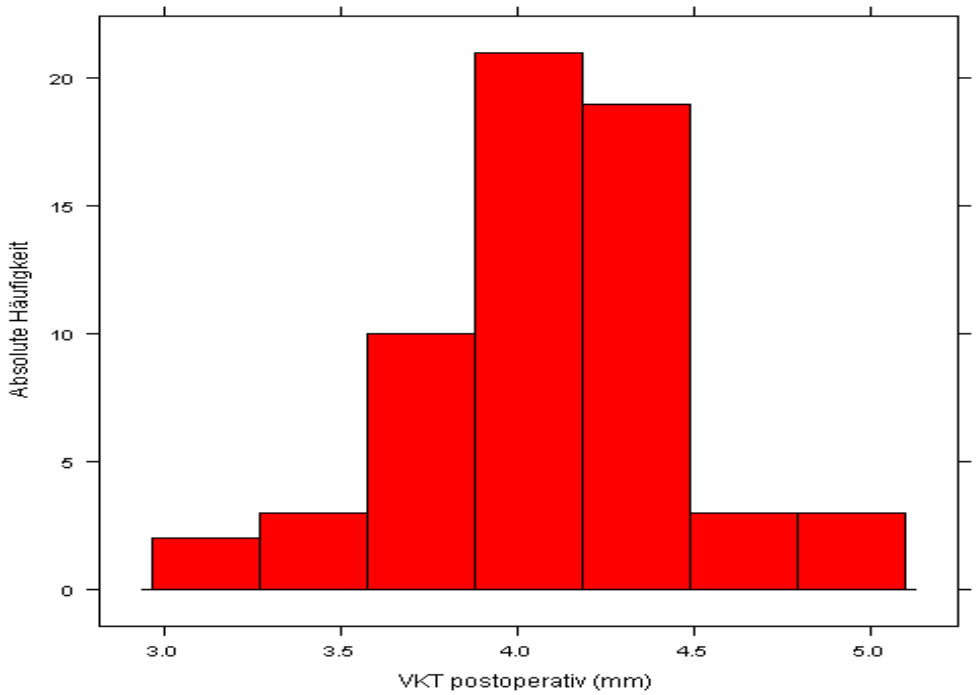

Abb. 13: Vorderkammertiefe postoperativ (mm) der Augen von Patienten nach Kataraktoperation mit Intraokularlinse. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse die VKT=Vorderkammertiefe postperativ in mm=Millimeter aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

Im Vergleich der VKT prä- und postoperativ ergaben sich folgende Werte. Die Berechnung wurde durchgeführt durch die Subtraktion der VKT präoperativ vom postoperativen Wert (beide Messungen vom visante OCT). Die Tiefe veränderte sich positiv im Mittelwert um 1,48 mm, der Median beträgt 1,47 mm, das Minimum 0,75 mm und das Maximum 2,40 mm.

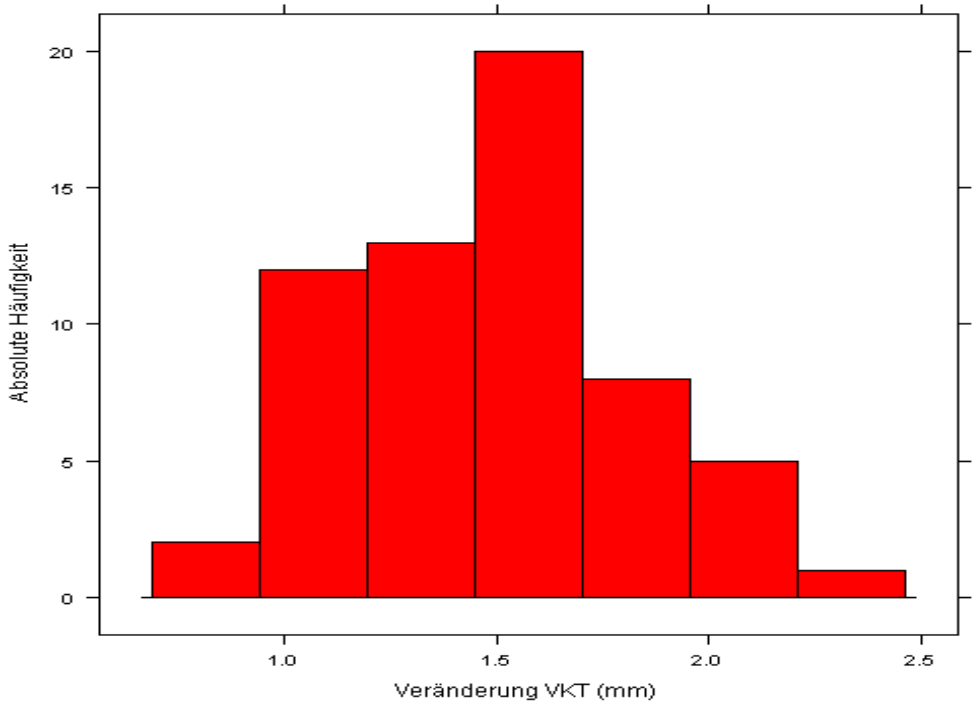

Abb. 14: Veränderung der VKT=Vorderkammertiefe (mm) von prä- zu postoperativ der Augen von Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse die Veränderung der Vorderkammer in mm=Millimeter aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

3.1.3 Achslänge

Die Achslängen der Bulbi wurden präoperativ mit dem IOL-Master gemessen. Der Median betrug 23,20 mm, das Minimum 20 mm, das Maximum 29,80 mm. Der Mittelwert belief sich auf 23,70 mm.

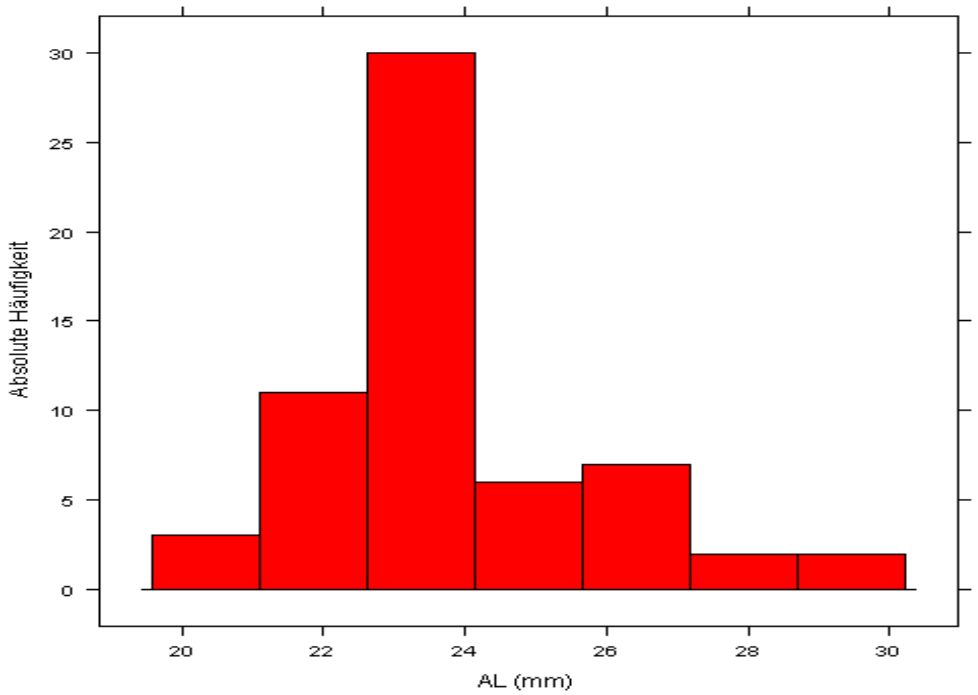

Abb. 15: Achslängen der Bulbi (mm) bei Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse die Achslänge=AL in mm=Millimeter aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

3.1.4. Refraktion und Visus

Die Refraktion wurde aufgeschlüsselt in prä- und postoperativ sowie sphärisch und zylindrisch.

Tabelle 3: Refraktion präOP (=präoperativ) / postOP (=postoperativ)

	Minimum	1.Quantil	Median	Mittelwert	3.Quantil	Maximum
sphärisch präOP	-19,00	-3,00	-0,25	-1,49	1,50	6,25
sphärisch postOP	-3,75	-0,50	0,00	-0,15	0,50	1,75
cylindrisch präOP	-3,75	-2,00	-0,75	-1,11	-0,50	2,25
cylindrisch postOP	-2,50	-1,50	-1,00	-0,92	-0,25	0,00

Außerdem erhoben wurden der Visus prä- und postoperativ.

Hier bereits im Vergleich dargestellt als Punktwolke.

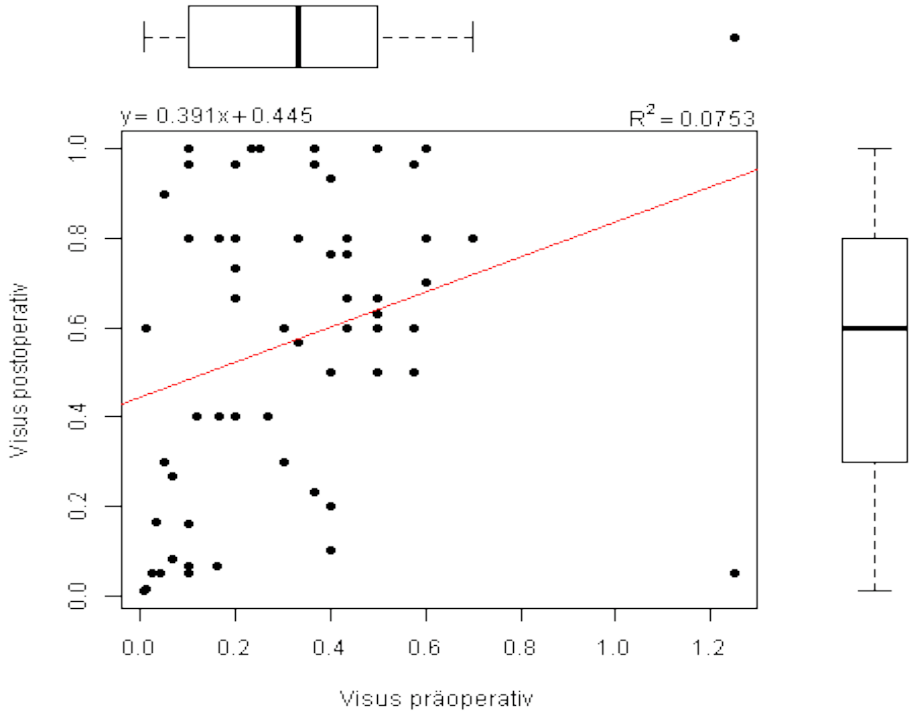

Abb. 16: Scatterplot mit integrierten Box- und Whiskerplots für die Korrelation Visus prä- und Visus postoperativ bei Augen von Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist der Visus postoperativ, auf der Abszisse der Visus präoperativ aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

Tabelle 4: Visus

	Minimum	1. Quantil	Median	Mittelwert	3. Quantil	Maximum
präoperativ	0,01	0,10	0,33	0,32	0,50	1,25
postoperativ	0,01	0,30	0,60	0,57	0,80	1,00

3.1.5. Hornhautparameter

Der Astigmatismus betrug im Mittelwert 1,29 dpt, der Median 1,00 dpt, das Minimum 0,11 dpt und das Maximum 3,12 dpt.

