

# **UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF**

Kopf- und Neurozentrum, Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde

Direktor: Prof. Dr. Martin Spitzer

## **Langzeitergebnisse skleral-fixierter Hinterkammer- Intraokularlinsen-Implantation mit der knotenlosen modifizierten Z-Naht-Technik**

### **Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Vasileios Dimopoulos  
aus Köln

Hamburg 2018

**Angenommen von der Medizinischen Fakultät am: 11.06.2019**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

**Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Martin Spitzer**

**Prüfungsausschuss, 2. Gutachter/in: PD Dr. Ulrich Schaudig**

## Inhaltsverzeichnis

Arbeitshypothese und Fragestellung .....	5
1. Einleitung .....	6
1.1. Anatomie der Linse .....	6
1.2. Aufhängeapparat der Linse .....	7
1.3. Funktion der Linse .....	8
1.4. Katarakt .....	9
1.4.1. Pathogenese der Katarakt .....	9
1.4.2. Epidemiologie der Katarakt .....	9
1.4.3. Formen der Katarakt .....	10
1.5. Geschichte der Kataraktchirurgie .....	11
1.6. Intraokulare Linsen .....	13
1.7. Veränderungen des Aufhängeapparates: Linsenluxationen .....	14
1.7.1 Trauma .....	15
1.7.2. Pseudoexfoliations-Syndrom .....	15
1.7.3. Angeborene und sekundäre Schwäche der Zonula und Kapsel .....	16
1.7.4. Iatrogen entstandene Aphakie .....	16
1.8. Korrekturmöglichkeiten der Aphakie .....	17
1.8.1. Extraokulare Korrektur .....	17
1.8.1.1. Ausgleich durch Starbrille .....	17
1.8.1.2. Ausgleich durch Kontaktlinsen .....	18
1.8.2. Intraokulare Korrektur der Aphakie .....	18
1.8.2.1. Implantation in den Sulcus .....	18
1.8.2.2. Kammerwinkelgestützte Vorderkammerlinse (VKL) .....	19
1.8.2.3. Irisklauenlinsen .....	21
1.8.2.4. Skleranahtfixierte IOL .....	23
1.8.2.4.1. Sklerafixation von Faltlinsen .....	26
1.8.2.4.2. Kleinschnitt-Technik zur Injektorimplantation .....	27
1.8.2.4.3. Komplikationen und Nachteile der Sklerafixation .....	28
1.8.2.4.4. Die modifizierte Z-Naht-Technik .....	29
1.8.2.4.5. Ziel der Arbeit .....	29
2. Material und Methoden .....	30
2.1. Patientenkollektel .....	30
2.2. Einschlusskriterien .....	30
2.3. Ausschlusskriterien .....	30

2.4. Studienparameter .....	30
2.4.1. Patientendaten .....	30
2.4.2. Diagnose .....	31
2.4.3. Datum der Operation und Datum der postoperativen Untersuchungen...	31
2.4.4. Präoperative und postoperative bestkorrigierte Sehschärfe (BCVA).....	31
2.4.5. Postoperativer IOL Status .....	31
2.4.6. Postoperative Komplikationen .....	32
2.4.7 Optische Coherence Tomography .....	32
2.5. Methoden.....	32
2.5.1. Aufklärung .....	32
2.5.2. Implantate .....	33
2.5.3. Durchführung der modifizierten Z-Naht-Technik .....	33
2.6. Statistische Auswertung.....	35
2.7. Maßstäbe des therapeutischen Erfolges .....	36
2.7.1. Sehschärfe Prüfung.....	36
2.8. Limitierung .....	38
3. Ergebnisse .....	39
3.1 Demographische Daten .....	39
3.2. Ursache für die Operation .....	40
3.3. Nachuntersuchungsintervalle und BCVA .....	41
3.4. Die Wahrscheinlichkeit einer IOL-Dislokation.....	43
3.5. Das Alter und das Trauma als Risikofaktoren .....	44
3.6. Die postoperativen Komplikationen .....	46
4. Diskussion.....	48
5. Zusammenfassung.....	58
6. Literatur.....	60
7. Abkürzungen .....	70
8. Danksagung .....	71
9. Lebenslauf.....	72
10. Eidesstattliche Versicherung .....	73

## **Arbeitshypothese und Fragestellung**

Bei Aphakie Situationen mit inadäquater Kapselsackunterstützung, bei der weder ein Kapselspannring noch eine Implantation der Intraokularlinse (IOL) in den Sulcus ciliaris möglich ist, kann die visuelle Rehabilitation durch eine sekundär implantierte IOL erfolgen. Hier besteht jedoch kein Konsens über die optimale Strategie, über die Art der IOL und den Ort der Fixation. Alle Techniken der sekundären IOL Implantation weisen spezifische Vor- und Nachteile auf, was die chirurgische Technik, den Zeitaufwand und die intra- und postoperativen Komplikationen betrifft.

Traditionell wurden kammerwinkelgestützte Vorderkammerlinsen (VKLs) und irisfixierte IOLs in solchen Fällen verwendet. Diese sind jedoch häufig mit einigen schwerwiegenden Komplikationen wie Hornhautendothelschaden und Glaukom assoziiert.

Um diese Komplikationen zu vermeiden, wurde die skleral-fixierte Hinterkammer-IOLs (HKLs) eingeführt. Hauptvorteil der HKL ist, dass sie die natürliche Position der Linse entsprechen. Somit besteht kein Kontakt mit dem Hornhautendothel oder mit den empfindlichen Strukturen des Vorderkammerwinkels. Zu den Nachteilen der skleral-fixierten HKL Implantation zählen die technische Komplexität des Verfahrens und die mit dem Fadenknoten assoziierte Komplikationen. Solche sind die Faden-Exposition mit nachfolgendem Endophthalmitis-Risiko und die IOL Dislokation durch Fadenbruch.

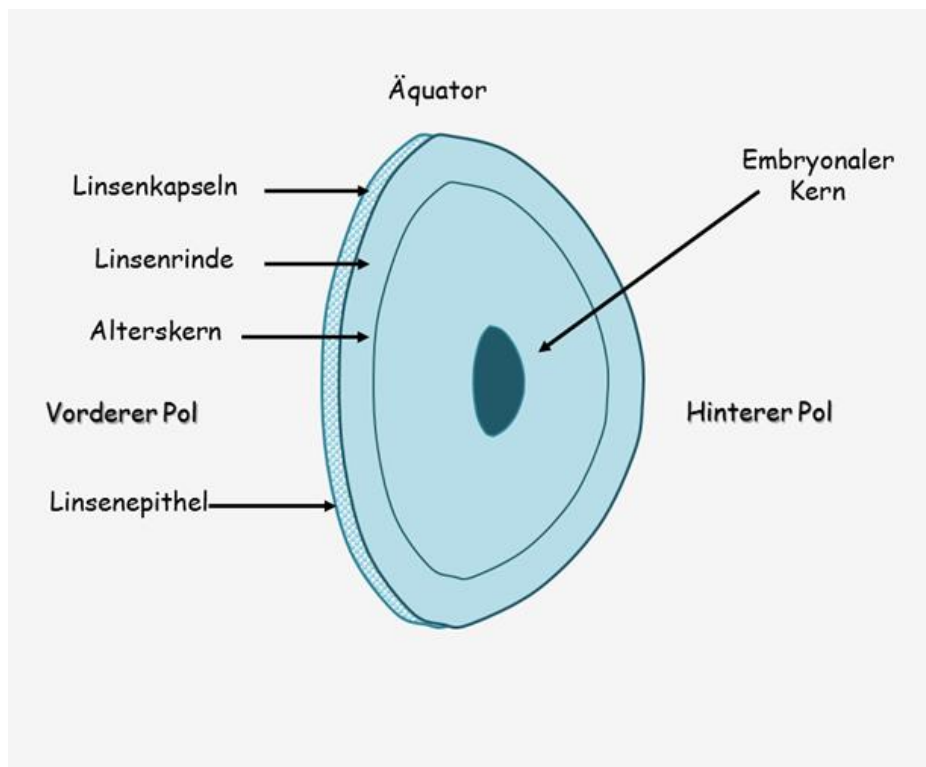
Die modifizierte Z-Naht-Technik wurde 2010 als Versuch zur Lösung der fadenassoziierten Probleme infolge Sklerafixation eingeführt. Es handelt sich um ein minimal-invasives Vorgehen, was exzellente anatomische und funktionelle Erstergebnisse gezeigt hat. Die Langzeitergebnisse stehen jedoch immer noch aus.

In dieser retrospektiven Studie möchten wir die modifizierte Z-Naht Technik in einem großen Patientenkollektiv mit Aphakie anhand der ersten Langzeitergebnisse, insbesondere der Komplikationen, evaluieren. Zudem möchten wir die Risikofaktoren für eine Misserfolg der Technik identifizieren.

# 1. Einleitung

## 1.1. Anatomie der Linse

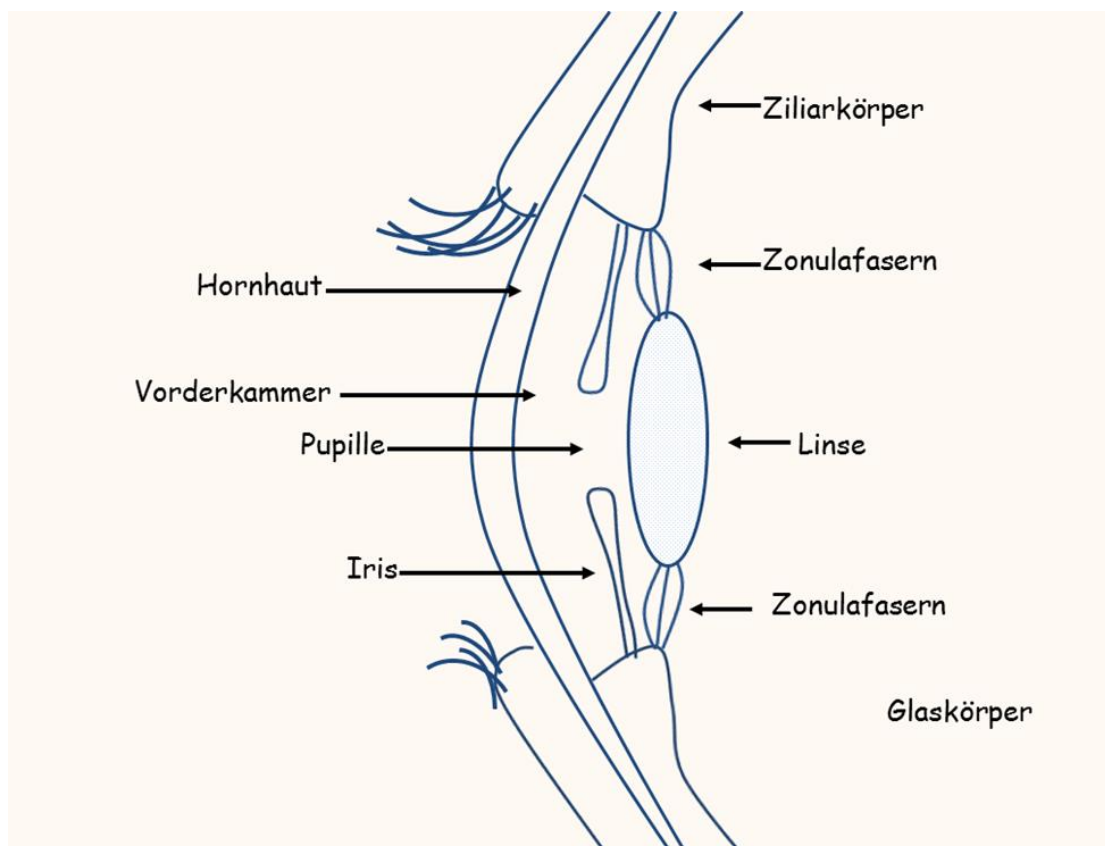
Die Linse ist eine transparente und glasklare, bikonvexe Struktur mit einer gekrümmten Vorder- und Hinterfläche. Die Vorderfläche hat einen Radius von 10mm und die Hinterfläche einen Radius von 6mm (Lang 2008). Sie stammt embryologisch vom Ektoderm ab. Die Bildung von neuen Linsenfasern (mit Ablagerung von neuen auf alten Fasern) ist ein lebenslanger Dauerprozess. Dadurch ergibt sich eine permanente Dickenzunahme der Linse mit einer durchschnittlichen Dicke von 4mm bis 6mm (Zuberbühler et al. 2008). Das Gewicht der Linse beträgt beim Erwachsenen 220mg, wobei es im Laufe des Lebens um das Fünffache zunehmen kann (Lang 2008). Die ältesten Fasern befinden sich im Zentrum und werden als primäre Linse oder Embryonalkern bezeichnet. Weiter außen liegt der Fetalkern, der infantile und adulte Nukleus, der Kortex und schließlich die Linsenkapsel, die am Äquator am dicksten (bis 23 $\mu$ m) und im Bereich des hinteren Pols am dünnsten ist (4 $\mu$ m) [(Zuberbühler et al. 2008), (Abb.1.1)].



**Abb. 1.1: Anatomie der Linse**

## 1.2. Aufhängeapparat der Linse

Der Aufhängeapparat der Linse besteht aus der Zonula und dem Ligamentum hyaloideocapsulare. Die beiden Strukturen fixieren die Linse in ihrer Position hinter der Iris am Ziliarkörper. Der Äquator reicht bis auf 0,5mm an die Ziliarzotten heran. Die Zonulafasern sind stark dehnbar, etwa 9 Mal mehr als die Linsenkapsel, und können die Akkommodations-Bewegung des Ziliarmuskels auf die Linsenkapsel übertragen (Abb.1.2). Es bestehen 2 Gruppen von Faserbündeln, das orbikulo-kapsulare System und das zilio-kapsulare System. Die Überkreuzung der beiden Systeme über dem Äquator stellt den Hannoverschen Raum dar und zwischen vorderer Glaskörpergrenzfläche und Zonula befindet sich der Petitsche Raum. Das Ligamentum hyaloideo-capsulare stellt die zirkuläre Anheftung der vorderen Glaskörpergrenzfläche an die hintere Linsenkapsel dar, 2mm vom Äquator entfernt und parallel zu demselben und bildet sich im Laufe des Lebens zurück (Naumann 1987).



**Abb. 1.2: Der Aufhängeapparat der Linse (Zonulafasern)**

### 1.3. Funktion der Linse

Die Linse ist ein wesentlicher Teil des dioptrischen Apparates des Auges, die einfallenden Lichtstrahlen auf die Netzhaut fokussiert. Die Linse ist in der Lage, ihre Form und Dicke zu variieren. Diese Funktion heißt Akkommodation und wird durch eine Verkleinerung des Radius der vorderen Linsenfläche charakterisiert (Abb.1.3). Dadurch kann eine Fokussierung verschiedener Distanzen erreicht werden. Sie macht, je nach Akkommodationszustand, mit 10 bis 20 Dioptrien ein Drittel der Brechkraft des Auges aus. Die Hornhaut bietet mit einem fixen Brechkraftanteil von ca. 43 Dioptrien die übrigen zwei Drittel an (Zuberbühler et al. 2008).

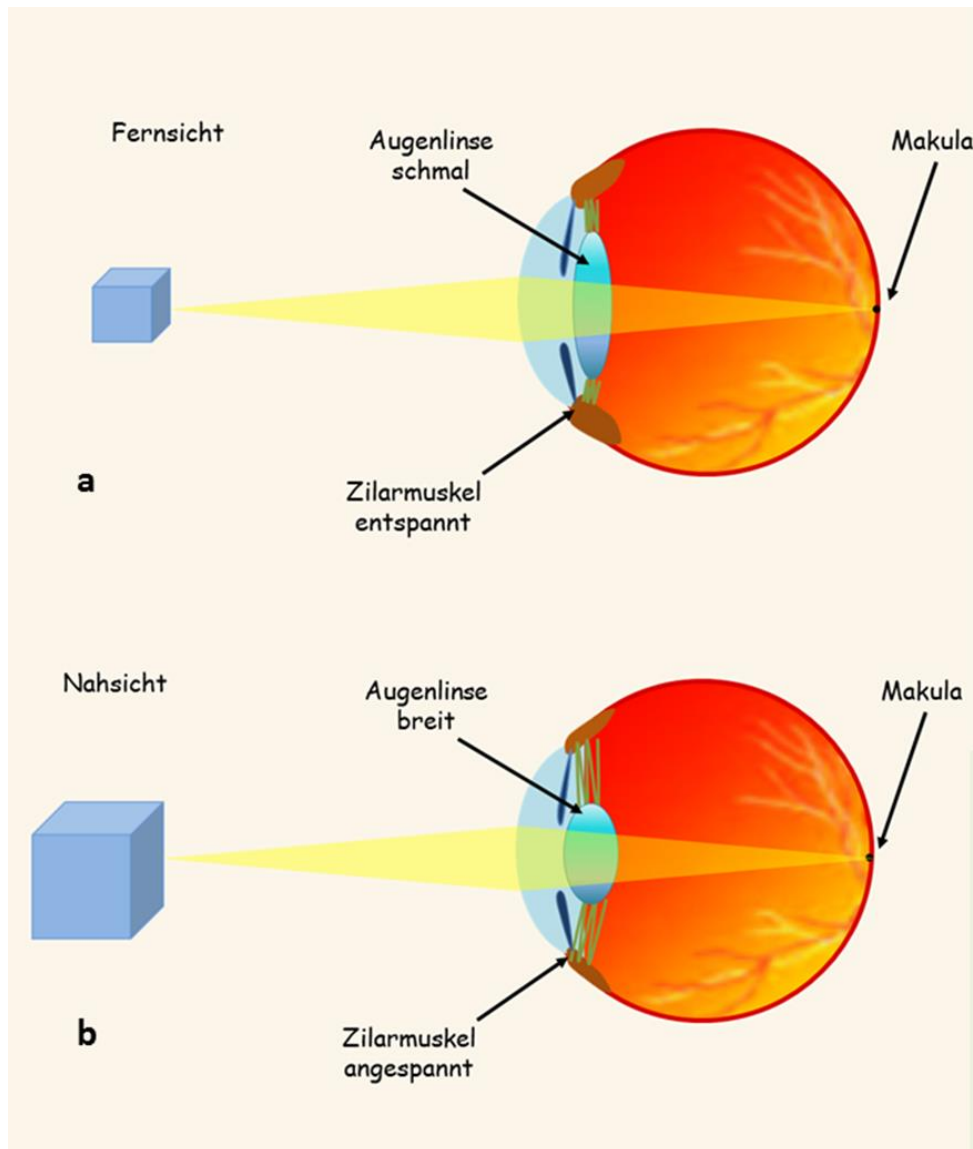


Abb. 1.3: Die Funktion der Akkommodation



## **1.4. Katarakt**

### **1.4.1. Pathogenese der Katarakt**

Die Linse ist ein epitheliales nerven- und gefäßfreies Organ und wird durch Diffusion des Kammerwassers ernährt. Das Linsenepithel produziert die Nährstoffe, die sowohl aktiv (Aufnahme von Natrium, Kalium, Calcium und Aminosäuren aus dem Kammerwasser) als auch passiv (Diffusion durch die hintere Linsenkapsel) in die Linse übertragen werden. Dieser Fluss wird als ‚Pump-Leak‘-System bezeichnet und stellt das Gleichgewicht des Wassergehaltes der Linse mit dem umgebenden Kammerwasser sicher. Somit ist die Klarheit der Linse gewährleistet (Lang 2008).

Im zunehmenden Alter kommt es zu einer Abnahme des Wassergehaltes und zu einer Zunahme von nichtlöslichen Linsenproteinen (Albuminoid). Diese Kombination führt zu einem Verlust der Elastizität und Transparenz der Linse, was anschließend zu einer Trübung (Katarakt) und zu einem Akkommodationsverlust der Linse führt. Dementsprechend ist die Entwicklung von Linsentrübungen (Katarakte) im Alter ein unausweichliches Phänomen, was ca. 95% aller Menschen über 65 Jahre trifft (Lang 2008).

### **1.4.2. Epidemiologie der Katarakt**

Die altersbedingte Katarakt ist verantwortlich für 51% der Blindheits-Fälle auf der Welt, dies umfasst etwa 20 Millionen Betroffene. Zudem führt die Katarakt zur moderaten bis schwere Behinderung in 53,8 Millionen Fällen (2004), von denen 52,2 Millionen in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen leben. In vielen Entwicklungsländern mit unzureichender augenchirurgischer Versorgung bleibt heutzutage die Katarakt immer noch die Hauptursache für Erblindung (Daten der World Health Organisation, 2008).

In den USA tritt die altersbedingte Katarakt bei 42% der Bevölkerung in der Altersgruppe von 52 bis 60 Jahren, bei 60% der Population zwischen 65 und 74 Jahren (Kahn et al. 1977) und bei 91% zwischen dem 75. und 85. Lebensjahr auf (Sperduto und Seigel 1980). Dementsprechend beeinflusst die Katarakt fast 22 Millionen Amerikaner im Alter von 40 Jahren und älter; und nach dem 80. Lebensjahr haben mehr als die Hälfte aller Amerikaner eine Katarakt (Internetquelle: American Academy of Ophthalmology 2011).

### **1.4.3. Formen der Katarakt**

Die Katarakt wird - je nach Zeitpunkt des Auftretens - in erworbene (99%) und kongenitale (nur 1%) Form unterschieden (Lang 2008).