Die mittlere Hornhautbrechkraft betrug im Minimum 41,00 dpt, im Maximum 46,50 dpt, der Median belief sich auf 43,30 dpt und der Mittelwert 43,40 dpt. (s.Abb.18)

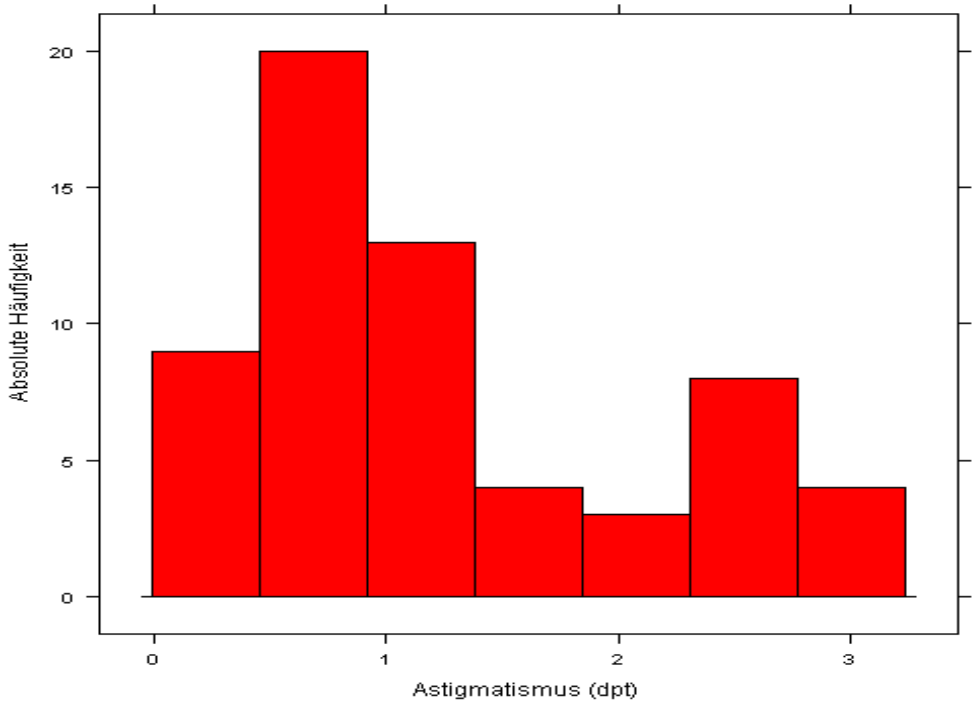

Abb. 17: Astigmatismus (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse der Astigmatismus in dpt=Dioptrien aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

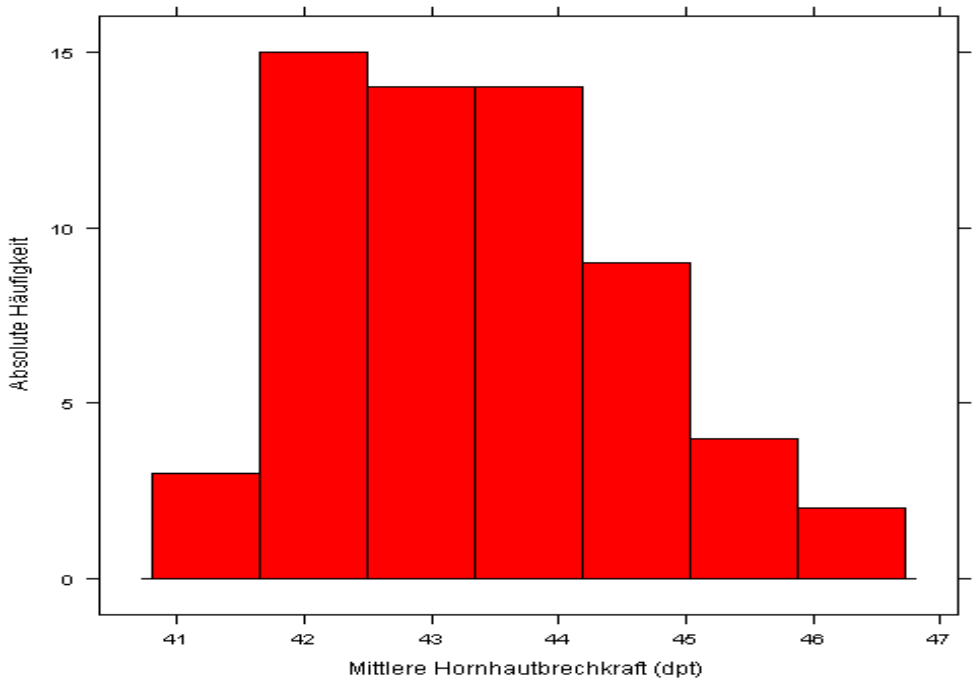

Abb. 18: Mittlere Hornhautbrechkraft (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt . Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse die mittlere Hornhautbrechkraft in dpt=Dioptrien aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

3.1.6 Retina

Das Vorliegen einer epiretinalen Membran wurde mit Hilfe der Bildgebung mittels Makula-OCT ermittelt. Hierbei konnte eine ERM bei 13 (21,3%) Augen ermittelt werden. Gleichzeitig wurde im selben Bild die zentrale Retinadicke gemessen. Diese betrug minimal 122 m, maximal 426 m. Im Mittelwert 259 m, der Median betrug 262 m.

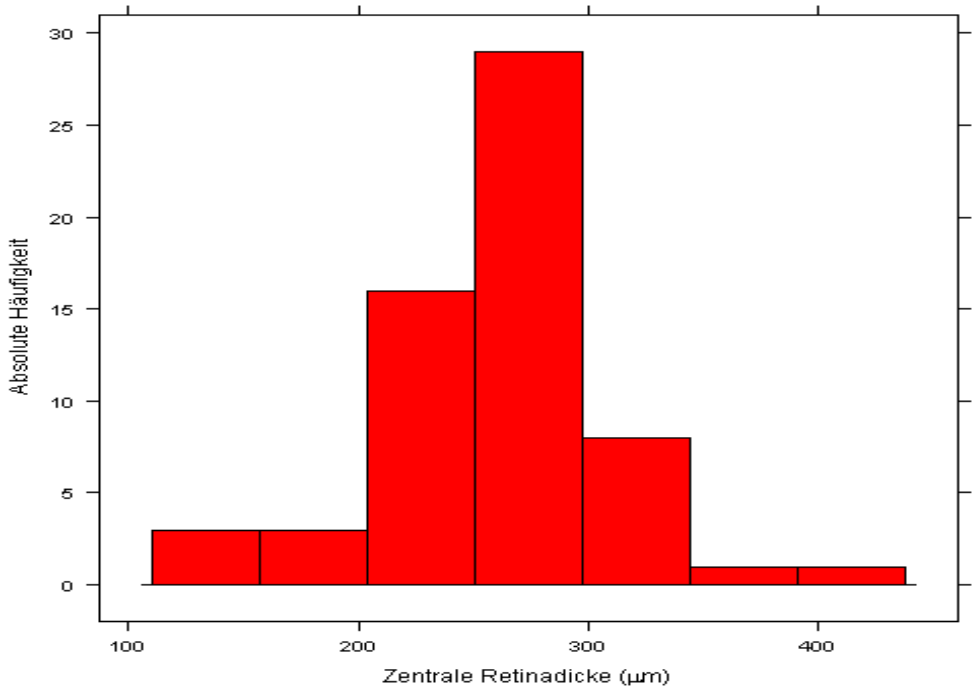

Abb. 19: Zentrale Retinadicke (m) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse die zentrale Retinadicke in m= Mikrometer aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

3.1.7 IOL

Die implantierten IOLs wurden von verschiedenen Firmen hergestellt. In 54 Augen wurde eine Intraokularlinse SA60AT der Firma Alcon, bei einem Auge das Modell SN6CWS von Alcon, in 1 Auge das Modell AMO AR 40 E der Firma Abbott Medical Optics, in 1 Auge das Modell AMO ZA 9003 der Firma Abbott und in 1 Auge eine Linse RAYNER620H der Firma Rayner implantiert. Implantiert wurden Linsen mit einer Brechkraft von minimal 4 dpt bis maximal 33 dpt, der Mittelwert lag bei 20,8 dpt.

Postoperativ wurde die Schräglage der Kunstlinse im Auge anhand der Bildgebung des Visante OCT bestimmt. Gemessen wurden jeweils der Abstand Iris-Linse temporal und nasal. In der Auswertung wurde, um eine Schräglage festzustellen, der Messwert des Abstandes Iris-Linse temporal vom Messwert Abstand Iris-Linse nasal subtrahiert. Hierbei ergaben sich die Werte von Median 0,05 mm, Minimum 0,01 mm, Maximum 0,80 mm, der Mitelwert beträgt 0,08 mm. Zur übersichtlicheren Darstellung wurde in der Darstellung der Absolutbetrag dieser Differenz verwendet.

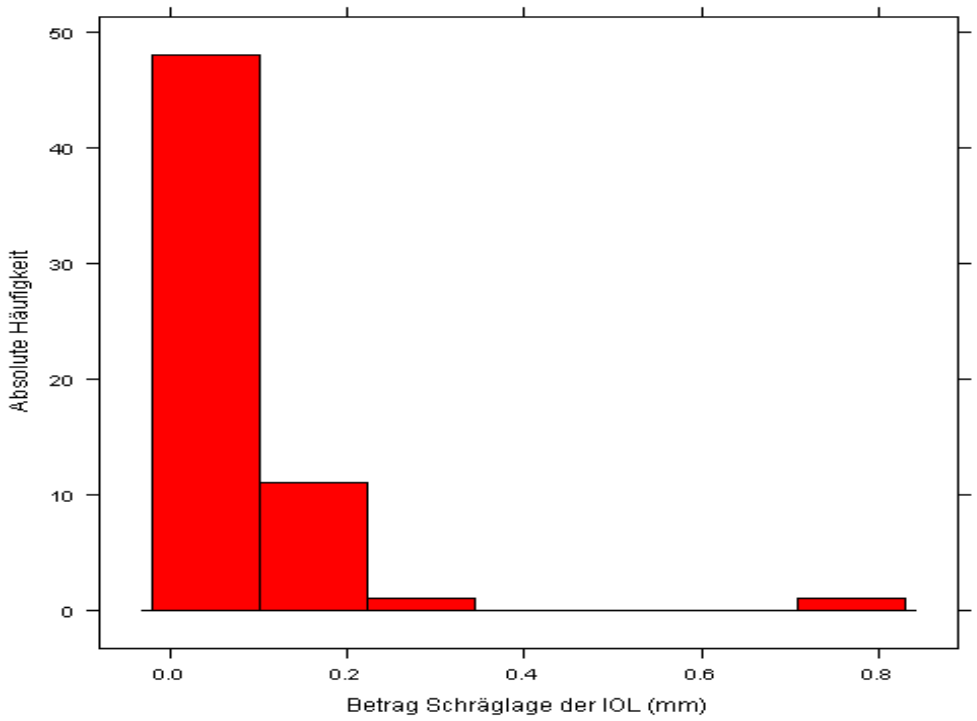

Abb. 20: Schräglage der IOL in der Hinterkammer (mm Betrag) postoperativ bei Augen von Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse die Schräglage der IOL=Intraokularlinse in mm=Millimeter als Betrag aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

3.1.8 SNR

Ebenfalls in die Datensammlung miteinbezogen wurde die Signalstärke bei der Vermessung des Auges mit dem IOL-Master, die sogenannte SNR, d.h. das Signal-Rausch-Verhältnis. Die Aufschlüsselung der Signalstärke laut Hersteller (Zeiss) ist folgende:

Tabelle 5: SNR – Signalstärke (Signal-Rausch-Verhältnis/ Signal Noise Ratio)

>10	sehr gut
>2	sauber
1,6-2	unsicher
<1,6	gering

Die Messung der jeweiligen SNR bei unseren Patienten betrug im Mittel 7,27, das Minimum 1,60, das Maximum 21,50, der Median 6,00.

Im Histogramm bietet sich folgendes Bild:

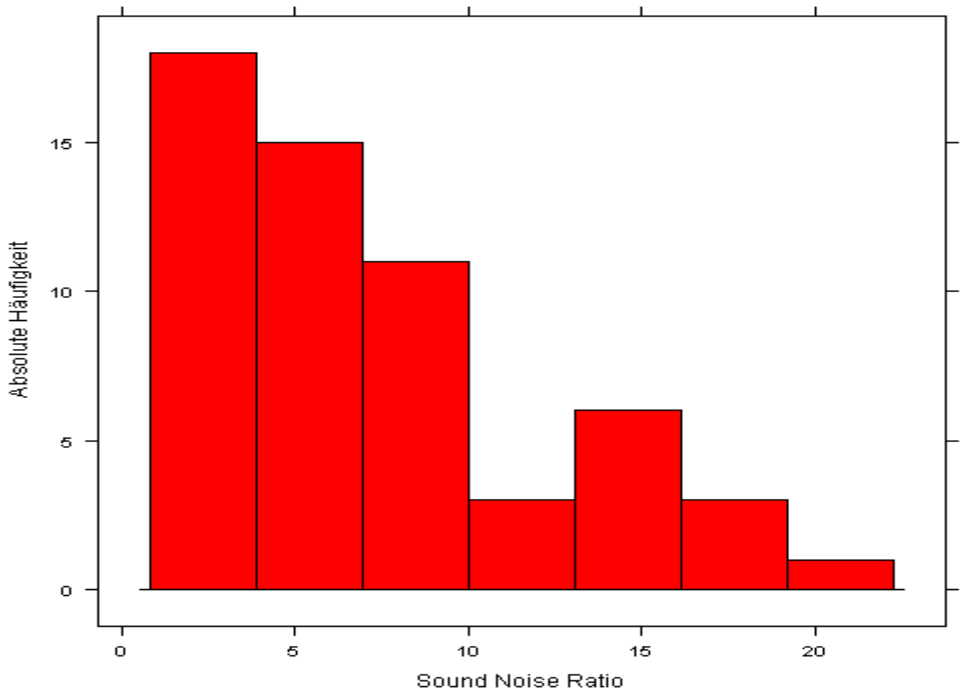

Abb. 21: Signal-Rausch-Verhältnis (Sound Noise Ratio=SNR) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse die SNR aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

3.2 Ergebnisdarstellung

3.2.1 Einzelvariablen

Von hauptsächlichem Interesse dieser Studie ist das postoperative Vorliegen einer Refractive surprise. Insgesamt kam eine refraktive Differenz 1 bei 12 von 61 Augen (19,67 %) vor. Der Median der refraktiven Differenz betrug 0,11, das Minimum -1,60, das Maximum 2,99 und der Mittelwert 0,05.