Zwischen den erworbenen Formen ist der Altersstar oder senile Katarakt bei weitem die häufigste (90%). Nur 10% der erworbenen Katarakt haben eine andere Ursache. Systemische Allgemeinerkrankungen wie Diabetes mellitus, Galaktosämie, Niereninsuffizienz, Mannosidose, Morbus Fabry, Morbus Wilson und Lowe-Syndrom können zu Katarakt führen. Außerdem wird auch im Rahmen von Augenerkrankungen häufig eine sekundäre Katarakt beobachtet, diese wird als Katarakta complicata bezeichnet. Am häufigsten tritt die Heterochromiekatarakt auf, gefolgt von Katarakt bei chronischer Iridozyklitis, bei retinaler Vaskulitis und bei Retinitis pigmentosa. Ebenso kann die Entwicklung einer Katarakt mit intraokularen Tumoren assoziiert sein. Das tritt vor allem bei Augen mit malignen Tumoren nach einer Bestrahlung auf. Weitere Formen erworbener Katarakte sind Katarakte nach intraokularen Eingriffen (vor allem nach Vitrektomie mit oder ohne Endotamponade und nach filtrierenden drucksenkenden Eingriffen), die Katarakt nach Verletzungen (z.B. Contusio bulbi), bekannt als traumatische Katarakt, sowie die medikamentös bedingte Katarakt (häufig durch Steroide ausgelöst) (Lang 2008).

Eine Einteilung der Kataraktformen nach Reifestadium ist ebenfalls möglich und spielt im klinischen Alltag eine wichtige Rolle zur Indikation einer Katarakt-Operation. Bei noch voller Sehschärfe (Visus 0,8-1,0) handelt es sich um eine

incipiente Katarakt, wobei eine Operation in der Regel nicht erforderlich ist. Bei herabgesetzter Sehschärfe (Visus 0,4-0,5) besteht eine immature Katarakt und bei sehr starker Visusreduktion (1/50 – 0,1) handelt es sich um eine prosecte Katarakt. Sehr ausgeprägte Linsentrübungen, die nur eine Hell-Dunkel Wahrnehmung oder eine Wahrnehmung von Handbewegungen vor dem Auge erlauben, werden als mature und hypermature (Morgagni) Katarakt bezeichnet (Lang 2008).

Zudem folgt eine morphologische Einteilung der Kataraktformen, die hauptsächlich das operative Vorgehen beeinflusst. Die Kerntrübung (30%) schreitet langsam voran und führt meistens zur Myopisierung. In fortgeschrittenen Fällen nimmt sie eine gelbliche-bräunliche Färbung an (brunescente Katarakt). Die kortikale Katarakt (50%) oder Rindentrübung führt meistens zu einer Zunahme der Hyperopie und ist durch einen eher erhöhten Wassergehalt gekennzeichnet. Die subkapsuläre Katarakt (20%) oder hintere Schalenrübung ist eine Sonderform der Rindentrübungen, die in der optischen Achse beginnt.

## **1.5. Geschichte der Kataraktchirurgie**

Die Kataraktoperation ist einer der ältesten operativen Eingriffe in der Augenheilkunde und in der Geschichte der Medizin überhaupt. Bereits vor 2000 Jahren wurden im antiken Griechenland und im indisch- arabischen Kulturkreis die ersten Kataraktoperationen durchgeführt. Damals wurde eine Starnadel in das Auge eingeführt, wodurch die Linse in den Glaskörper herabgedrückt wurde (Hirshberg 1908).

Das Wissen um die Anatomie und die Krankheiten des Auges wurde über Jahrhunderte nicht weiter hinterfragt. Weitere anatomische Untersuchungen zur Definition und zum Sitz der Katarakt wurden erst im 18. Jahrhundert wieder durchgeführt (Hirshberg 1908).

Das Zeitalter der modernen Kataraktchirurgie begann durch Jaques Daviel Mitte des 18. Jahrhunderts. Dieser führte die Linsenextraktion aus der

Hinterkammer über einen Hornhautschnitt in der unteren Zirkumferenz ein (Hirshberg 1908).

Endgültig entwickelte jedoch A. v. Graefe Mitte des 19. Jahrhunderts die Technik einer Linearextraktion der Linse mit peripherer Iridektomie, die sich schnell etablierte und die Erblindungsrate der Kataraktoperationen auf unter 5% senkte (Wenzel und Clasen 1989).

Um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert entstanden zwei operative Verfahren, die prinzipiell bis heute Bestand haben: die intrakapsuläre (ICCE) und die extrakapsuläre Kataraktextraktion (ECCE). Bei dem ersten Verfahren wird die gesamte Linse inklusive Linsenkapsel aus dem Auge entfernt. Nachteil dieses Verfahrens ist der Glaskörperprolaps, welcher sekundär eine Netzhautablösung und /oder ein zystoides Makulaödem verursachen kann. Der Kapselapparat spielt eine sehr wichtige Rolle bei der Implantation der Linse. Deswegen wird die intrakapsuläre Kataraktextraktion (bei der der Kapselapparat entfernt wird) heutzutage nur noch in Ausnahmefällen durchgeführt. Bei der ECCE wird die vordere Linsenkapsel geöffnet und der Linseninhalt wird aus der Linsenkapsel entfernt. Die Linsenkapsel verbleibt im Auge (Jess 1943). Seither erfolgten allerdings unterschiedliche Modifikationen und Verbesserungen dieses Verfahrens (Apple et al. 1984).

Die Einführung der OP-Mikroskopie durch Harms und Mackensen in den 60er Jahren, die erste Kunstlinsenimplantation durch H. Ridley 1949 und die weitere Entwicklung der Intraokularlinsen seither sowie die Erfindung der Phakoemulsifikation durch Kelman waren die wichtigsten Entwicklungsschritte, die zu einer Etablierung der extrakapsulären Kataraktextraktion mittels Phakoemulsifikation als Standard-OP-Verfahren in den letzten 30 Jahren führten (Apple et al. 1984, Apple et al. 1989).

Charles Kelman führte 1967 die Phakoemulsifikation (die Zertrümmerung der Linsenmasse mittels Ultraschalles) als neues Verfahren ein, womit er die Kataraktchirurgie revolutioniert hat (Kelman 1967). Zwischen 1967-1969 wurde die neue Technik bei 12 Patienten angewendet und bis 1973 wurden in den USA 3500 Operationen durchgeführt (Kelman 1994). Im Jahr 1996 erfolgten 1,2 Millionen Kataraktextraktionen mittels Phakoemulsifikation. Heutzutage

werden etwa 96% aller Kataraktoperationen weltweit auf diese Art durchgeführt (Wenyel et al. 1997).

Anfang der 90er Jahre verbesserte sich die Kataraktchirurgie mit der Einführung der Kapsulorhexistechnik durch Gimbel und Neuhann und durch die gleichzeitige Entwicklung der symmetrischen Kapselsackfixation und nachfolgend der Intraokularlinsenchirurgie zur sogenannten Capsular Surgery (Gimbel und Neuhann 1990, Neuhann 1987).

Der Begriff der Capsular Surgery enthält folgende Operationstechniken: einen korneoskleralen nahtlosen Tunnelschnitt (Clear Cornea Inzision), die Öffnung der Vorderkapsel der Linse (Kapsulorhexis), die Linsenentfernung mittels Hydrodissektion, Hydrodelineation und Phakoemulsifikation, die symmetrische Kapselsackfixation und schließlich die Implantation der Intraokularlinsen. Diese OP-Techniken ermöglichen heutzutage eine sichere Kapsel- und Kapselrandfixation der Hinterkammerlinsen (Auffarth et al. 2008).

Die oben genannten Grundregeln der Phakoemulsifikation haben sich nicht weiter geändert. Modifizierungen und Weiterentwicklungen betreffen vor allem die Art, wie der Ultraschall heutzutage eingesetzt wird bzw. appliziert wird (Auffarth et al. 2008).

## **1.6. Intraokulare Linsen**

Jede Kunstlinse besteht aus einem optischen Teil, daher auch Optik genannt, und einer Haptik, meist einer Art Bügel, die zur Befestigung an den okulären Strukturen dient.

IOLs können, abhängig von verwendetem Material, hart oder weich sein. Harte Kunstlinsen werden aus Polymethylmetacrylat (PMMA), einem glasähnlichen, thermoplastischen Kunststoff, hergestellt. Für die Insertion einer solchen Linse muss der korneosklerale Schnitt an der Grenze zwischen Hornhaut und Bindehaut mindestens so groß sein wie der Durchmesser der Optik.

Flexible IOLs stellen eine relativ neue Materialvariante dar. Sie bestehen aus einer Mischung von Acrylaten und Methacrylaten, sie lassen sich falten und können in diesem Zustand durch deutlich kleinere, z.T. selbstschließende Schnitte, implantiert werden.

Bei einer einstückigen „One-Piece“ IOL sind Optik und Haptik aus demselben Material und haben demnach keine Verbindungsstellen. „Three Piece“ IOLs bestehen aus drei Teilen mit Verbindungsstellen zwischen den verschiedenen Materialien von Optik und Haptik (Abb1.4).



*Abb. 1.4: One-Piece IOL (links) und Three-Piece IOL (rechts)*

## **1.7. Veränderungen des Aufhängeapparates:Linsenluxationen**

Eine Luxation der Linse folgt Defekten der Zonula Zinnii. Linsenluxationen können isoliert als kongenitales Fehlen oder als ungleiche Entwicklung der Zonulafasern auftreten (Naumann 1964).

### **1.7.1 Trauma**

Traumatische Subluxationen der Linse sind im Gegensatz zu idiopathischen Luxationen in der Regel nicht progressiv, jedoch sind diese meist mit Kontusions-Rosetten der Linse kombiniert und können in den Glaskörper, in die Vorderkammer oder auch bei Bulbuspenetration oder Bulbussperforation auch subkonjunktival erfolgen (Por und Lavin 2005).

Das stumpfe Trauma ist eine Ursache für hintere Kapselrupturen (Rao et al. 1998, Thomas 1998). Entweder durch das Auge tretende Schockwellen oder Verformungen des Auges mit äquatorialer Expansion können hintere Kapselrupturen mit typischen zentralen, ovalen oder kreisförmigen Konfigurationen verursachen (Sharma et al. 2001). Parallel können verformte Kräfte dehnen und nachfolgend zu zonulären Dehiszenzen führen (Por und Lavin 2005). Penetrierende Verletzungen können direkt zu einer Kapselruptur führen (Vajpayee et al. 1994). Es wird mit der Zeit eine zunehmende Fibrose der Kanten der Kapsel beobachtet. Je frischer die Kapseldefekte, desto geringer ist die Fibrose, daher können diese intraoperativ größer werden (Sharma et al. 2001). In dem Fall kann die Implantation einer HKL problematisch oder unmöglich sein, da es nicht genügend Kapselreste gibt, um eine Implantation entweder im Kapselsack oder im Sulcus zu unterstützen (Por und Lavin 2005).

### **1.7.2. Pseudoexfoliations-Syndrom**

Das Pseudoexfoliations (PEX) -Syndrom ist die häufigste Ursache für eine Zonulainsuffizienz, die zu einer Linsendislokation führen kann (Naumann 1964). Das kann spontan vor einer Operation und als spätere Komplikation nach einer erfolgreichen Kataraktoperation auftreten. Die Kataraktoperation selbst ist mit einem erhöhten Risiko einer Zonulolyse mit Glaskörperverlust assoziiert.