In einer Vierfeldertafel ausgedrückt sind die Ergebnisse bezüglich Refractive surprise wie folgt:

Tabelle 6: Vierfeldertafel Refractive surprise – Auge (RA=rechtes Auge, LA=linkes Auge)

	RA	**LA**	
Refractive surprise Ja	8	4	12
Refractive surprise Nein	19	30	49
	27	34	61

Das folgende Histogramm beschreibt die absolute Häufigkeit der refraktiven Differenz und deren Wert in Dioptrien.

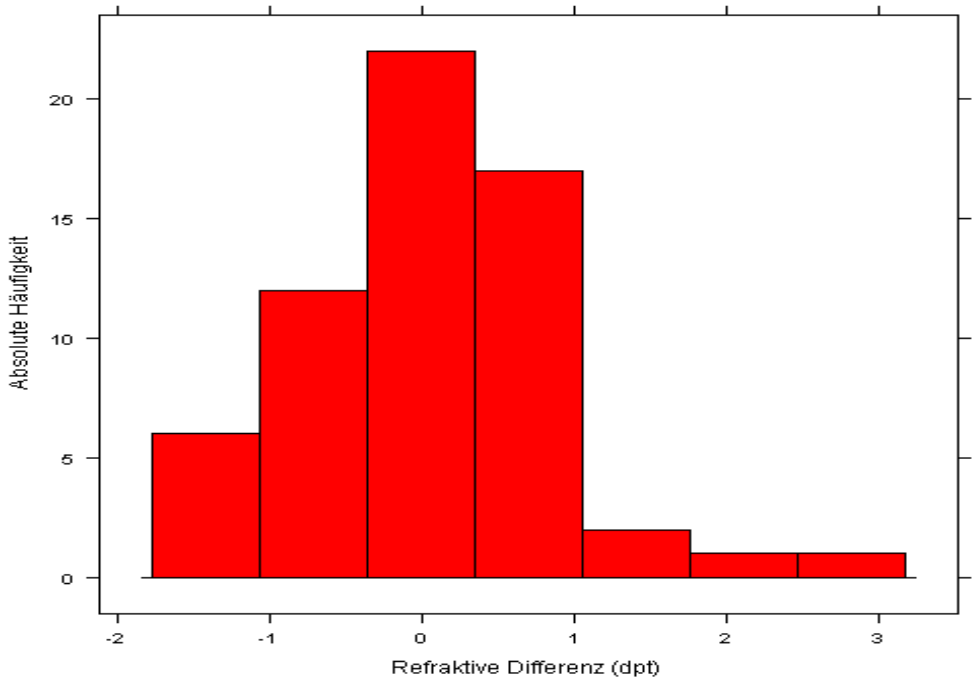

Abb. 22: Verteilung refraktive Differenzen (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

Die angestrebte Zielrefraktion wurde präoperativ vom Operateur festgelegt. Hier erstreckten sich die Werte von minimal –3,00 dpt bis Maximum 2,50 dpt. Der Mittelwert betrug -0,41 dpt. Wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist, wurde bei den meisten Patienten eine Zielrefraktion um 0 dpt, was also emmetrop bedeutet, oder etwas ins myope angestrebt.

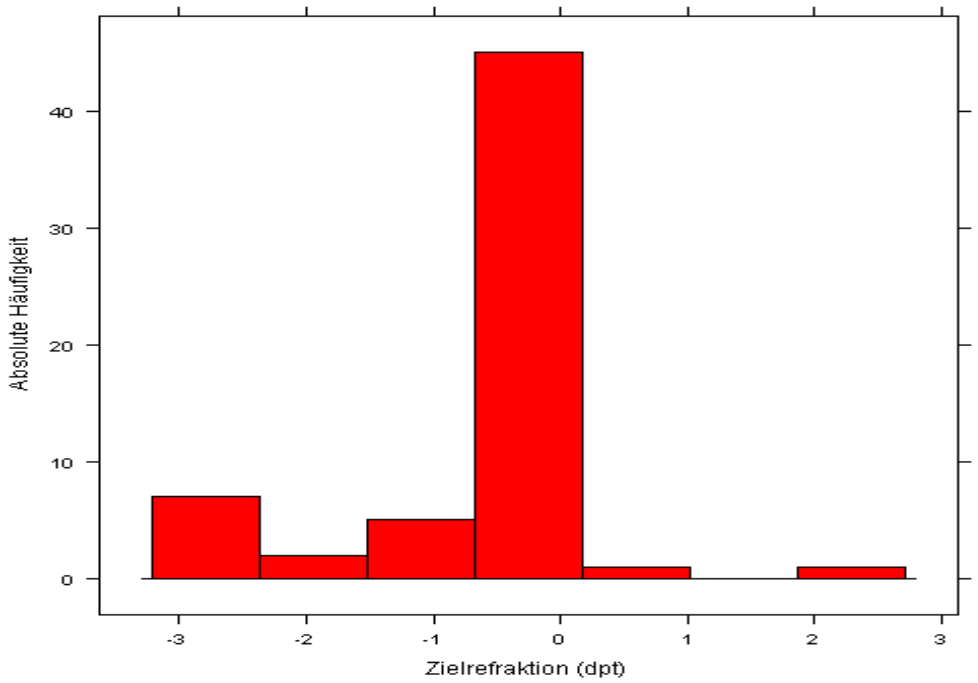

Abb. 23: angestrebte Zielrefraktion bei Augen von Patienten mit Katarakt. Auf der Ordinate ist die absolute Häufigkeit, auf der Abszisse Zielrefraktion in dpt=Dioptrien aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

Der Refraktion verbesserte sich als Absolutwert bei allen Patienten um Median 0,20 , Minimum -1,20 , Maximum 0,90 . Der Mittelwert betrug 0,25. Zur Vergleichbarkeit des Visus wurde in der Berechnung das sphärische Äquivalent benutzt, welches sich aus der Sphäre + (Zylinder/2) berechnen lässt. (s. Anhang)

Tabelle 7: sphärisches Äquivalent

	Minimum	1.Quantil	Median	Mittelwert	3.Quantil	Maximum
präoperativ	-22,80	-4,00	-1,12	-2,25	0,75	7,12
postoperativ	-3,88	-1,25	-0,50	-0,66	0,00	2,50

In der Auswertung ging es nun darum, einen möglichen Zusammenhang der refraktiven Differenz zu den gemessenen Einzelvariablen zu ermitteln.

Miteinbezogen wurden ein möglicher sinnvoller Zusammenhang von refraktiver Differenz und

- Achslänge der Bulbi
- Alter
- Astigmatismus
- Hornhautbrechkraft
- Auge (RA/LA)
- Signal –Rausch-Verhältnis (SNR)
- Schräglage der IOL postperativ
- Vorliegen einer ERM
- Vorderkammertiefe präoperativ
- Zentraler Retinadicke

Die durchgeführten statistischen Testverfahren waren zum Einen das Produktmoment nach Pearson, was nach einem linearen Zusammenhang, beispielsweise im Wachstum der Variablen sucht. Zum anderen der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman. Tabelle 8 zeigt in einer Übersicht die Ergebnisse der Korrelationen für die einzelnen Variablen.

Tabelle 8: statistische Testverfahren und Ergebnisse

x	y	Spearman		Pearson		Lineare Regression y = ax+b		
		p-Wert	rho	p-Wert	cor	a	b	R^2
Achslänge	Refraktive Differenz	0,6463	0,05995	0,4953	0,08898	0,0385	-0,8681	0,00792
Alter	Refraktive Differenz	0,4018	-0,1093	0,9198	-0,01316	-0,0007	0,0982	0,000173
Astigmatis-mus	Refraktive Differenz	0,2851	-0,1391	0,2673	-0,1443	-0,1400	0,2260	0,0208
Hornhaut-brechkraft	Refraktive Differenz	0,8833	0,0192	0,6910	0,05194	0,0335	-1,4067	0,0027
Schräglage der IOL	Refraktive Differenz	0,1661	0,1796	0,6691	0,05584	0,4404	0,0117	0,00312
SNR	Refraktive Differenz	0,1285	0,2037	0,0511	0,2597	0,0460	-0,2790	0,0675
VKT präOP (visante OCT)	Refraktive Differenz	0,2833	0,2809	0,1008	0,2121	0,3500	-0,8700	0,045
VKT präOP (IOL-Master)	Refraktive Differenz	0,0271	0,2830	0,2120	0,1627	0,2570	-0,7560	0,0265
Zentrale Retinadicke	Refraktive Differenz	0,2110	0,1624	0,2040	0,1649	0,0028	-0,6833	0,0272

rho, cor = Wert des Korrelationskoeffizienten, R^2 = Bestimmtheitsmaß, p= Signifikanzwert
IOL=Intraokularlinse, OCT=optische Kohärenztomografie, präOP=präoperativ, SNR=Sound Noise Ratio, VKT=Vorderkammertiefe,

Die lineare Regression nimmt einen linearen Zusammenhang zwischen den Variablen x und y an. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

3.2.2 Mögliche Korrelationen grafisch

In den folgenden Grafiken erfolgt die Darstellung möglicher Korrelationen zweier Variablen in Form von „scatter plots“ also Punktewolken. Die beiden Variablen sind auf der Ordinate und auf der Abszisse aufgetragen. Die durchgehende Linie entspricht der Regressionsgeraden, deren Formel sich als y= ebenfalls in der Grafik wiederfindet. Das Bestimmtheitsmaß als Maß für die Varianz ist R^2 . An den integrierten Box- und Whiskerplots lässt sich die Verteilung der Variablen mit Minimum, Maximum, dem Median und den Quantilen ablesen. Der vertikale Boxplot beschreibt die Verteilung der Werte auf der y-Achse, der horizontale Boxplot die Verteilung der Werte auf der x-Achse. Der Wert R^2 beschreibt einen möglichen linearen Zusammenhang der Daten des Modells. Je näher er sich zu 1 bewegt, umso grösser ist ein möglicher Zusammenhang.

In der grafischen Darstellung ergibt sich folgendes:

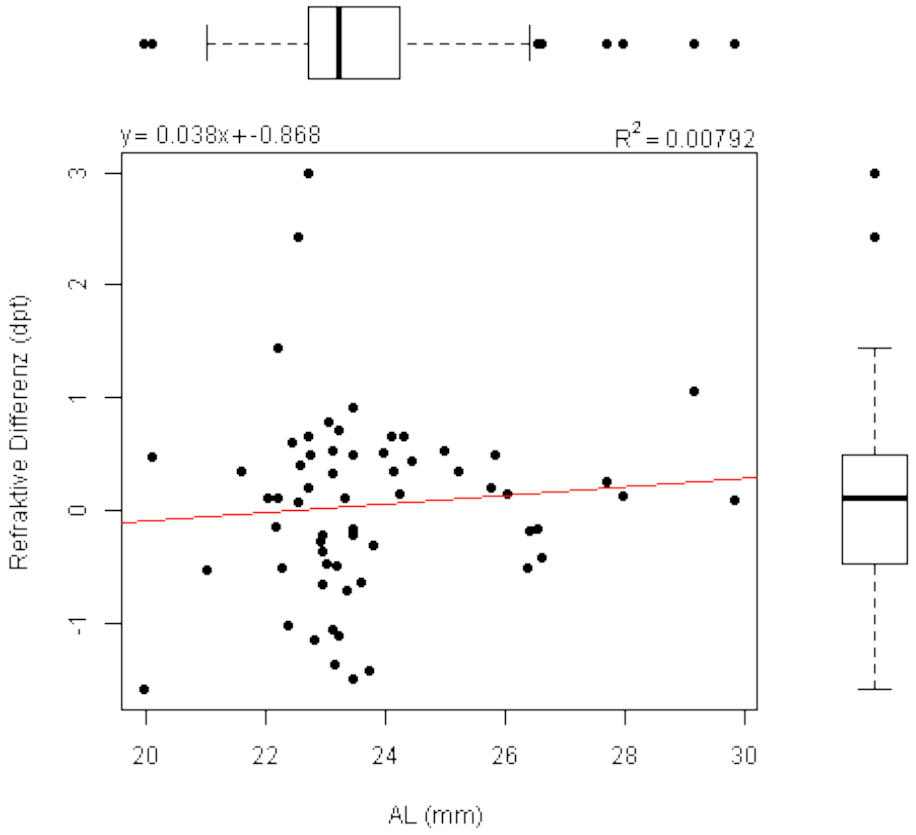

Abb. 24: Korrelation Achslänge = AL (mm) mit der refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Scatterplot mit integrierten Box- und Whiskerplots. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse die Achslänge in mm=Millimeter aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