### **1.7.3. Angeborene und sekundäre Schwäche der Zonula und Kapsel**

Im Rahmen von mesenchymalen Systemerkrankungen werden auch häufig progressive Linsensubluxationen beobachtet (Naumann 1964). Die häufigsten Ursachen für eine kongenitale Schwäche der Zonula sind das Marfan-Syndrom, das Weil-Marchesani Syndrom, die familiäre oder idiopathische Ektopia lentis und die Homozystinurie (Neely und Plager 2001). Das Marfan-Syndrom hat eine niedrige Prävalenz von 4-6 Fällen pro 100.000 Geburten und ist mit Mutationen in dem Fibrillin-Gen auf Chromosom 15 assoziiert, was zu systemischen und okulären Anomalien wie langgestreckter Zonula und Katarakte führt (Por und Lavin 2005). Bei der Homocystinurie zeigt sich häufig eine anormale Zonula mit gebrochenen und fragmentierten Bereichen (Por und Lavin 2005). Weitere seltene Ursachen für eine Zonulainsuffizienz sind die chronische Uveitis, die mature Katarakt, das kongenitale Glaukom mit Buphthalmus, die Myopia magna und eine Silikonöl-Tamponade (Bleckmann et al. 1990, Mead et al. 1994). Auch intraokulare Tumoren, vor allem im Bereich des Ziliarkörpers vermögen die Linse zu verdrängen (Naumann 1964).

### **1.7.4. Iatrogen entstandene Aphakie**

Die ICCE führt sowieso zu einer totalen Abwesenheit von Kapselunterstützung. Im Rahmen einer komplizierten ECCE kann eine eingeschränkte Kapselunterstützung auftreten, die entweder auf chirurgische Traumata oder auf bereits bestehende Anomalien - wie z.B. eine hintere Schalenrührung - zurückzuführen ist (Por und Lavin 2005).

Bei der ECCE können hintere Kapselrupturen durch übermäßigen Druck während der manuellen Kernextraktion infolge einer kleinen Inzision auftreten. Ein anteriorer Kapselriss, der möglicherweise im Rahmen der vorderen Kapsulotomie entstanden ist, kann sich auch während der Hydrodisektion und Aspiration nach hinten erstrecken und dementsprechend einen Hinterkapseldefekt verursachen (Por und Lavin 2005).



Hintere Kapselrupturen können im Prinzip in jedem Stadium der Phakoemulsifikation auftreten. Während der Hydrodisektion kann eine übermäßige intrakapsuläre Applikation von Flüssigkeit ohne ausreichende Dekompression zu einem Kapseldefekt führen. Die hintere Kapsel kann auch direkt in der Phakoemulsifikationssonde gefangen werden oder während der IOL Implantation traumatisiert werden (Por und Lavin 2005).

Bei Groß-Inzision ECCE wird die ganze Linse mit der Zonula zur Durchführung der Kern-Extraktion nach vorne gedrückt. Diese ausgeprägte Spannung kann zu Zonuladehiszenz führen, wenn die Kapsulotomie klein ist oder der Kern zu groß ist (Blumenthal et al. 1991). Weitere Schäden der Zonula können bei verschiedenen Kernmanövern während der Phakoemulsifikation auftreten. Unzureichende Hydrodissektion und übermäßige Kraft beim Versuch, den Kern zu drehen, sind als Ursachen dafür bekannt, zonuläre Defekte zu verursachen (Por und Lavin 2005).

## **1.8. Korrekturmöglichkeiten der Aphakie**

### **1.8.1. Extraokulare Korrektur**

#### **1.8.1.1. Ausgleich durch Starbrille**

Zur Korrektur der Aphakie, welche das Sehvermögen der Patienten wiederherstellen soll, können Starbrillen eingesetzt werden. Bei Glasstärken um +15 Dioptrien fallen sie äußerlich zuerst durch ihre extreme Dicke auf. Starbrillen werden deshalb heute nur noch sehr selten angewandt. Vor allem die optischen Nebenwirkungen (eingeschränktes Gesichtsfeld), der kosmetisch ungünstige Effekt und das relativ hohe Gewicht haben zur Entwicklung implantierbarer IOLs geführt.

### **1.8.1.2. Ausgleich durch Kontaktlinsen**

Die extraokulare Korrektur der Aphakie erfolgt meistens durch Kontaktlinsen. Gerade bei Säuglingen mit Aphakie-Situation nach Lentektomie aufgrund von angeborener Katarakt sind die Kontaktlinsen die einzig mögliche Sehhilfe. Eine einseitige Aphakie kann extraokular nur durch Kontaktlinsen korrigiert werden. Aufgrund der großen Brechwertametropie weisen die Patienten eine Aniseikonie von 30% auf, die eine Fusion unmöglich macht. Die Kontaktlinsen verkleinern die Bilder ausreichend, so dass die Hyperopen binokular einfach sehen können (Kampik und Grehn 2001).

### **1.8.2. Intraokulare Korrektur der Aphakie**

In den Zeiten der Implantation von IOLs ist die Aphakie die Ausnahme und benötigt eine Korrektur, die heutzutage in den meisten Fällen intraokular und selten extraokular ist. Im Rahmen einer Sekundärlinsenimplantation bestehen hinsichtlich Art der IOL und Ort der Implantation verschiedene Möglichkeiten.

#### **1.8.2.1. Implantation in den Sulcus**

Bei einer komplizierten Katarakt Operation mit hinterem Kapselriss kann eine Intraokularlinse in den Sulcus ciliaris auch nahtlos implantiert werden. Die Voraussetzung dafür ist, dass die vordere Kapsel und die Zonula intakt und stabil sind. Vorerst wird Viscoelastikum in die Vorderkammer und hinter die Iris zur Darstellung des Sulcus ciliaris injiziert und danach wird die Linse hinter die Iris, aber anterior der vorderen Linsenkapsel, implantiert. Im Sulcus liegt die Linse im Vergleich zur Lage im Kapselsack weiter anterior, daher muss die Linsenstärke - um das gleiche refraktive Resultat zu erzielen- ca. um 0,5dpt. reduziert werden. Um die Position zu optimieren und eine zusätzliche Stabilisierung der implantierten Linse zu erreichen, wird heutzutage häufig eine modifizierte Technik mit Optic-Capture-Verankerung verwendet. Dabei werden

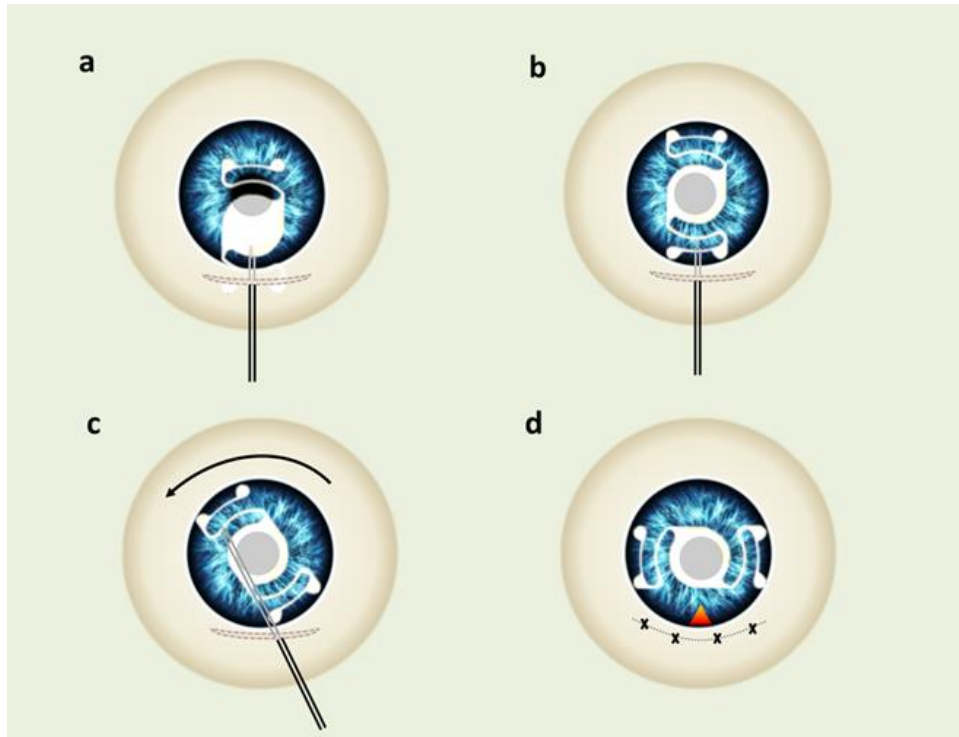
die Haptiken der IOL in den Sulcus ciliaris und die Optik hinter die vordere Kapsel implantiert. Bei Implantation einer IOL in den Sulcus ciliaris wird meistens eine gute visuelle Rehabilitation erreicht. Ein Nachteil dieses Verfahrens könnte ein Uveitis-Glaukom-Hyphäma (UGH) - Syndrom sein. Bei rezidivierenden intraokularen Blutungen mit oder ohne Augendruckhöhung kann die Explantation der Linse notwendig werden. Um diese Komplikation zu verhindern, werden meistens dreistückige faltbare Linsen verwendet, die mit einer Pinzette oder mit einem speziellen Injektor implantiert werden. Der Vorteil dieser Linsen sind ihre schmälere Haptiken im Vergleich zu den einstückigen Linsen. Mit der Optic-Capture-Verankerung tritt ebenso diese Komplikation seltener auf (Auffarth et al. 2008, Zuberbühler et al. 2008).

#### **1.8.2.2. Kammerwinkelgestützte Vorderkammerlinse (VKL)**

Bei einer Situation, wo der Kapselsack nicht mehr erhalten ist, kann eine optimale visuelle Rehabilitation durch eine VKL, die zwischen Hornhaut und Iris platziert wird, erreicht werden.