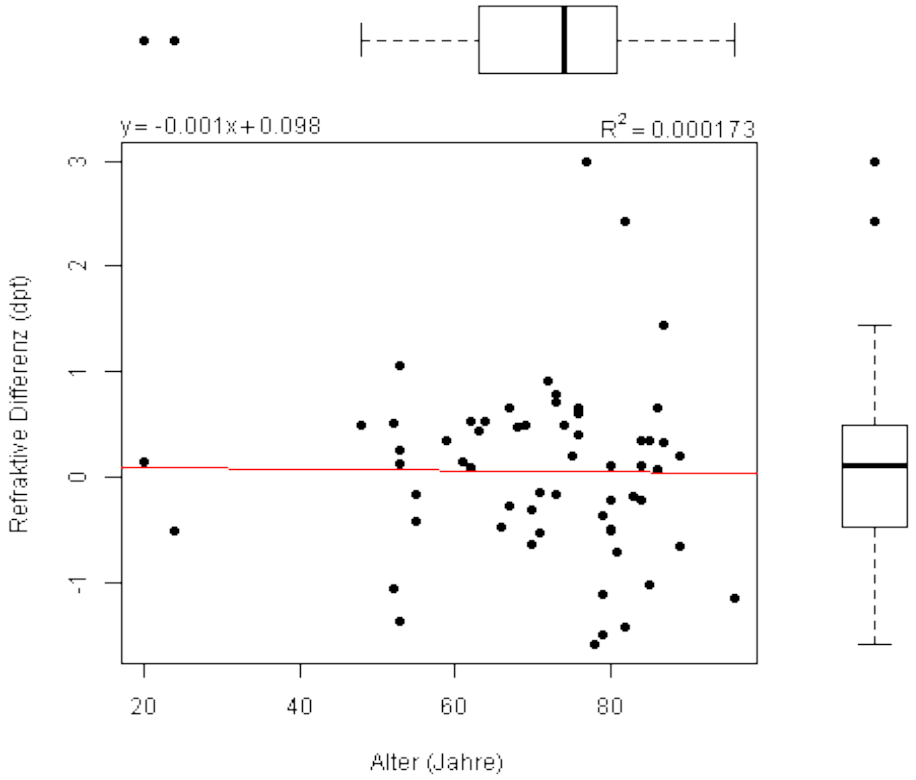

Abb. 25: Korrelation des Alters (Jahre) mit der Refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Scatterplot mit integrierten Box- und Whiskerplots. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse das Patientenalter in Jahren aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

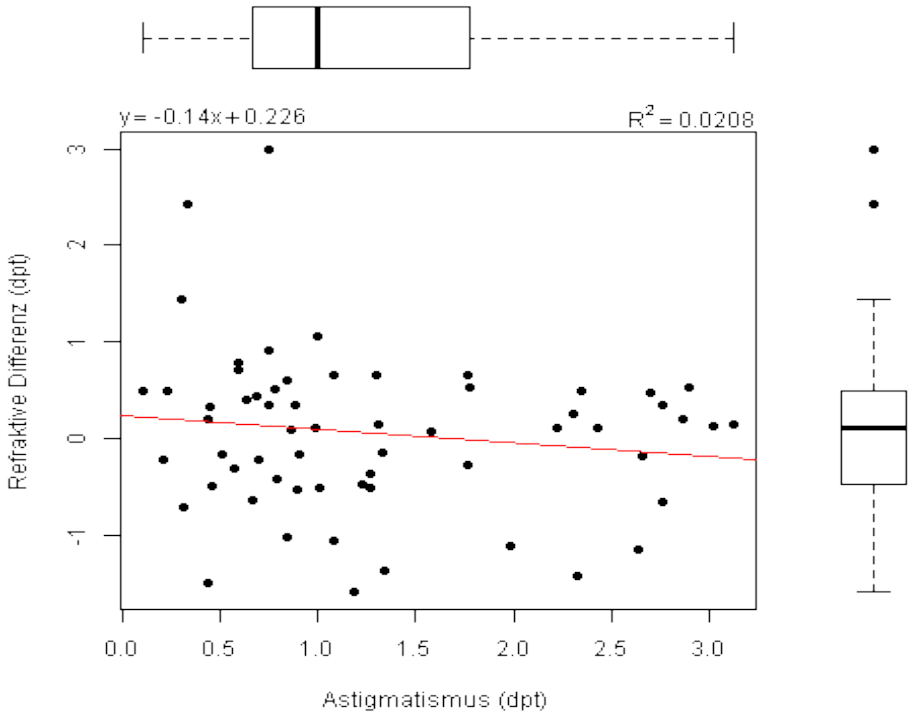

Abb. 26: Korrelation des Astigmatismus (dpt) mit der Refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Scatterplot mit integrierten Box- und Whiskerplots. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse der Astigmatismus ebenfalls in Dioptrien aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

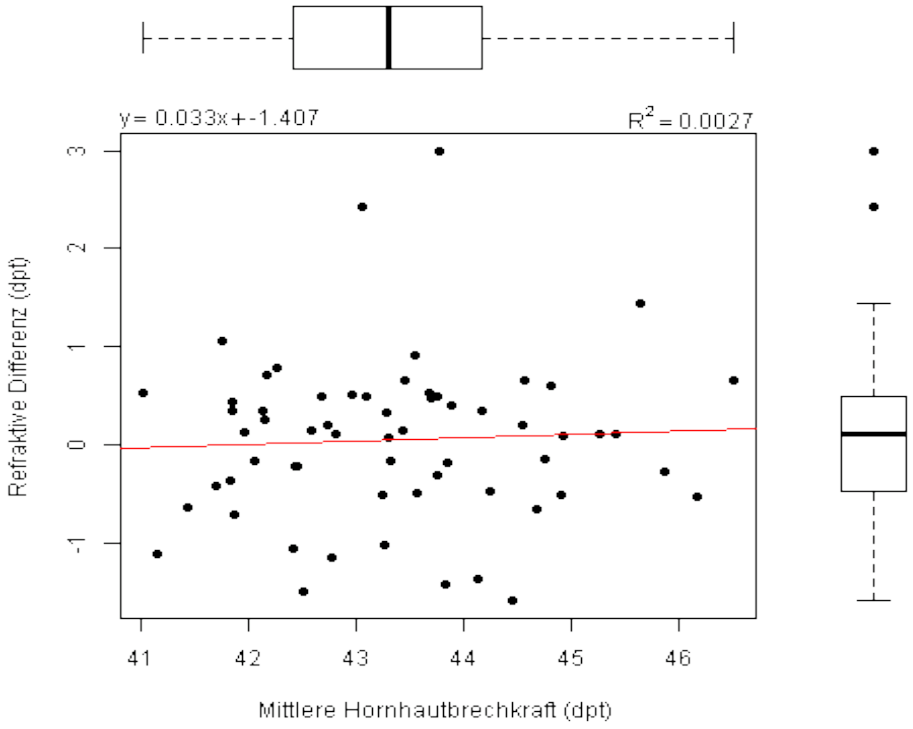

Abb. 27: Korrelation mittlere Hornhautbrechkraft (dpt) mit der Refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Scatterplot mit integrierten Box- und Whiskerplots. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse die mittlere Hornhautbrechkraft ebenfalls in Dioptrien aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

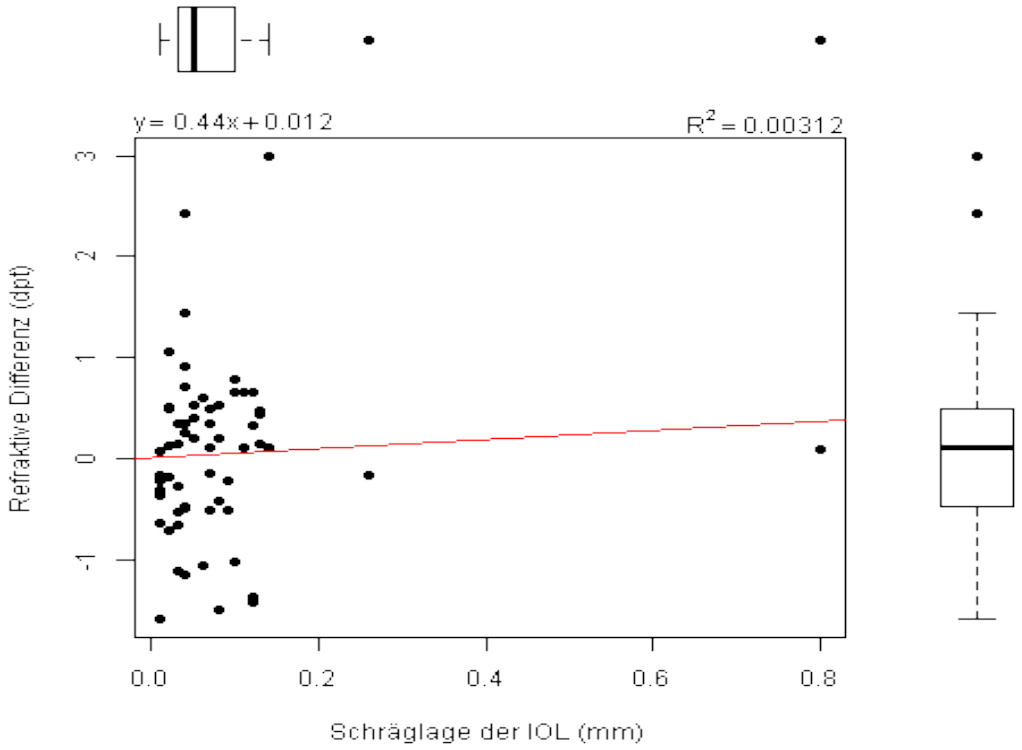

Abb. 28: Korrelation Schräglage der IOL (mm) mit der Refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Scatterplot mit integrierten Box- und Whiskerplots. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse Schräglage der IOL=Intraokularlinse in mm=Millimeter aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

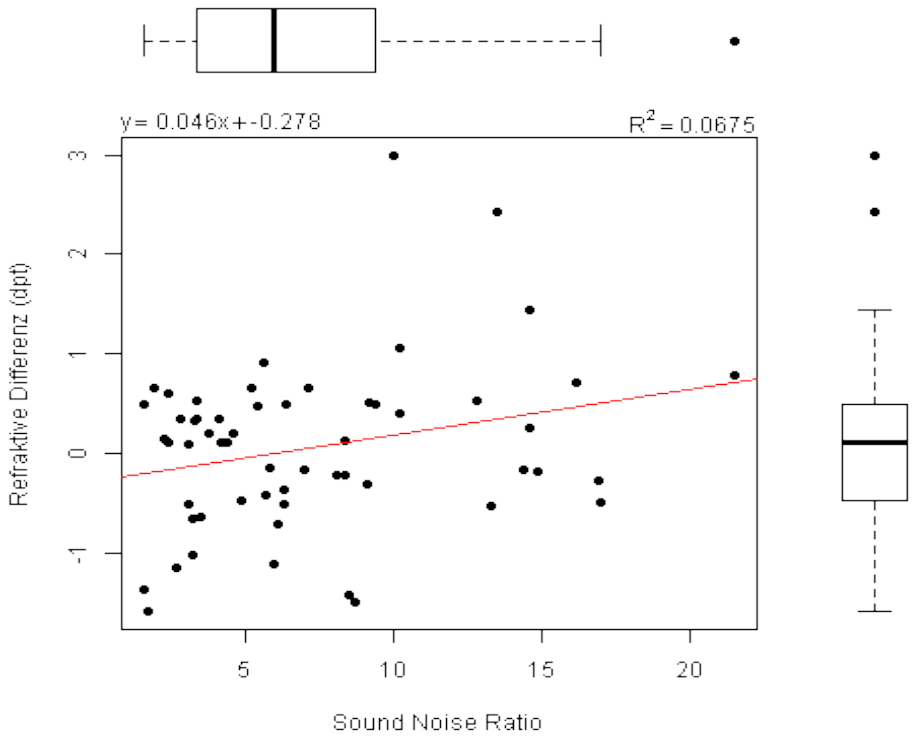

Abb. 29: Korrelation Sound Noise Ratio mit der Refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Scatterplot mit integrierten Box- und Whiskerplots. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse die Sound Noise Ratio aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

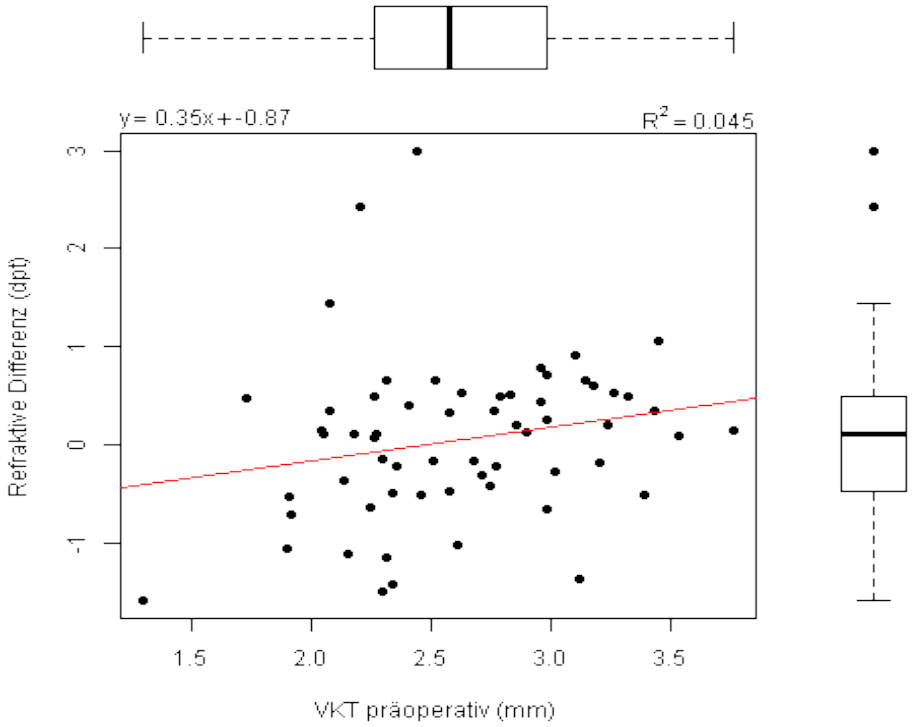

Abb. 30: Korrelation VKT präoperativ gemessen mit dem Visante OCT (mm) mit der Refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Scatterplot mit integrierten Box- und Whiskerplots. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse die VKT=Vorderkammertiefe präoperativ gemessen mit dem Visante OCT (OCT=optische Kohärenztomografie) in mm=Millimeter aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

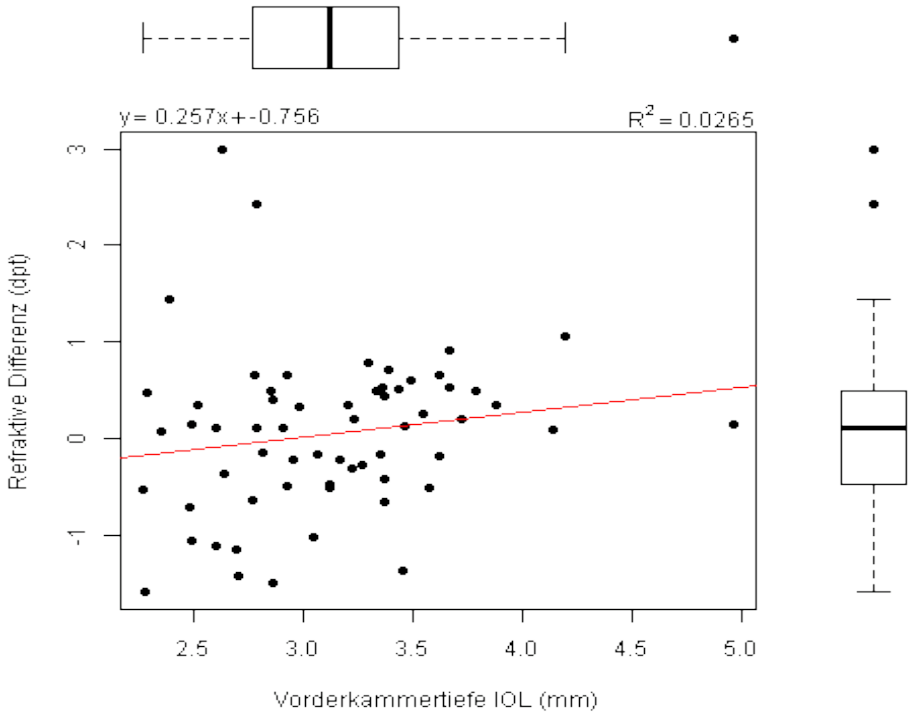

Abb. 31: Korrelation VKT präoperativ gemessen mit dem IOL-Master (mm) mit der Refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Scatterplot mit integrierten Box- und Whiskerplots. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse die VKT=Vorderkammertiefe präoperativ gemessen mit dem IOL-Master (IOL=Intraokularlinse) in mm=Millimeter aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

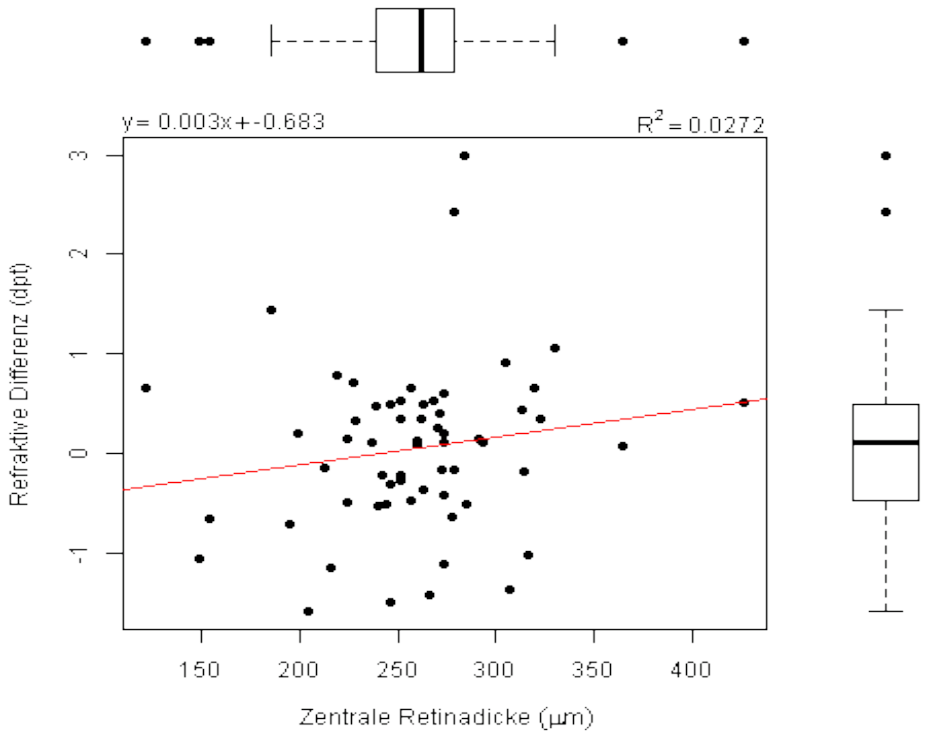

Abb. 32: Korrelation der zentralen Netzhautdicke (µm) mit der Refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. Scatterplot mit integrierten Box- und Whiskerplots. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse die zentrale Retinadicke in m=Mikrometer aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

Für die dichotomen Variablen Auge (RA, LA) und Vorliegen einer ERM (ja, nein) wurde die Signifikanz einer möglichen Korrelation mit der Refraktiven Differenz mittels Wilcoxon-Rangsummentest überprüft. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 9: p-Werte dichotomer Variablen (Auge und ERM=epiretinale Membran)

		p-Wert nach Wilcoxon
Auge	Refraktive Differenz	0,6919
ERM	Refraktive Differenz	0,7771

Dargestellt als Box- und Whiskerplots ergeben sich folgende Grafiken:

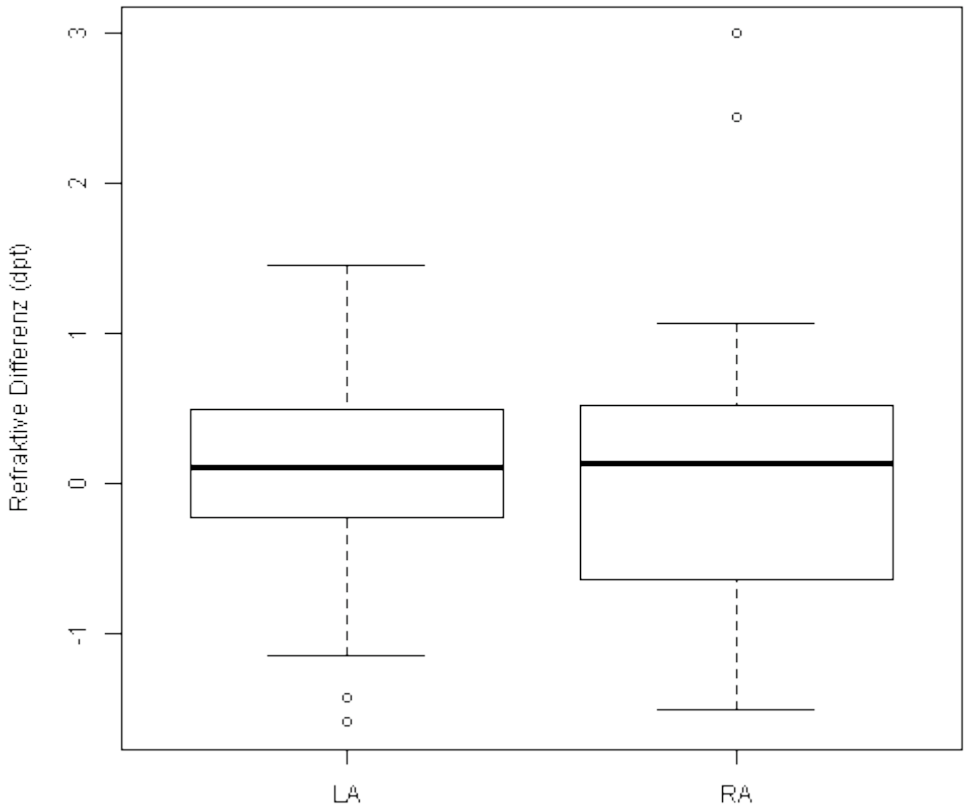

Abb. 33: Korrelation Auge (LA/RA) mit der Refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. An den Box- und Whiskerplots lässt sich die Verteilung der Variablen mit Minimum, Maximum, dem Median und den Quantilen ablesen. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse die Augen LA=linkes Auge, RA=rechtes Auge aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

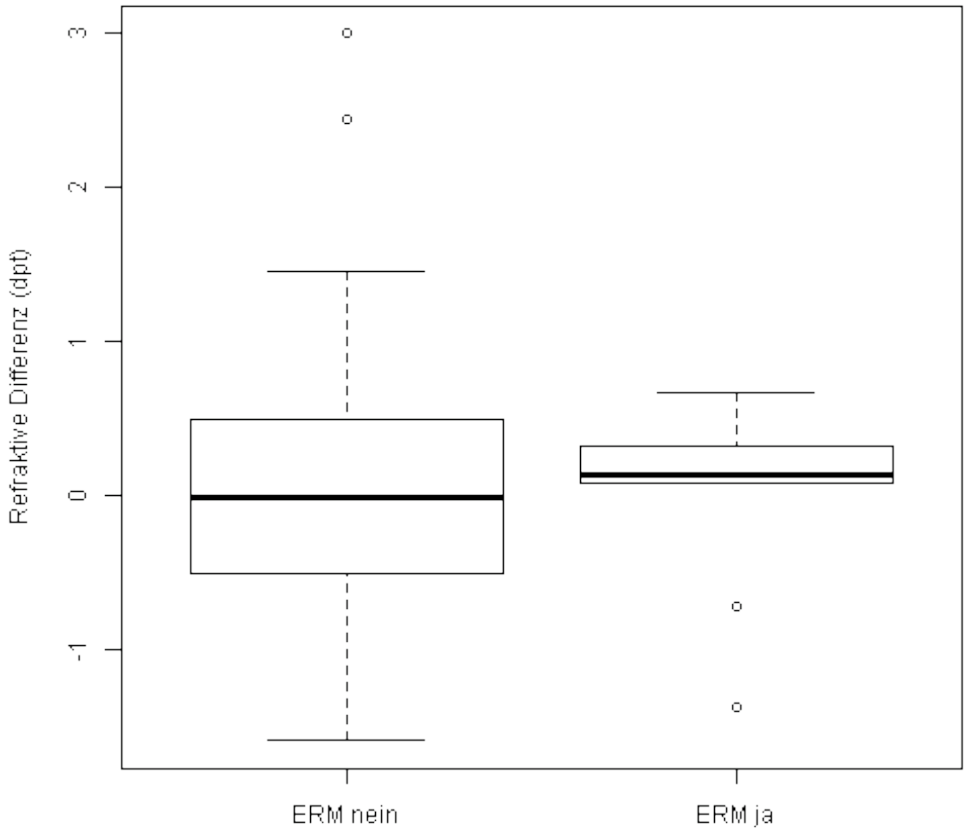

Abb. 34: Korrelation ERM (ja/nein) mit der Refraktiven Differenz (dpt) bei Augen von Patienten mit Katarakt. An den Box- und Whiskerplots lässt sich die Verteilung der Variablen mit Minimum, Maximum, dem Median und den Quantilen ablesen. Auf der Ordinate ist die Refraktive Differenz in dpt=Dioptrien, auf der Abszisse das Vorhandensein einer ERM=epiretinalen Membran nein/ja aufgetragen. Fallzahl N=61. Alle Werte wurden im Zeitraum 2010-2011 am Universitätsaugenklinikum Ulm erhoben.