Die Implantation der VKL als Technik ist schnell und relativ einfach (Abb.1.5). Das Ziel ist die Linse in die Vorderkammer zu legen, so dass die Haptiken gegen den Skleralsporn stehen, ohne Kontakt zum Irisgewebe zu haben. Eine Iridektomie ist dabei notwendig, um einen Pupillarblock und dadurch einen Augendruckanstieg zu vermeiden. Die erste Implantation einer kammerwinkelgestützten VKL erfolgte 1952 durch Baron, seitdem wurden jedoch mehrere Modifikationen durchgeführt (Por und Lavin 2005). Obwohl die Implantationstechnik einfach und zeitsparend ist, bestehen historisch bedingt viele Vorbehalte gegen ihre Verwendung, da die Erfahrungen mit älteren Modellen, die s.g. geschlossene VKLs (Closed-Loop VKLs) desaströs waren (Auffarth et al. 2008). Diese Linsen hatten grundsätzliche Designfehler, wie die scharfkantigen Haptikschlaufen und die fehlende Haptikabknickung, die zu zahlreichen Komplikationen führten. Die instabile Kammerwinkelfixation war mit einem progredienten Endothelschaden assoziiert, während die

Erosionen der uvealen Strukturen durch die scharfkantige Haptiken zu schweren entzündlichen Reaktionen mit rezidivierenden Blutungen und Sekundärglaukome führten, was als UGH-Syndrom bezeichnet wurde (Lindstrom und Harris 1984). Heutzutage werden aber nur die moderne und flexibel offenen VKLs (Open-Loop VKLs) implantiert. Diese haben eine deutlich niedrigere Komplikationsrate (Por und Lavin 2005) mit ähnlich guten Ergebnissen im Vergleich zu anderen Techniken der Sekundärlinsenimplantation (Donaldson et al. 2005, Wagoner et al. 2003). Die moderne VKLs haben ein offenes und flexibles 3- oder 4-Punkt Haptikdesign ohne direkten Kontakt zu den empfindlichen uvealen Strukturen, daher sind die viel besser verträglich. Deren entscheidender Vorteil ist das Fehlen von Mikrobewegungen im Kammerwinkel und die Vermeidung eines Vorwölbens der Linse in Richtung Endothel, auch bei äußerem Druck (Donaldson et al. 2005, Wagoner et al. 2003). Das UGH Syndrom tritt bei diesen Linsen sehr selten auf (Auffarth und Apple 2001), jedoch bleibt die Glaukomrate noch höher im Vergleich zu den alternativen Techniken und zur Aphakie (Henning et al. 1997). Eine Dekompensation des Hornhautendothels ist ebenfalls deutlich geringer, allerdings konnte bis heute keine Möglichkeit gefunden werden, das Auftreten dieser gravierenden Komplikation in allen Fällen zu vermeiden (Wagoner et al. 2003). Bei drohender Dekompensation der Hornhaut ist es oftmals notwendig, die Linse aus der Vorderkammer zu explantieren (Van der Schaft et al. 1989). Der wichtigste intraoperative Fehler im Rahmen einer VKL-Implantation ist die Platzierung der Linsenaptiken in einer peripheren Irisfalte statt im Kammerwinkel, daher stellt eine verzogene Pupille immer ein Anzeichen für eine falsche Platzierung dar (Auffarth et al. 2008). Dies kann besonders häufig bei einer flachen Vorderkammer vorkommen. Besteht bereits vor der Implantation eine Hornhautschädigung, ein Glaukom oder eine flache Vorderkammer, ist dieser Linsentyp deshalb kontraindiziert.



**Abb. 1.5: Synopsis der Implantation einer kammerwinkelgestützten Vorderkammerlinse (VKL):** (a) die VKL wird durch den Tunnel geschoben und (b) in den Kammerwinkel positioniert. (c) Rotation der VKL in eine horizontale Position und (d) Durchführung einer peripheren Iridektomie und eines Tunnelnahts

### 1.8.2.3. Irisklauenlinsen

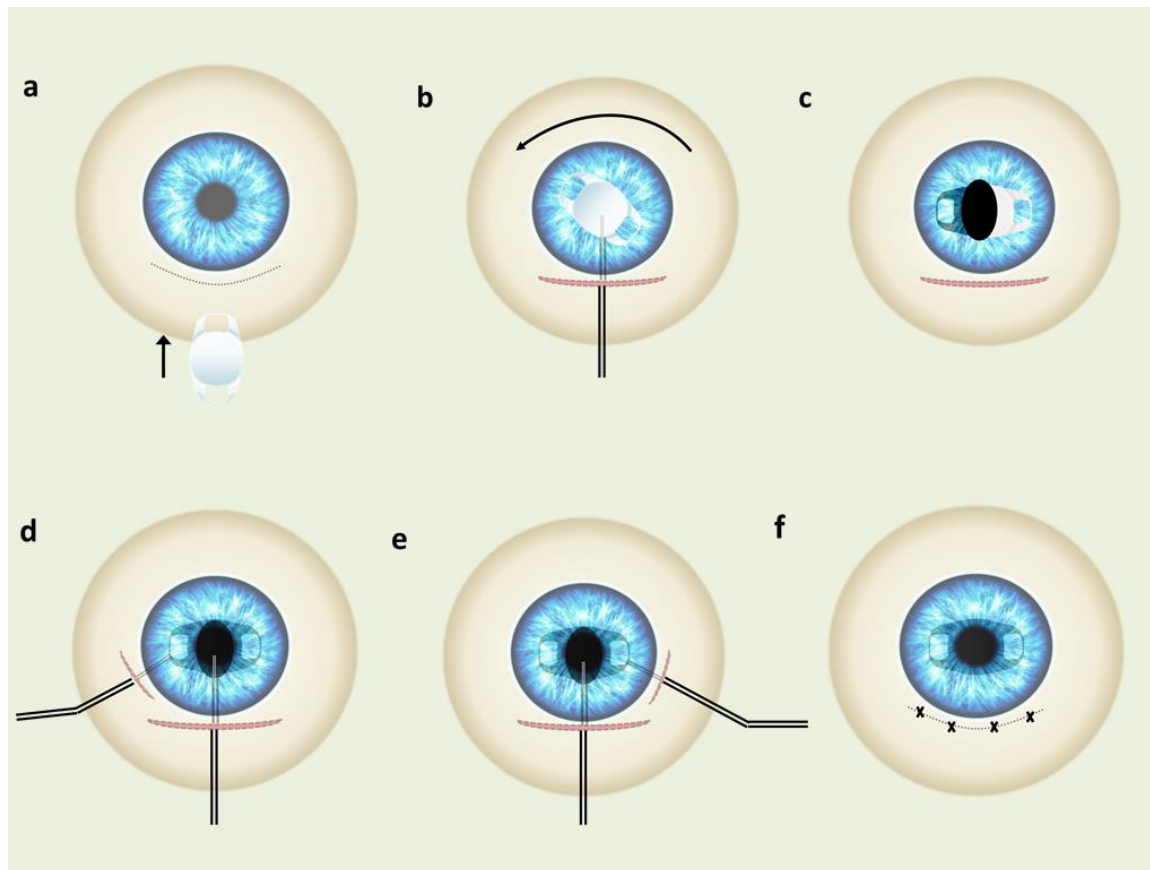
Die Irisfixierten IOLs stellen eine zusätzliche Option für die Behandlung der Aphakie dar. Bereits in den 50er Jahren wurden von Binkhorst und Epstein verschiedene Konzepte für irisfixierte VKLs vorgestellt. Besonders die Iris-Clip-Linsen von Binkhorst mit den speziellen Schlaufen zur Fixation in der Pupillarebene wurden weiterentwickelt und fanden in den 60er Jahren ihren Höhepunkt mit der Sputnik-Linse von Fyodorov. Diese Linsen neigten leider zu einer Malpositionierung und zeigten im Langzeit-Verlauf Iripigmentepitheldefekten und Hornhaut-Dekompensationen, so dass sie heutzutage nicht mehr verwendet werden (Auffarth et al.2008).

Die irisfixierten VKLs, die aktuell noch verwendet werden, insbesondere als phake Intraokularlinsen zur Myopiekorrektur, sind die Irissklauenlinsen, die

1978 von Jan Worst vorgestellt wurden. Ursprünglich wurden solche Linsen mit Nähten im Irisstroma fixiert, inzwischen gab es aber erhebliche Änderungen an ihrem Design, so dass sie heute vor die Iris gelegt werden. Durch das Ziehen kleiner Abschnitte der mittleren peripheren Iris ist diese durch deren Klauen gesichert (Auffarth et al. 2008). Bei Aphakie ist das Irisdiaphragma oft nicht straff genug, daher kann eine Pseudophakodonesis mit großen Amplituden bis zum Endothelkontakt beobachtet werden. Aus diesem Grund wurde 2002 durch Mohr eine retropupilläre Implantation der Irisklauenlinsen vorgeschlagen. Diese hat den Vorteil, dass die Linse in der Hinterkammer positioniert wird, wo die physiologische Position der Linse ist (Mohr et al. 2002). So wurde diese Methode inzwischen bei vielen Operateuren sehr populär. Die Voraussetzung für die Implantation eines solchen Linsentyps sind eine intakte Iris und eine vordere Vitrektomie.

Die IOL wird vorerst mit der konkaven Seite nach oben in die Vorderkammer eingeführt, auf der Iris abgelegt und gedreht. Mit sicherem Griff mittels Pinzette werden die Haptiken nacheinander hinter das Irisdiaphragma geführt. Nach medikamentöser Pupillenverengung wird zunächst die nasale und nach Handwechsel auch die temporale Haptik inklaviert (Abb.1.6). Meistens werden für die retropupilläre Implantation starre PMMA-Linsen verwendet, was bedeutet, dass ein relativ großer Schnitt zur Implantation gesetzt werden muss, der anschließend häufig vernäht werden muss (Auffarth et al. 2008).

Die Fixation einer IOL im Irisstroma ist mit einem erhöhten Risiko für eine chronische Entzündung und mit einem zystoiden Makulaödem assoziiert (Perez-Santonja et al. 1996). Andererseits sind endotheliale Komplikationen bei einer retropupillären Fixation viel seltener (Mohr et al. 2002). Häufig wird ein chronischer Pigmentabrieb und eine Pseudophakodonesis beobachtet, was zu Blendungsbeschwerden führen kann. Bei der retropupillären Fixation ist die Zentrierung der IOL besonders schwierig, daher ist die präoperative Markierung der Fixationsstelle notwendig. Ein zusätzlicher deutlicher Nachteil der Irisklauenlinsen ist die eingeschränkte refraktive Vorhersagbarkeit. Nur 41% der Patienten erreichen die Zielrefraktion innerhalb einer Abweichung von  $\pm 0,5\text{Dpt}$  (Mohr et al. 2002).



**Abb. 1.6:** Synopsis der retrosupillären Implantation einer Irisklauenlinse

#### 1.8.2.4. Skleranahftfixierte IOL

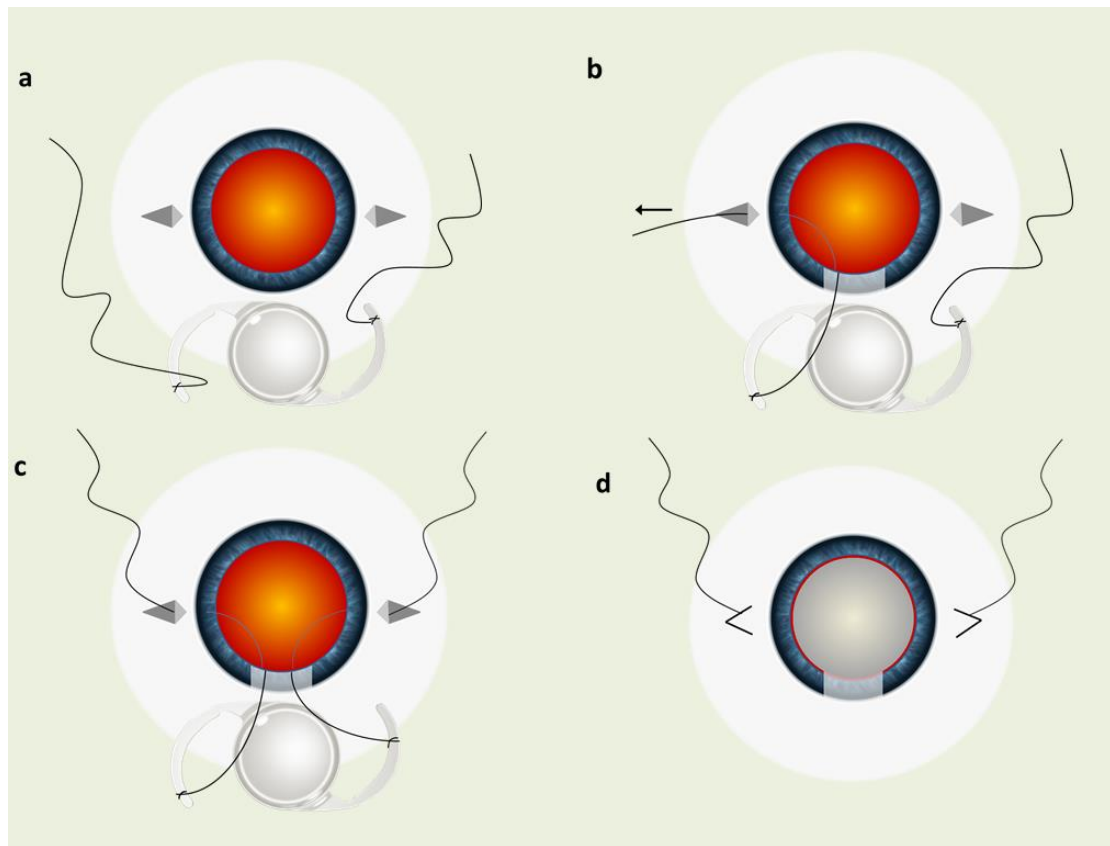
Die Sekundärlinsenimplantation in die Hinterkammer entspricht am ehesten der natürlichen Linse; somit wird das Risiko für Komplikationen wie z.B. eine bullöse Keratopathie, ein Glaukom oder ein zystoides Makulaödem reduziert (Bergman und Laatikainen 1996). Zusätzlich erfolgt dadurch eine Besserung der optischen Abbildungsqualität (Smiddy et al. 1990). Besonders bei unkomplizierten Ausgangssituationen werden exzellente Ergebnisse mit akzeptablem Sicherheitsprofil erzielt (McCluskey und Harrisberg 1994).

Malbran führte die erste Fixation im Sulcus ciliaris mit transskleraler Nahtsicherung durch (Marbran et al. 1986). Lewis entwickelte weiter eine Ab-Externo- Technik, die seit den 1990er Jahren als Goldstandard gilt (Lewis 1991). Zahlreiche Modifikationen erfolgten seither zur Verfeinerung der o.g.

Technik und zur Verbesserung der Ergebnisse bezüglich Dezentrierung und Verkippung. Die Sklerafixation von HKLs ist allerdings technisch anspruchsvoller als die VKL-Implantation und benötigt eine längere Operationszeit (Auffarth et al. 2008).

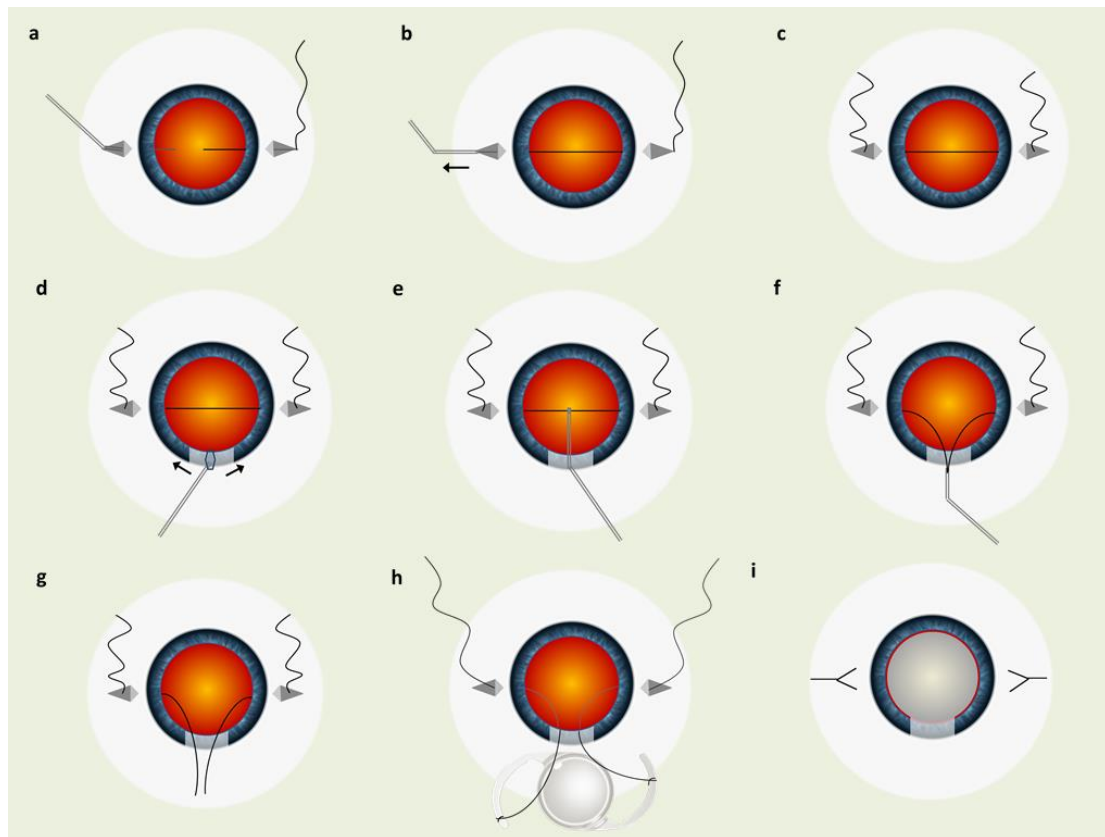
Malbran führte mit einer Ab-Interno-Technik die erste Fixation im Sulcus ciliaris mit transskleraler Nahtsicherung durch (Mabran et al. 1986). Für den transskleralen Durchstrich Ab-Interno werden zwei einfacharmierte 10.0 Polypropylenfäden mit gebogener Nadel verwendet, die mit den freien Enden jeweils an einer Haptiköse befestigt werden. Die Nadeln werden nacheinander über den Tunnel temporal und nasal unter das Irisdiaphragma geführt, der Sulcus gesucht und dieser transskleral von innen durchstoßen. Unter leichtem Zug der Fäden wird die IOL in den Sulcus implantiert und dort zentriert. Die Fäden werden unter den Sklerallappen eingeknotet [(Abb. 1.7), Auffarth et al. 2008)]. Die Ab-Interno Technik (Smiddy et al. 1990) hat den Vorteil von besserer Kontrolle der transskleralen Nahtführung, jedoch bewirkt der Durchstich unter hypotonen Bedingungen ein Kollabieren des Sulcus, daher ist eine versehentliche Fixation in der Pars plicata mit nachfolgender Blutungsgefahr leider wahrscheinlicher.





**Abb. 1.7: Synopsis zur Ab-Interno Technik der transskleralen Nahtfixation einer IOL**

Lewis entwickelte weiter eine Ab-Externo Technik, die seit den 1990er Jahren als Goldstandard gilt (Lewis 1991). Die Ab-Externo Technik von Lewis hat den Vorteil, dass die transsklerale Nahtführung von außen nach innen erfolgt, somit ist keine Manipulation ohne Sicht hinter dem Irissegel erforderlich (Abb. 1.8). Zudem findet der Durchstrich durch den Sulcus unter tonisierten Verhältnissen statt, was mit deutlich geringerem Risiko für eine Malpositionierung des Fadens und nachfolgender IOL-Verkippung, rezidivierenden Blutungen oder Netzhautablösungen assoziiert ist (Althaus und Sundmacher 1992).



**Abb. 1.8: Synopsis zur Ab-Externo Technik der transskleralen Nahtfixation einer IOL:** (a) ein doppelarmierter Faden mit geraden Nadeln wird durch das Bett des temporalen Sklerallappens geführt und (b) in die Öffnung einer gegenüber eingestochenen Kanüle eingefädelt, (c) die Führungskanüle wird zurückgezogen und der Faden wird auf der Gegenseite herausgeführt, (d) Tunnelpräparation (ca. 7,0mm), (e,f,g) Herausführung und Durchtrennung einer Haptikschleife, (h) die Fadenenden werden in der Haptikösen eingeknotet, (i) Implantation der IOL in den Sulcus und Deckung der skleralen Knoten mit den Sklerallappen.

#### 1.8.2.4.1. Sklerafixation von Faltlinsen

Die Vorstellung der Faltlinsen für Sklerafixation 1996 (Regilli und Tidwell 1996) schuf die Grundlage für den Weg zur minimal-invasiven Chirurgie. Die Basis für diese neue Technik ist die Ab-Externo Technik von Lewis, jedoch wird bei der Implantation dieser Linsen ein deutlich kleinerer Schnitt verwendet (ca. 3,5-4,0mm). Deswegen ist die Implantation von Faltlinsen mit einer verbesserten Vorderkammerstabilität und mit weniger Hypotonie-bedingten Komplikationen

assoziiert. Dies führt zu einer schnelleren visuellen Rehabilitation und einem reduzierten Astigmatismus (Jacobi et al.2002, Oshima et al 1998).

Die Faltlinsen weisen keine speziellen Haptikösen zur Nahtfixation auf, daher kann optional das Haptikende mit einem Glühkauter angeschmolzen und verdickt werden, um eine Naht- Verrutschung zu verhindern. Die Haptiken werden eingeknotet, die IOL wird mit einer Faltpinzette über den Tunnel implantiert, unter dem Irisdiaphragma entfaltet, und durch Zug an den Sklerafäden erfolgt ihre Positionierung im Sulcus (Auffarth et al. 2008).

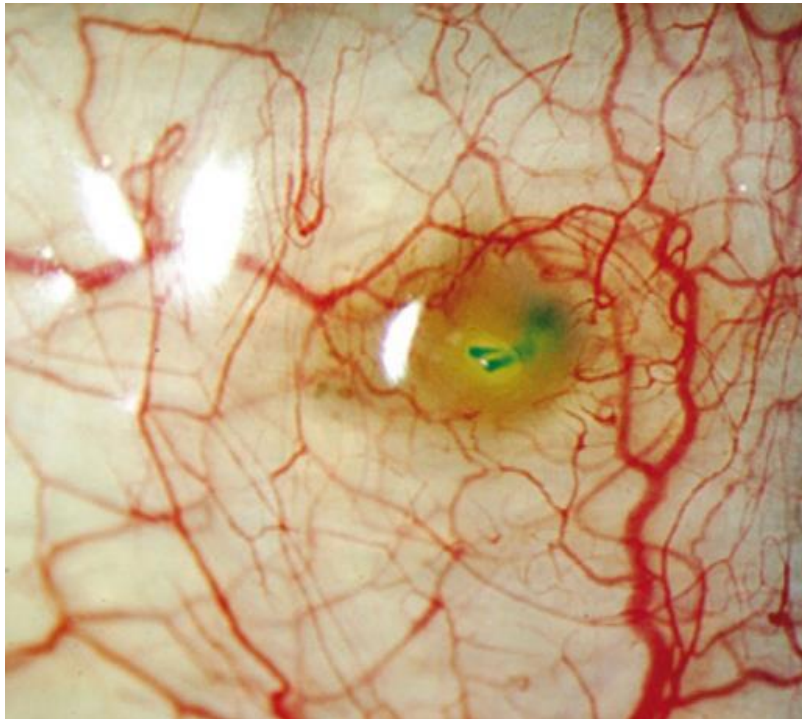
#### **1.8.2.4.2. Kleinschnitt-Technik zur Injektorimplantation**

Szurman stellte 2006 eine neue modifizierte und minimal invasive Kleinschnitt-Technik zur Injektorimplantation skleral-fixierter Faltlinsen vor, die eine Sklerafixation von ein- oder drei-stückigen Acryllinsen über einen temporalen, nahtfreien 2,75mm Clear-Cornea-Tunnel ermöglicht (Szurman et al. 2006).