4 DISKUSSION

Die durchgeführte Studie basiert auf der innerhalb von 2 Jahren (2010/2011) erfolgten prospektiven Erfassung von Daten bei 53 Patienten mit insgesamt 61 Augen.

Die in der vorliegenden Arbeit aufgestellten Hypothesen beinhalten als mögliche Ursache für das Vorliegen einer refractive surprise nach Kataraktoperation das Auge an sich mit interindividuellen Anomalien. Darunter fallen eine atypische Anatomie des vorderen und hinteren Augenabschnitts, also eventuelle außergewöhnliche Abweichungen der Maße wie Achslänge oder Vorderkammertiefe vom „normalen“ Durchschnitt. Wobei man Abweichung oder Anormalität hier als Ausreißer in der Statistik beschreiben würde. Außerdem wäre das Vorhandensein einer epiretinalen Membran und dadurch eine Verdickung der Netzhautmitte eine mögliche Ursache. Die nächste Hypothese widmet sich den Möglichkeiten durch die Operation an sich eine refractive surprise erzeugt zu haben, trotz vorheriger sorgfältiger Auswahl der einzusetzenden IOL. Hier betrachtet die Studie vor allem die nichtzentrale Lage der Linse im Kapselsack quasi eine Verkippung der Linse innerhalb der Hinterkammer. Weitere mögliche Ursachen einer refractive surprise wie fehlerhafte Messungen oder sonstige prä- oder intraoperative Irrtümer werden zwar diskutiert, das Augenmerk der Arbeit liegt jedoch auf den oben genannten Punkten.

Den entwickelten Hypothesen wurde mit medizinischem Fachwissen und statistischen Methoden nachgegangen.

4.1. Refractive surprise

Was wird als refractive surprise beschrieben? Nach der in dieser Studie aufgestellten Definition ein Abweichen der postoperativen Refraktion von der präoperativ festgelegten Refraktion um mehr als 1 dpt. In dieser Studie war dies bei bei 12 von 61 Augen (19,67 %) der Fall. Auch die European Cataract Outcome Study (ECOS) berichtet von einem 20%igen Auftreten einer surprise im Vierjahresverlauf. [11]

Im allgemeinen medizinischen Sprachgebrauch wird eine refractive surprise meist nicht als spezifischer Wert sondern als das Ereignis an sich nach der Operation beschrieben. Lori Baker Schena beschreibt in ihrem Artikel mehrere Arten der “surprise”, erstens die “surprise for everyone” von der sowohl Arzt als auch Patient überrascht werden. Zweitens, der Arzt ist vorbereitet, der Patient nicht. Als Gründe hierfür werden „selektives Hören“ beider Seiten beim Patientengespräch und inadäquate Erwartungen seitens des Patienten genannt. Drittens die unerwartete Komplikation. Wobei sich diese Beispiele nicht nur auf die Kataraktchirurgie sondern auf die refraktive Chirurgie wie LASIK etc. allgemein beziehen. [46]

Auch weitere Autoren nennen an erster Stelle als mögliche Ursache menschliches Versagen wie zu großes Selbstvertrauen und Bequemlichkeit der Untersucher, die sich durch die vermeintlich korrekten Messungen der Apparate auf der sicheren Seite wähnen ohne eine weitere Kontrolle für nötig zu erachten. [23, 30] Man verlässt sich auf die Ergebnisse der Messgeräte und die Erwartung des Arztes einer vorhersagbaren Refraktion, durch immer exakter messende Geräte wie den IOL-Master, steigt immer mehr an. [27]

Allgemein sind sich alle einig, dass schon beim präoperativen Patientengespräch dem Patienten genau zugehört werden muss, was seine Erwartungen und Wünsche den Visus betreffend sind. Sollte man überhaupt bei allen Patienten auf postoperative Emmetropie zielen? Denn postoperative Emmetropie bedeutet schlussendlich iatrogene Presbyopie. Eine Lesebrille wird nach OP gebraucht. [11] Bei gewissen Berufszweigen ist es gar nicht sinnvoll, diese „Standardrefraktion“ anzustreben.

Für einen Koch beispielsweise spielt sich seine Welt hauptsächlich auf Armeslänge ab, was ein Ergebnis in die postoperative leichte Myopie viel sinnvoller erscheinen lässt, sodass er in der Küche keine Brille zu tragen braucht. [23] Grundsätzlich haben heutige Patienten mehr Erwartungen als nur die Verbesserung des Visus, sie wünschen eine exzellente Sicht und keine Brille mehr zu benötigen. [45] Falsche Messwerte können durchaus auch durch eine wirklich vermeidbare Unachtsamkeit des Untersuchers entstehen wie beispielsweise, wenn der Patient während der Biometrie seine Kontaktlinsen trägt. [13]

4.2. Biometrie und Augenanomalien

4.2.1 Alter

Der allererste erhobene Parameter dieser Studie war das **Alter**. Die Patienten dieser Studie waren bei Operation im Mittelwert 71,1 Jahre alt. Die Altersspanne erstreckte sich von 20 bis 96 Jahre. Es konnte jedoch mit statistischen Tests keine Signifikanz bezüglich der Korrelation des Alters und des Auftretens einer refractive surprise erkannt werden (Spearman p= 0,4018, Pearson p= 0,9198). Was doch überrascht, da man bei höherem Alter auch von eingeschränkter Mobilität und Compliance ausgehen kann. So haben ältere Patienten häufig Probleme den Kopf auf der Kinnstütze der Messgeräte zu positionieren. Jedoch fand sich kein Einfluss von eventuell ungenauen Messungen auf das Ergebnis.

4.2.2 Augenseite

Ein interessanter Aspekt ergab sich aus dem vorliegenden Datenmaterial bezüglich der operierten **Augenseite**. Es gibt ein in der Vierfeldertafel (s. Tabelle 6) klar zu erkennendes häufigeres Vorkommen einer Refractive surprise am rechten Auge im Vergleich zum Linken. Aus den p-Werten des Wilcoxon-Rangsummentests ergibt sich aber für das für diese Studie als sinnvoll gewählte Signifikanzniveau von 5% keine statistische Signifikanz für den Zusammenhang des Auges mit der Refraktiven Differenz.

Hier könnte Ursachenforschung erfolgen und eine weitere Studie mit mehr Patienten angeschlossen werden. Mögliche Hypothesen zur Ursache wären die Händigkeit des Operateurs (Rechts- oder Linkshänder), ob eine bevorzugte Operationsseite vorliegt oder ein Unterschied in der Operationstechnik von rechtem und linkem Auge betreffend die Zugänge oder das Einführen und die IOL-Rotation.

4.2.3 Vorhergehende refraktive Chirurgie

Die präoperative Erhebung der Biometriedaten durch Gerätemessung wird vor allem durch Augen erschwert, die bereits vor der Kataraktoperation refraktiver Chirurgie wie z. B. PRK unterzogen wurden, was dann in logischer Folge eine refractive surprise nach sich zieht. Dieser Aspekt war Gegenstand zahlloser Studien und wird auch in neueren Artikeln zitiert. [2, 36, 41] Für diese Patienten wäre die präoperative Bildgebung des vorderen Augenabschnitts mittels visante OCT auf jeden Fall eine sinnvolle Variante zur Berechnung der IOL. Im Gegensatz zum IOL-Master können hier Krümmung von Hornhautvorder- und Hinterfläche beurteilt werden. Dies ist sehr sinnvoll, da die Krümmung der Oberfläche ja durch Laser verändert wurde. In diesem Fall könnte das visante OCT zur Verbesserung der Operationsergebnisse beitragen. In dieser Studie waren Patienten mit vorhergehenden refraktiven Eingriffen jedoch ausgeschlossen, sodass dieser Punkt hier nicht weiter verfolgt werden muss.

4.2.4 Achslänge, Vorderkammertiefe, Hornhautparameter

Zur präoperativen Auswahl der passenden IOL werden vor allem folgende Daten benötigt:

AL, VKT, Keratometrie. Diese Messungen werden standardmäßig mit dem IOL-Master erhoben. In dieser Studie wurde die Keratometrie nochmal einzeln aufgearbeitet in Astigmatismus und Hornhautbrechkraft. Momentan ist der IOL-Master das Gerät der Wahl zur Bestimmung der Parameter.

Er hat frühere Methoden wie den A-Scan abgelöst. Im Vergleich der Geräte (IOL-Master vs. Sono) [37] liefert der IOL Master bessere Ergebnisse. In dieser Studie sollte nun zusätzlich ein weiteres neues Gerät, das visante OCT zum Vermessen des vorderen Augenabschnitts genutzt werden.

In der Literatur findet sich in vielen Fällen der Zusammenhang zwischen besonderen (extremen) Messwerten der Vorderkammer und refraktiver Aberrationen im unoperierten Auge. So ist die VKT und die AL stark mit refraktiven Fehlern in Patienten beiderlei Geschlechts korreliert. [18,25] Condon bezeichnet eine flache Vorderkammer sogar als „rote Flagge“, da hier mit erhöhter Wahrscheinlichkeit eine refractive surprise auftreten kann. [12] Die in dieser Studie ausgewerteten Daten beziehen sich jedoch alle auf das postoperative Auftreten einer refraktiven Anomalie. Weder die präoperativ gemessene **Achslänge (AL)** (Spearman p= 0,6463, Pearson p= 0,4953) noch die präoperativ zweimalig bestimmte **Vorderkammertiefe (VKT)** (vgl. Tabelle 8) zeigen im statistischen Testverfahren einen signifikanten Zusammenhang mit einer postoperativ auftretenden Refractive surprise an. Zusätzlich zur herkömmlichen Messmethode mit dem IOL-Master wurde die VKT noch mit dem visante OCT gemessen. Im direkten Vergleich der beiden Messwerte pro Auge zeigt sich immer eine konstante Differenz von im Mittelwert 0,498 mm (s. Tabelle 2), sodass man von validen Ergebnissen ausgehen kann. Einzig in den p-Werten des Spearman Rangkorrelationskoeffizienten von VKT präOP (IOL-Master) und der refraktiven Differenz (p= 0,0271) ist eine leichte Signifikanz bei einem gewählten Signifikanzniveau von 5% zu erkennen. Die Konkordanz der p-Werte der Variablen VKT präOP mit IOL-Master können jedoch nicht zu einer Aussage bezüglich der Relevanz führen. Ebenso können diese Zusammenhänge Zufall sein, da vor Durchführung der Studie keine eindeutige Nullhypothese formuliert wurde und bei der großen Anzahl an Tests zwangsweise irgendwo auf einen zufälligen Zusammenhang gestoßen werden muss. Die Werte können jedoch Hinweise dafür geben, in welche Richtung es sich lohnen würde, mit einer weiteren Studie nachzuforschen. Dafür müsste eine weitere Studie mit neuen Datensätzen mit Schwerpunkt auf diesem Gesichtspunkt durchgeführt werden.

Auch in den Tests für **Astigmatismus** (Spearman p= 0,2851, Pearson p= 0,2673) und für **Hornhautbrechkraft** (Spearman p= 0,8833, Pearson p= 0,691) konnte kein Zusammenhang mit der refractive surprise hergestellt werden. Die möglichen „extremen“ Werte der Vorderkammer liefern also zumindest in dieser Studie keine Erklärung für das Auftreten einer refractive surprise.

4.2.5 IOL-Master, Visante OCT

Falls eine ungenaue Messung vorliegen sollte, wo liegt die Ursache? Ursachen für falsche IOL-Berechnung werden seit Jahren diskutiert. Olsen war einer der ersten, der den Einfluss der AL, der Hornhautbrechkraft und der IOL-Position in Relation zu dem operativen Endergebnis setzte. Er befand die AL als den wichtigsten Parameter für die Kalkulation der Stärke der einzusetzenden IOL. [39, 40]

Ergänzt wurden seine Studien durch Norrby, der anfügt, dass die höhere Präzision in der Messbarkeit der Werte nicht mit besseren postoperativen Ergebnissen gleichgesetzt werden könne. Was soviel bedeutet wie die AL kann nicht zur Vorhersage für eine refractive surprise herangezogen werden. [38] Allerdings fanden die Forschungen von Olsen und Norrby vor der Einführung faltbarer Linsen statt. Ihre Erkenntnisse decken sich jedoch mit den Ergebnissen dieser Studie. Gemäß Messung mit dem IOL-Master scheint die Achslänge keinen Einfluss auf eine refractive surprise zu haben. Dies bestätigt sich durch den Vergleich der Ergebnisse der beiden unabhängigen präoperativen VKTmessung mit Visante OCT und IOL-Master. Die Differenz der gemessenen Werte der beiden Geräte bleibt immer relativ konstant. Dies ist aus Tabelle 2 ersichtlich. Beide Geräte weisen somit eine vergleichbare Messgenauigkeit auf. Die zusätzliche Messung der VKT mit dem visante OCT ist also überflüssig.