Die Sklerafixation von Acryllinsen in Kleinschnitt-Technik ist durch eine hervorragende Langzeitstabilität charakterisiert. Weder treten Phänomene wie Pseudophakodonesis oder Verkippung auf, noch kommt es zu Hypotonie-assoziierten Komplikationen. Die entscheidenden Vorteile der Technik sind die Durchführung der Operation im geschlossenen System, die nahtfreie Wundstabilisierung und die kurze OP-Zeit. Diese Faktoren führen zu einer raschen visuellen Rehabilitation bei geringer Komplikationsrate. Zusätzlich ist sie die einzige Technik, bei der das Einknoten der Haptiken nicht auf dem semi-sterilen Milieu des äußeren Auges geschieht, daher ist das Endophthalmitisrisiko minimiert (Szurman et al. 2006).

#### 1.8.2.4.3. Komplikationen und Nachteile der Sklerafixation

Die häufigsten Komplikationen im Rahmen einer Sklerafixation sind mit der Sulcusposition und der Gefahr einer IOL-Verkipfung, Dezentrierung, oder Pigmentdispersion assoziiert. Zudem besteht die Gefahr einer Nadelpenetration des uveoskleralen Gewebes mit nachfolgenden Blutungen, Hypotonien und Fadenerosionen. Eine Fadenplatzierung zu weit posterior führt häufig zu IOL-Verkipfung, suprachorioidalen- und Glaskörperblutungen, sowie zur Netzhautablösung. Eine Malpositionierung der Haptiken kommt in bis zu 80% aller Fälle vor (Althaus und Sundmacher 1993). Eine ernste Komplikation stellt eine Bindehaut-Erosion durch den verwendeten Faden dar, die zu einer späteren Endophthalmitis führen könnte (Abb. 1.9).



**Abb. 1.9: Fadenerosio nach Sklerafixation einer IOL (Universitätsaugenklinik Tübingen)**

Das Decken des Knotens unter einem Sklerallappen (Anand und Bowman 1990), die Rotation des Knotens intraskleral, das Präparieren einer sklerokornealen Tasche und eine U-Naht mit Versenken des Fadens in einem Skleragraben sind modifizierte Knotentechniken, die zur Vermeidung dieser

Komplikation beschrieben wurden. Das Risiko für eine Faden-Exposition ist dadurch deutlich geringer, jedoch konnte diese Komplikation nicht komplett eliminiert werden (Solomon et al. 1993).

Die Langzeitstabilität der Propylenfäden ist auch noch nicht endgültig geklärt. Mittelfristige Ergebnisse zeigen eine gute Stabilität, dennoch wird bei den ersten Langzeitergebnissen eine bis zu 30% Bruchrate der transskleralen Fäden beobachtet, besonders bei jüngeren Patienten (Vote et al. 2006).

#### **1.8.2.4.4. Die modifizierte Z-Naht-Technik**

Die Z-Naht-Technik ist eine einfache und völlig knotenfreie Technik zur Sklerafixation. Bei dieser Technik wird die Sklera zickzackförmig mehrfach intraskleral durchgestochen. Nach 5 Durchstichen wird eine ausreichende Stabilität geschaffen und der Faden kann ohne Knoten einfach abgeschnitten werden (Szurman et al. 2010). Dabei sind aufwändige Manöver wie z.B. Präparation von Sklerallappen zur Versenkung der Knoten nicht erforderlich.

#### **1.8.2.4.5. Ziel der Arbeit**

Die Z-Naht modifizierte Technik zur Sklerafixation ist ein minimal-invasives Vorgehen mit relativ kurzen Operationszeiten und wenig hypotonen Phasen, die exzellente anatomische und funktionelle Ergebnisse gezeigt hat. Ernste Komplikationen wie Faden-Exposition und Endophthalmitis könnten durch diese Technik komplett verhindert werden (Szurman et al. 2010). Die Langzeitergebnisse stehen jedoch immer noch aus. In dieser retrospektiven Studie wird die modifizierte Z-Naht-Technik zur Sklerafixation einer IOL in einem großen Patientenkollektiv mit Aphakie anhand der ersten Langzeitergebnisse evaluiert.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1. Patientenklientel**

Über das Arzt-Informationssystem (AIS) der Universitäts-Augenklinik Tübingen führten wir eine retrospektive Datenbankabfrage durch. Wir haben die medizinischen Akten von 62 aufeinanderfolgenden Patienten (66 Augen) überprüft, die zwischen 2004 und 2013 eine sklerafixierte Hinterkammerlinse mit Z-Naht Technik erhielten. Alle Operationen wurden von in dieser Technik erfahrenen Ärzten der Universitäts-Augenklinik Tübingen durchgeführt. Die Entscheidung für die Implantation der Linse wurde nur von erfahrenen Ophthalmochirurgen der Universitäts-Augenklinik Tübingen getroffen.

### **2.2. Einschlusskriterien**

Das wesentliche Einschlusskriterium war das Vorliegen einer Aphakie, die chirurgisch durch die Implantation einer skleral-fixierten HKL mit der modifizierten Z-Naht-Technik versorgt wurde. Patienten, die zur Nachuntersuchung bereitstanden, wurden in die Studie einbezogen.

### **2.3. Ausschlusskriterien**

Alle Patienten mit einer Überwachungszeit kurzer als drei Jahre wurden automatisch von der Studie ausgeschlossen. Ursachen für Aphakie waren kein Ausschlusskriterium.

### **2.4. Studienparameter**

Für die Auswertung der Daten wurde eine Excel-Datenbank entworfen: Die folgenden Daten wurden hier notiert:

#### **2.4.1. Patientendaten**

Zuerst wurden die Daten des jeweiligen Patienten einschließlich Patientenummer, Name, Alter, betroffenem Auge und Geschlecht erfasst. Vor

der anonymisierten Auswertung der Studie wurden die patientenbezogenen Daten entfernt und nur die Patientenummer für die Auswertung übernommen.

#### **2.4.2.Diagnose**

Die Hauptdiagnose war Aphakie: Dieser Abschnitt erfasste die genaue Ursache für die Aphakie, vor allem den Grund für die Zonula- oder/und Kapselinsuffizienz. Die Hauptursachen waren die komplizierte Kataraktchirurgie, das okuläre Trauma, der Zustand nach Netzhautablösung und das PEX-Syndrom, sowie andere seltene Ursachen. Dazu gehören die Retinitis pigmentosa, das Marfan-Syndrom, die Uveitis und die juvenile Katarakt.

#### **2.4.3. Datum der Operation und Datum der postoperativen Untersuchungen**

Hier wurde das genaue Datum der Implantation der skleral-fixierten IOL mittels Z-Naht-Technik und das jeweilige Untersuchungsdatum 3, 5, 8 und 10 Jahre nach der Operation notiert.

#### **2.4.4. Präoperative und postoperative bestkorrigierte Sehschärfe (BCVA)**

Hier wurde der bestkorrigierte präoperative Visus und der bestkorrigierte Visus des jeweiligen Untersuchungsdatums 3, 5, 8 und 10 Jahre postoperativ erfasst.

#### **2.4.5. Postoperativer IOL Status**

Hier wurde bei jeweiliger postoperativer Untersuchung notiert, ob die IOL zentriert oder disloziert war und im Falle einer Dislokation wurde die Zeit der Dislokation dokumentiert.

## **2.4.6. Postoperative Komplikationen**

Die postoperativen Komplikationen wurden aufgezeichnet und in frühere und spätere postoperative Komplikationen unterteilt. Zu den früheren gehören die Augendruckentgleisung, die Chorionvaskularisation, das cystoide Makulaödem (CMÖ), die Netzhautablösung, das Glaukom, die Dekompensation des Hornhautendothels, das UGH-Syndrom und die Dislokation der IOL durch Einriss des Fadens.

## **2.4.7 Optische Coherence Tomography**

Eine optische Coherence Tomography (OCT) erfolgt bei jeweiliger postoperativer Untersuchung zur Identifizierung von Pathologien im Bereich der Makula wie z.B. CMÖ. Dafür wurde entweder Stratus (Stratus OCT, Carl Zeiss Meditec Inc, Dublin, California, USA) oder Spectral-Domain OCT (Spectralis Heidelberg Engineering, Heidelberg Germany) benutzt.

## **2.5. Methoden**

### **2.5.1. Aufklärung**

Vor der Operation fand ein Aufklärungsgespräch durch einen vollapprobierten Arzt statt. Zusätzlich wurde dem Patienten (oder den Angehörigen) ein vorgedruckter Aufklärungsbogen ausgehändigt. Dadurch können die Grundinformationen in Ruhe gelesen und von der Seite des Patienten Fragen formuliert werden. Im persönlichen Gespräch wurden dann spezielle Risiken angesprochen und Fragen beantwortet. Bei der Aufklärung wurde über die Gefahr von Komplikationen informiert. Solche Komplikationen sind Schmerzen, eine Bindehaut- oder Glaskörperblutung, die Entwicklung einer Netzhautablösung, die Entwicklung eines CMÖ, was auch chronisch sein kann, eine Dekompensation des Hornhautendothels, eine Steigung des intraokularen Drucks (Sekundärglaukom) und ggf. die Notwendigkeit eines Intraokulardrucksenkenden Eingriffes im Verlauf, eine Verletzung der Aderhaut



mit Blutung oder eine Endophthalmitis. Zudem besteht die Gefahr einer IOL-Verkipfung oder Dezentrierung, was eine Revisions-Operation erforderlich macht. Zusätzlich wurden die unklare Visusprognose, sowie die möglichen postoperativen Refraktionsfehler, insbesondere der Astigmatismus und ggf. die Notwendigkeit einer Korrektur mit Brille oder Kontaktlinse erwähnt und diskutiert. Besonders wurde über die Gefahr einer dauerhaften Minderung der Sehschärfe oder einen möglichen Verlust des Auges aufgeklärt. All dies ist auch im Aufklärungsbogen aufgeführt. Die Operation wurde bei allen Patienten erst durchgeführt, nachdem diese den Aufklärungsbogen unterschrieben hatten.

### **2.5.2. Implantate**

Die Hoya AF-1 (Frankfurt, Deutschland) Linse ist eine faltbare Three Piece-HKL zur Implantation in den Kapselsack oder in den Sulcus. Ihre Optik ist asphärisch monofokal mit Blaulichtfilter und besteht aus hydrophobem Acrylat. Sie hat einen refraktiven Index von 1.52. Der Gesamtdurchmesser beträgt 13.0 mm, der Optikdurchmesser 6.5mm. Die Haptik hat ein modifiziertes C-Design mit einer Verdickung des Endes, dieses kann das Abrutschen der Fixationsnaht verhindern. Das Material der Haptik ist *PMMA*, dieses hat eine Abwinkelung von 5°.