Man könnte die mögliche Ursache einer Messungenauigkeit unter anderem in der spezifischen Formel zur Berechnung der IOL-Linsen-Stärke suchen. Der für diese Studie verwendete IOL-Master von Zeiss verwendet die Haigis Formel (s. Anhang).

Mit ihr zeigen sich nur geringe Unterschiede in der Messung zwischen unterschiedlich langen Augen. Bezüglich der Achslänge gibt es hier am wenigsten Abweichung beschrieben in einer Studie von Becker. [6] Allgemeine Vergleiche von Berechnungen verschiedener IOL Formeln wie Haigis, Holladay oder der Gernet Formel gibt es zuhauf [5,19, 39], dieser Aspekt geht aber über die Ziele dieser Studie hinaus.

4.2.6 SNR

Zur Diskussion der Genauigkeit der Messwerte des IOL-Master gehört auch die Frage, wie genau kann der IOL-Master überhaupt messen. Hat das Gerät überhaupt die Möglichkeit in einem Kataraktauge eine verlässliche Messung durchzuführen. Um dem auf den Grund zu gehen, wurde in dieser Studie zu jeder präoperativen IOL-Master Messung die jeweilige **SNR (Signal to Noise-Ratio, Signal-Rausch-Verhältnis)** mitnotiert. Die SNR beschreibt das Eindringen der zwei Lichtstrahlen bei der im Gerät verwendeten Laserinterferometrie. In Tabelle 5 sind die korrespondierenden Genauigkeiten der SNR-Werte aufgeführt. Kleine Signalstärke bedeutet schlechte Eindringtiefe des Lichtstrahls, behindert durch die undurchlässige getrübte Linse, und damit ungenaueres Messergebnis der Biometrie. In den statistischen Tests zeigte sich jedoch keine Signifikanz in der Korrelation SNR zu refraktiver Differenz (Spearman p= 0,1285, Pearson 0,05105).

4.3. IOL

4.3.1 Falsche IOL

Kelly und Jalil beschreiben in ihrer Studie als Ursache einer refractive surprise die Implantation einer falschen IOL. Es werden drei Hauptgründe genannt. Inkorrekte Biometrie, Wahl der falschen IOL und eine Missinterpretation der handschriftlichen Einträge in der Akte oder auf dem OP-Plan. Zum Ausschluss dieser vermeidbaren Ursachen werden einfache Strategien genannt wie deutliche Schrift, ein sorgfältiges time-out vor der OP oder ausschließliche Verwendung ausgedruckter biometrischer Daten, die schriftliche Übertragungsfehler vermeiden.[30] Ein durch Untersucher oder Operateur nicht beeinflussbarer Faktor ist die falsche Auszeichnung der IOL durch den Hersteller. [24, 43] Dies kam in Einzelfällen vor, ist aber durch die heutige Herstellungsqualitätsicherung fast ausgeschlossen. [12] Ein Einfluss des Kunstlinsentyps wurde für diese Studie ausgeschlossen, da von den verschiedenen Modellen (insgesamt 5) zu wenige verwendet wurden. Implantiert wurde in 54 Augen Alcon SA60AT, in 1 Auge Alcon SN6CWS, in 1 Auge Abbott Medical Optics AMO AR 40 E, in 1 Auge Abbott Medical Optics AMO ZA 9003 und in 1 Auge Rayner RAYNER620H. Um diesen Faktor zu überprüfen, wäre eine gesonderte Vergleichsstudie vonnöten.

4.3.2 Lage der IOL

Kann die postoperative Lage der implantierten IOL , je nach Zentrierung oder Kippung, zu einer refractive surprise führen? Um dieser Frage in der Studie nachzugehen wurde die **postoperative Schräglage** der Linse mit dem visante OCT ermittelt. In der Bildgebung wurde manuell der Abstand Iris-Linse nasal und temporal gemessen (s. Abb. 9) und davon die Differenz berechnet. Der Mittelwert betrug 0,0762 mm. In den statistischen Testverfahren konnte keine statistische Signifikanz in der Korrelation mit der refractive surprise nachgewiesen werden (Spearman p= 0,1661, Pearson p= 0,6691), in der Literatur sind jedoch Beispiele beschrieben.

Hier ist es vor allem die Lage der IOL an sich, zu weit vorn oder hinten, die zu refraktiven Ereignissen führt. Als spezifische Ursache einer myopischen surprise wird die Lage der Linse zu weit vorne genannt. Bei Zonulaschwäche oder zu großer Kapsulorhexis kann es zu einem „myopic shift“ der IOL kommen, wobei 1 mm nach vorn ungefähr +1,5 dpt Veränderung ergeben. [12 , 23, 47]

Eine Positionierung der Linse im Sulcus statt im Kapselsack führt zur Veränderung in der Refraktion bis zu + 0,5 dpt, eine posteriore Fehllage zu -0,2 bis -0,3 dpt. [9]

Auch die Abweichung der Refraktion durch Bewegung der Linse im Kapselsack durch weichere Materialien wurde beschrieben. Die Kunstlinse ist nicht so starr wie die Kataraktlinse. Hier kann es zu Abweichung von bis zu 3 dpt kommen, Vor- und Zurückbewegungen im Kapselsack finden durch Kapselsackkontraktionen statt. [36]

Eine koreanische Studie nutzte bereits die neue Technik des visante OCT und stellte fest, dass durch eine Kataraktexzision der Kammerwinkel geweitet wird und die Vorderkammer um etwa 50% vertieft wird. [31] Bezüglich der VKT decken sich die koreanischen Ergebnisse mit dieser Arbeit, da sich auch hier bei Messungen mit dem visante OCT die VKT von präoperativ im Mittelwert 2,62 mm auf postoperativ 4,1 mm im Mittelwert vertiefte. Hier beträgt die Vertiefung der Kammer sogar 56,5%. Das ist an sich ein logischer Vorgang, da die verdickte Kataraktlinse durch eine viel dünnere und nicht so voluminöse Kunstlinse ersetzt wird.

4.4. Hinterer Augenabschnitt

In dieser Studie wurden zusätzlich noch Parameter der Retina, also des Augenhintergrundes erhoben. Dies geschah ebenfalls mithilfe optischer Kohärenztomografie, dem Makula OCT. Die Frage war, ob eine eventuell vorhandene Zellschicht über der Retina, eine sogenannte **epiretinale Membran (ERM),** zur Ursache einer refractive surprise werden kann. Außerdem wurde die **zentrale Dicke der Retina** ermittelt. In den Auswertungen ergab sich weder ein statistisch signifikanter Zusammenhang für die Parameter ERM und die refraktive Differenz (Wilcoxon p= 0,07771) noch für die zentrale Retinadicke (Spearman p= 0,211, Pearson p= 0,204).

Zur **Verbesserung der Ergebnisse** ist es zusammenfassend sinnvoll eine akkurate subjektive Refraktion vor OP und eine immer standardmäßige Wiederholung von biometrischen Messungen und deren Vergleich durchzuführen. Eventuell wäre intraoperative Autorefraktion eine zusätzliche Möglichkeit, Fehler in der Linsenstärke zu vermeiden. [24]

Eine **Korrektur** einer exzessiven und störenden refractive surprise sollte natürlich ursachenbezogen erfolgen. Möglichkeiten bieten sich in Laser Korrektur (LASEK/LASIK), der zusätzlichen Implantation einer zweiten „add-on“ IOL [4, 17, 26] oder dem kompletten IOL Ersatz/Austausch. [2, 27, 41] Bei einem Shift kann noch der Versuch eines „pushback“ mit einer Nadel unternommen werden [12] oder die Refixierung im Kapselsack mit einem Loop in der Sklera. [36]

4.5. Visante OCT

In dieser Studie konnte auch durch die zusätzlichen Messungen mit dem visante OCT dem Rätsel einer refractive surprise oder der Vorhersagbarkeit postoperativer Messwerte nicht näher gekommen werden, dies deckt sich mit Erkenntnissen bisheriger Studien. [8] Jedoch kann mit Hilfe dieser Bildgebung eine genaue Beurteilung der Veränderungen prä- und postoperativ in der Vorderkammer stattfinden. [15] Eine noch bessere Reproduzierbarkeit von OCT Messungen wäre bei einer Automatisierung der Messung mit dem Computer möglich. [20] Dieser Bildgebung des vorderen Augenabschnitts wird in Zukunft eine wichtige Bedeutung zukommen vor allem im Hinblick auf Korneadiagnostik und Keratometrie [44, 50] sowie die Diagnostik des Kammerwinkels. [1, 34] Das Visante OCT bietet eine gute Beurteilbarkeit der prä- und postoperativen Vorderkammerstrukturen und eine exzellente Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. [20, 31, 32]

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Kataraktoperation ist heute durch die operationstechnischen Weiterentwicklungen ein wenig invasiver Eingriff. Im gleichen Maße ist der Anspruch an das postoperative Ergebnis gestiegen. Ein stärkeres Abweichen der postoperativen Refraktion von der Zielrefraktion – der sog. „refractive surprise“ – kann trotz optimalen chirurgischen Ergebnisses die Zufriedenheit des Patienten stark mindern. Ziel dieser Studie war es daher zu evaluieren, ob es Merkmale des Patientenauges gibt, welche bereits vor der Operation auf ein Auftreten eines „refractive surprise“ hindeuten.

In der vorliegenden Studie wurden prospektiv die Daten von 53 Patienten mit insgesamt 61 Augen erfasst, die sich in den Jahren 2010/2011 einer Kataraktoperation mittels Phakoemulsifikation und Implantation einer Hinterkammerlinse an der Universitätsaugenklinik Ulm unterzogen. Neben einer augenärztlichen Basisuntersuchung einschließlich Refraktion, Druckmessung, Biomikroskopie und Ophthalmoskopie wurde eine Biometrie des Auges bestehend aus Messung der Achslänge, Hornhautbrechkraft und Vorderkammertiefe durchgeführt. Zusätzlich zu diesen präoperativen Standarduntersuchungen im Rahmen eines solchen Eingriffs wurden prä- und postoperativ Messungen zur Darstellung des vorderen Augenabschnitts sowie der makulären Schichtung durchgeführt. Die postoperativen Untersuchungen fanden einen Tag nach dem chirurgischen Eingriff statt. Patienten mit intraokularen Entzündungen, Pupillenmotilitätsstörungen oder vorhergehender refraktiver Chirurgie wurden nicht in die Studie eingeschlossen.

Ein „refractive surprise“ trat in dieser Studie in knapp 20 % der Fälle auf. Keiner der erhobenen Parameter zeigte einen statistisch signifikanten Zusammenhang zum Auftreten eines „refractive surprise“. Weder Achslänge des Auges, Alter, Astigmatismus, Hornhautbrechkraft, operierte Seite (rechts/links), Signalstärke bei der Messung, eine mögliche Verkippung der Intraokularlinse, Vorderkammertiefe,

das Vorhandensein einer epiretinalen Membran der Makula oder die zentrale Netzhautdicke wiesen eine Korrelation zum Auftreten eines „refractive surprise“ auf.

Nach Datenlage dieser Studie ist es zum jetzigen Zeitpunkt dem Operateur nicht möglich, mit den hier durchgeführten Untersuchungen Risikopatienten für ein Verfehlen der Zielrefraktion bereits vor der Operation zu identifizieren. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass mit einer gewissenhaften ophthalmologischen Basisuntersuchung und einer sorgfältigen Biometrie das derzeit Mögliche gemacht ist: Der Operateur muss und kann sich auf die Kalkulation der Intraokularlinsen verlassen.

Die zusätzliche Durchführung einer optischen Kohärenztomographie des vorderen Augenabschnitts oder der Makula lässt zwar keine besseren Ergebnisse bezüglich des Auftreten eines „refractive surprise“ erwarten, kann bei ausgewählten Patienten aber dennoch eine sinnvolle Untersuchung zum Aufdecken anderer Pathologien sein, welche das funktionelle, postoperative Ergebnis beeinflussen können.

Um zukünftig noch verlässlichere Kalkulationen der Intraokularlinsen zu erhalten, sind weitere Untersuchungen erforderlich, welche mögliche Störgrößen identifizieren. Die aktuell schnellen technischen Entwicklungen lassen auf neue, noch zuverlässigere Geräte zur Berechnung der Intraokularlinsen hoffen. Eine ausführliche und sorgfältige Aufklärung des Patienten auch hinsichtlich des „refractive surprise“ ist angezeigt, um die möglichen Schwierigkeiten bei Intraokularlinsenkalkulation und Operation bereits im Vorfeld dieser von außen betrachtet so trivial erscheinenden Operation aufzuzeigen.

6 LITERATUR

1. Ahmed IIK, Teichman JC: OCT´s applications for the Cataract Surgeon. Supplement to Cataract & Refractive Surgery Today 7: 3-5 (2007)

2. Amon M: Correcting refractive Surprise Following Cataract Surgery. Cataract & Refractive Surgery Today Europe 4: 56-58 (2009)

3. Auffahrt GU, Apple DJ: Zur Entwicklungsgeschichte der Intraokularlinse. Der Ophthalmologe 98: 1017-1028 (2001)

4. Auffahrt GU, Rabsilber TM: Add-on-Intraolkularlinsen Indikationen, Potential und mögliche Risiken. Ophthalmo-Chirurgie 22: 265-268 (2010)

5. Bai L, Zhang ZP, Yi GL, Wu WJ, Lin HAT, Yan PS: Selection of accurate IOL formula in patients with cataract and high hyperopia. Zhonghua Yan Ke Za Zhi/ Chinese Journal of Ophthalmology 44: 1063-1065 (2008)

6. Becker KA, Holzer MP, Reuland AJ, Auffahrt GU: Genauigkeit der Linsenstärkenberechnung und Zentrierung einer asphärischen Intraokularlinse. Der Ophthalmologe 10: 873-876 (2006)

7. Blumenröder S: Klinische Refraktion In: Augustin AJ (Hrsg) Augenheilkunde. 3.Auflage, Springer Heidelberg, S. 579-598 (2007)

8. Böhm K: Berechnung von Intraokularlinsen mit Hilfe von Vorderkammer-Schnittbilddaten. Diplomarbeit Ophthalmologie/Medizin, Fachhochschule Jena (2008)

9. Brandser R, Haaskjold E, Drolsum L: Accuracy of IOL calculation in cataract surgery. Acta Ophthalmologica Scandinavica 75: 162-165 (1997)

10. Celsus: de medicina VII: Über die Arzneiwissenschaft in 8 Büchern, übersetzt und erklärt von Eduard Scheller. 2. Auflage, Verlag Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig (1906), digitales Exemplar ohne Seitenzahlen http://www.https//archive.org/stream/auluscorneliusc00friegoog/auluscorneliusc00friegoog_djvu.txt (21.3.2016)

11. Chell Paul B: Refractive targeting in cataract surgery. FOCUS, Occasional Update from the Royal College of Ophthalmologists 28 (2003) http://www.rcophth.ac.uk/core/core_picker/download.asp?id=492 (16.3.2014)

12. Condon GP, Kaufer R et al: refractive surprise. Cataract & Refractive Surgery Today 6: 27-30 (2006)

13. Díaz-Llopis M, García-Delpech S, Quijada A, Salom D, Udaondo P: Contact lenses and intraocular lens power calculation : refractive surprise using the IOLMaster non-contact biometric method. Arch Soc Esp Oftalmol 83:7-8 (2008)

14. Dollfus M-A: Geschichte der Augenheilkunde. In: Toellner R (Hrsg) Illustrierte Geschichte der Medizin. Band 3, Sonderauflage Andreas&Andreas Verlagsbuchhandel Salzburg: S.1183-1184,1187,1192-1193,1198-1201, 1212 (1986)

15. Doors M, Berendschot TTJM, de Brabander J, Webers CAB, Nuijts RMMA: Value of optical coherence tomography for anterior segment surgery. J Cataract Refractive Surgery 36: 1213-1229 (2010)

16. Duden, Wörterbuch medizinischer Fachbegriffe. 8. Auflage, S. 421-422 (2007)

17. El Awady HE, Ghanem AA: Secondary piggyback implantation versus IOL exchange for symptomatic pseudophakic residual ametropie. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 251: 1861-1866 (2013)

18. Foster PJ, Broadway DC, Hayat S, Luben R, Dalzell N, Bingham S, Wareham NJ, Khaw K-T: Refractive error, axial length and anterior chamber depth of the eye in British adults: the EPIC-Norfolk Eye Study. British Journal Ophthalmology 94: 827-830 (2010)

19. Gernet H: IOL-Berechnung nach Gernet und GOW-70-PC-Programm. Der Ophthalmologe 98: 873–876 (2001)

20. Goldsmith JA, Li Y, Chalita MR, Westphal V, Patil CA, Rollins AM, Izatt JA, Huang D: Anterior Chamber With Measurement by High-Speed Optical Coherence Tomography. Ophthalmology 112: 238-244 (2005)

21. Grehn F: Augenheilkunde. 28.Auflage, Springer Heidelberg, S. 164-172,174,183 (2002)

22. Hammurabi: Gesetzbuch des. Mesopotamien: Abschnitt 215 und 218 (17. Jahrhundert vor Christus) Übersetzung unter http://www.koeblergerhard.de/Fontes/CodexHammurapi_de.htm (24.4.2016)

23. Hill WE: Highly accurate IOL Calculations. Cataract & Refractive Surgery Today 5: 67-70 (2005)

24. Hiramasu R, Fujisawa K: To avoid post-operative refractive error in cataract surgery. Saudi Journal of Ophthalmology 26: 113-114 (2012)

25. Hosny M, Alió JL, Claramonte P, Attia WH, Pérez-Santonja JJ: Relationship Between Anterior Chamber Depth, Refractive State, Corneal Diameter, and Axial Length. Journal of Refractive Surgery 16: 336-340 (2000)

26. Huerva V: Piggyback multifocal IOLs for a hyperopic-presbyopic surprise after cataract surgery in high myopic patients. Contact Lens & Anterior Eye 37: 57-59 (2014)

27. Jin George JC, Crandall AS, Jones JJ: Intraocular lens exchange due to Incorrect lens power. Ophthalmology 114: 417-424 (2007)

28. Kahle W, Frotscher M: Taschenatlas Anatomie. Band 3, 9.Auflage, Thieme Stuttgart, S. 346-348 (2005)

29. Kanski J: Klinische Ophthalmologie, Lehrbuch und Atlas. 6.Auflage, Urban und Fischer München, S. 344-346, 350-351, 353-355 (2008)

30. Kelly SP, Jalil A : Wrong intraocular lens implant; learning from reported patient safety incidents Eye 25: 730–734 (2011)

31. Kim M, Park KH, Kim T-W, Kim DM: Changes in Anterior Chamber Configuration after Cataract Surgery as Measured by Anterior Segment Optical Coherence Tomography. Korean J Ophthalmol 25: 77-83 (2011)

32. Kucumen RB, Yenerd NM, Gorgun E, Kulacoglu DN, Dinc UA, Alimgil ML: Anterior Segment optical coherence tomography measurement of anterior chamber depth and angle changes after Phacoemulsification and IOLimplantation. J Cat Refr Surg 34: 1694-8 (2008)

33. Lang GE, Lang GK: Ophthalmologische Untersuchung. In: Lang GK (Hrsg) Augenheilkunde, Thieme Stuttgart, 4. Auflage, S. 3 (2008)

34. Leung CKS, Weinreb RN: Anterior Chamber angle imaging with OCT Eye 25: 261-267 (2011)

35. Lüllmann-Rauch R: Histologie - Verstehen, Lernen, Nachschlagen. Thieme Stuttgart, S. 494-495 (2003)

36. Morselli S, Toso A: Refractive Surprises and IOL Dislocation Two common problems after cataract surgery. Cataract & Refractive Surgery Today Europe 6: 60-62 (2011)

37. Nemeth J, Fekete O, Pesztenlehrer N: Optical and ultrasound measurement of axial length and anterior chamber depth for intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 29: 85–88 (2003)

38. Norrby S: Sources of error in intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 34: 368–376 (2008)

39. Olsen T: Calculation of intraocular lens power: a review. Acta Ophthalmologica Scandinavica 85: 472-485 (2007)

40. Olsen T: Sources of error in intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 18: 125–129 (1992)

41. Pande M: Refractive Surprise after Cataract Surgery. FOCUS The Royal College of Ophthalmologists: 5-6 (2010)

42. Penner V, Rocha G: Use of the Visante for Anterior Segment Ocular Coherence Tomography.Techniques in Ophthalmology 5: 67–77 (2007)

43. Ravi K, Senthil S, Pesala V: Refractive surprise following implantation of correct powered intraocular lens- areal surprise!. Int Ophthalmol 32: 603-605 (2012)

44. Rodrigues EB, Johanson M, Penha FM: Anterior Segment Tomography with the Cirrus Optical Coherence Tomography. Review Article Journal of Ophthalmology, Article ID 806989 (2012) http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3278920/ (17.3.2014)

45. Rubenstein JB: Piggyback IOLs for Residual Refractive Error after Cataract Surgery. Cataract and Refractive Surgery Today 12: 28-30 (2012)

46. Schena LB: Minimize Surprise After Refractive Surgery. American Academy of Ophthalmology Web Site: www.aao.org Original URL: http://www.aao.org/publications/eyenet/200609/feature.cfmm (2.3.2014)

47. Schönhofen A, Gorodezky L, Wenzel M: Refraktionsfehler nach IOL-Implantation – Messfehler oder anatomischer Fehler. Opthalmo-Chirurgie 23: 109-114 (2011)

48. Sinskey RM: A history of modern Cataract Surgery. Cataract &Refractive Surgery Today 6: 20-22 (2006)

49. Straub W: Bildgebende Verfahren In: Kroll P, Küchle HJ, Küchle M (Hrsg) Augenärztliche Untersuchungsmethoden. 3. Auflage, Thieme Stuttgart, S. 388-389, 395 (2008)

50. Ventura BV, Moraes Jr. HV, Kara-Junior N, Santiago MR: Role of Optical Coherence Tomography on Corneal Surface Laser Ablation. Review Article, Journal of Ophthalmology, Article ID 676740 (2012) http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3461297 (17.3.2014)

51. http://www.britannica.com/Ebchecked/topic/761211/Sir-Harold-Lloyd-Ridley#(25.6.2013)

52. http://www.zeiss.de/meditec/de_de/produkte-loesungen/ophthalmologie/katarakt/diagnose/optische-biometrie/iolmaster-500.html (15.3.2016)

53. Zegers RHC: The eyes of johann sebastian bach. Arch Ophthalmol 123:1427-1430 (2005)

7 ANHANG

IOL – Berechnung nach HAIGIS (W. Haigis. Letzte Änderung: 07.12.98)

$$DL = \frac{n}{L - d} - \frac{n}{n/z - d} \quad (1)$$

$$\text{mit } z = DC + \frac{ref}{1 - ref\ dBC} \quad \text{und} \quad DC = \frac{nC - 1}{RC}$$

D : IOL – Brechkraft

DC : Hornhaut – Brechkraft

RC : Hornhautradius

nC : (fiktiver) Brechungsindex der Hornhaut

ref : Zielrefraktion

dBC : Scheitelabstand zwischen Hornhaut und Brille

d : optische Vorderkammertiefe

L : Achsenlänge

n : Brechungsindex von Kammerwasser und Glaskörper (1.336)

Für die 'Berechnungsweise nach HAIGIS' gilt zum einen:

nC = 1.3315

dBC = 12 mm

L : Ultraschall – Messwert für die Achsenlänge

Zweitens wird die optische Vorderkammertiefe d regressiv aus präoperativen akustischen Messwerten bestimmt:

$$d = a0 + a1\ VKpr + a2\ ALpr \quad (2)$$

mit $a0 = \text{ACD-Konst} - a1\ MW(VKpr) - a2\ MW(ALpr)$ (3)

VKpr : präoperative Vorderkammertiefe (Ultraschall – Messwert)
ALpr : (=L) präoperative Achsenlänge (Ultraschall – Messwert)
MW(..) : Mittelwerte für VKpr (=3.37) mm und ALpr (=23.39) mm
ACD – Konst : ACD – Konstante des Herstellers

Der Zusammenhang zwischen der ACD – Konstanten und der A – Konstanten, die vom Hersteller zur Charakterisierung einer Intraokularlinse angegeben werden, ergibt sich dabei durch:

$$A - Konst = (ACD - Konst + 68.747) / 0.62467$$

Berechnung sphärisches Äquivalent

$$\text{sphärisches Äquivalent} = sph + (cyl / 2)$$

sph: sphärischer Wert in der Visusbestimmung

cyl: zylindrischer Wert in der Visusbestimmung

8 DANKSAGUNG

Ein herzliches Dankeschön an Herrn Professor Lang und Frau Professor Lang für die Überlassung des Themas.

Dank an Dr. Jens Werner für die kompetente, stets prompte und herzliche Hilfe.

Dank an Dr. Dieter Graessle für die Zahlenjonglage und aufmunternde Einlagen.

Danke meiner Mutter für die unerschütterliche, nicht genug zu würdigende Unterstützung und Danke meinem Vater.

9 LEBENSLAUF

1986	geboren in Ulm
1992-1996	Grundschule Dellmensingen und Merian Grundschule Ulm
1996-2005	St. Hildegard Gymnasium, Ulm
2005	Abitur
Spielzeit 2005/2006	Regiehospitanz und -assistenz am theater ulm
2006-2013	Medizinstudium an der Universität Ulm
2012	Praktisches Jahr
	Luzerner Kantonsspital, Schweiz
	Klinik am Eichert, Göppingen
	Universitätsspital Basel, Schweiz
Sommer 2013	Approbation als Ärztin