### **2.5.3. Durchführung der modifizierten Z-Naht-Technik**

Nachdem die Identität des Patienten, die geplante Augenseite der Operation und das Vorliegen des schriftlichen Einverständnisses geprüft worden sind, kommt der Patient in den Operationssaal, welcher die Standards für Hygiene und räumliche Ausstattung erfüllt. Der Operationstisch wird vor Beginn der Operation vorbereitet.

Gemäß den notwendigen Hygiene-Anforderungen trägt der Operateur Schutzkleidung, Kopfhaube und Mundschutz.

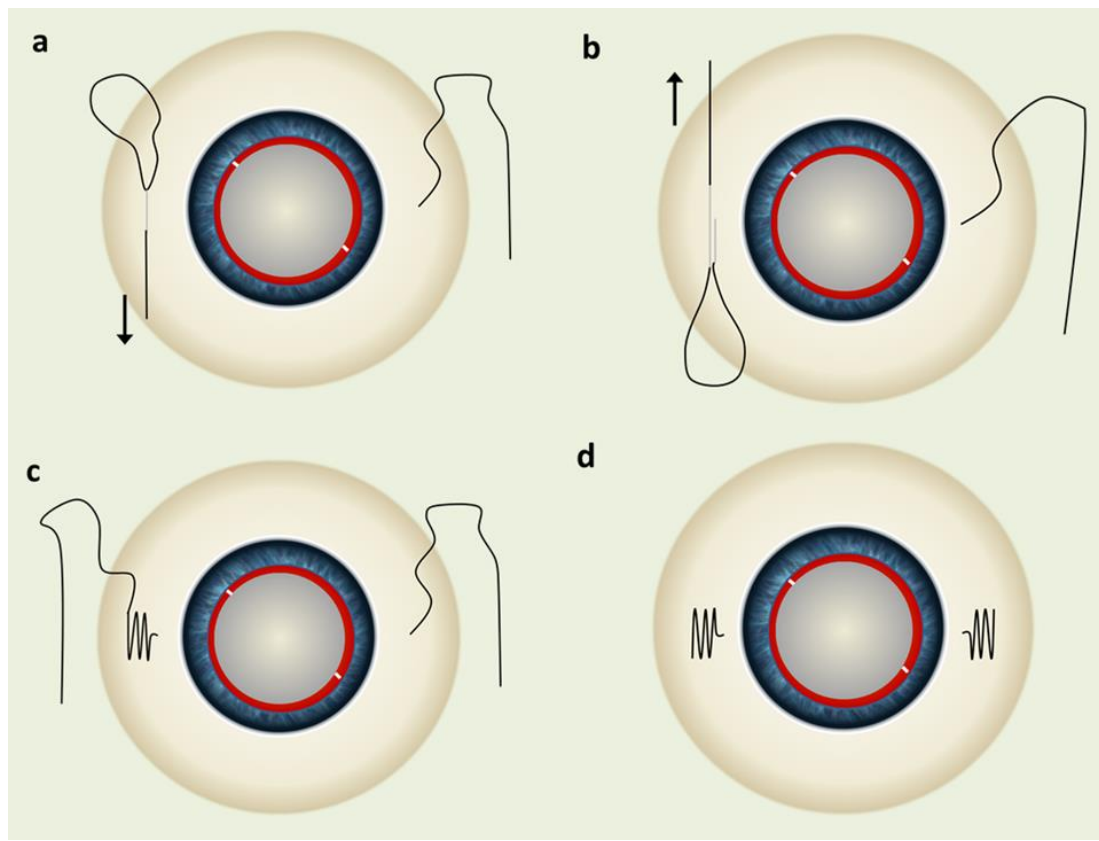
Die Operation wird zunächst in einer Allgemeinanästhesie (Intubationsnarkose) oder in lokaler Anästhesie mit einer parabulbären Injektion von Lidocain und Bupivacain, durchgeführt.

Zunächst ist die Bindehaut mit dem oberen und dem unteren Fornix mit Povidon-Jod (5% Lösung) oder mit Octenidin (im Falle einer Allergie gegen Jod) auszuspülen. Anschließend wird die Lidhaut mit einem in 10% Povidon-25 Jod-Lösung eingetauchten Wattestäbchen desinfiziert. Der Kopf des Patienten wird mit einem sterilen Kopftuch abgedeckt, welches ein vorgegebenes Loch aufweist. Das Loch ist auf das Auge ausgerichtet und im Bereich der Öffnung wird eine OP-Folie angebracht. Mit einer Folienschere schneidet man dann in die Klebefolie ein. Ein Lidsperrer wird eingesetzt.

Dann wird eine lamellierende Sklerotomie durch die verschobene Bindehaut durchgeführt und einer Infusionstrokar wird temporal inferior in 3,5 mm Limbusdistanz eingebracht. Dann wird der Infusionschlauch angedockt, und die Infusion wird nach Prüfen der Lage eingeschaltet. Die Infusion ist notwendig für die Vermeidung einer Augenhypotonie während der Operation.

Zwei konjunktivale Schnitte werden bei 180° auseinander gemacht. Die episklerale Gefäße werden zart mit der Diathermie kauterisiert. Die Achse wird auf der Hornhaut markiert. Die erste gerade Nadel einer doppelarmigen 10-0-Polypropylen-Naht wird durch die Sklera 1,5 mm hinter dem Limbus durch den Ziliarsulcus parallel zur Iris geführt und nachfolgend mit einer Hohlbohrnadel, die bereits durch die entgegengesetzte sklerale Fixierungsstelle eingeführt wurde, aus der hinteren Kammer abgerufen. Danach wird ein klarer Hornhauttunnel im temporalen Limbusbereich präpariert und eine Parazentese mit der Blumentan Lanze. Die Polypropylen-Naht wird dann an der Pupillenebene gegriffen und durch den Tunnel explantiert. Die Naht wird in der Mitte geschnitten und ein Ende wird an die erste Haptik der klappbaren dreiteiligen IOL mit der IOL noch im Shooter gebunden. Die IOL wird dann implantiert, so dass die zweite Haptik außerhalb des Auges bleibt. Danach wird das zweite Ende der Polypropylen-Naht an diese Haptik gebunden und die IOL wird in der hinteren Kammer positioniert. Die sklerale Fixierung beginnt mit einem intraskleralen Durchgang angrenzend an die Nahtaustrittsstelle parallel

zum Limbus bei etwa einem Viertel der Skleradicke. Dieser intrasklerale Pass wird in der jeweils entgegengesetzten Richtung wiederholt, was schließlich zu einem Zickzackmuster führt. Für jedes Nahtende werden fünf Pässe durchgeführt. Schließlich wird die Naht dann ohne Knoten geschnitten, der Infusionschlauch wird entfernt und die Bindehaut wird geschlossen (Abb. 2.1). Zum Abschluss des operativen Eingriffs erfolgt ein Salbenverband (Aminoglykosid oder Ofloxacin), der für mindestens 12 Stunden auf dem Auge verbleibt.



**Abb. 2.1:** Synopsis der Durchführung der modifizierten Z-Naht-Technik

## 2.6. Statistische Auswertung

Entsprechend dem Skalenniveau und den Verteilungsvoraussetzungen wurden kontinuierliche Daten mit dem t-Test oder mit dem Wilcoxon-Test für abhängige oder unabhängige Daten ausgewertet. BCVA wird mit dem Mittelwert und der Standardabweichung berichtet, und Änderungen in BCVA wurden unter Verwendung eines gepaarten t-Tests untersucht. Komplikationen werden als Zahlen und Prozentsätze ausgedrückt. Um die Beziehung zwischen

Faktoren für Erfolg und Misserfolg zu beurteilen, wie Alter, Geschlecht und Diagnosen, die zu Aphakie führen, und das Risiko von Nebenwirkungen, Odds Ratios und 95% Konfidenzintervalle wurden berechnet. Die kombinierte Wirkung verschiedener Faktoren wurde mit Hilfe der logistischen Regressionsanalyse untersucht. Die Time-to-Event-Analyse unter Verwendung der Kaplan-Meier-Methode, um die Fehlerrate des Verfahrens aufgrund eines Bruches der Polypropylennaht zu evaluieren wurde durchgeführt. Alle Analysen wurden in JMP 11 (SAS Institute, Cary, NC, USA) durchgeführt. Werte von p weniger als 0,05 wurden als statistisch signifikanter Effekt angesehen. Vor dem Hintergrund der Analyse unterschiedlicher Fragestellungen wurde das Signifikanzniveau  $\alpha=0,05$  gewählt.

## **2.7. Maßstäbe des therapeutischen Erfolges**

Maßstäbe für den therapeutischen Erfolg wurden in Hinblick auf das funktionelle und das anatomische Ergebnis betrachtet. Als anatomischer Erfolg wurde gewertet, wenn die IOL bei der Nachuntersuchung drei, fünf, acht oder zehn Jahre nach der Operation zentriert war und als funktioneller Erfolg gilt eine postoperative Verbesserung der Sehschärfe.

Die Patienten hatten eine routinemäßige ophthalmologische Untersuchung einschließlich BCVA, Spaltlampe Biomikroskopie, indirekte Ophthalmoskopie und intraokulare Druckmessung am Ausgangspunkt vor der Operation und um drei, fünf, acht und zehn Jahre nach der Operation.

### **2.7.1. Sehschärfe Prüfung**

Um mit den Visuswerten rechnen zu können, wurden diese in LogMar angegeben. Die Umrechnung erfolgte entsprechend der folgenden Tabelle 1.

**Tabelle 1: Visusumrechnung: Snellen Äquivalent, ETDRS, LogMar**

Snellen-Äquivalent	ETDRS (=1/10 LogMar)	LogMAR = log1/ETDRS
20/16	1,25	-0,1
20/20	1	0
20/25	0,8	0,1
20/32	0,63	0,2
20/40	0,5	0,3
20/50	0,4	0,4
20/63	0,32	0,5
20/80	0,25	0,6
20/100	0,2	0,7
20/125	0,16	0,8
20/160	0,12	0,9
20/200	0,1	1
20/250	0,08	1,1
20/320	0,06	1,2
20/400	0,05	1,3
20/500	0,04	1,4
20/630	0,03	1,5
FZ (Fingerzählen)	FZ (Fingerzählen)	1,7
HBW (Handbewegung)	HBW (Handbewegung)	2
LSW (Lichtscheinwahrnehmung)	LSW (Lichtscheinwahrnehmung)	2,3

## **2.8. Limitierung**

Diese Studie soll die Zeit der Verlagerung der HKL aufgrund von Nahtbruch nach Sklerafixation mittels Z-Naht-Technik in einem Verlauf von mindestens 3 bis 10 Jahren postoperativ untersuchen. Sekundäre Endpunkte sind die BCVA und die Komplikationsrate. Der retrospektive Charakter schränkt jedoch die Aussagekraft ein. Auch wurden die Operationen, sowie die Kontrolluntersuchungen von unterschiedlichen Ärzten vorgenommen, was die Auswertung der erhobenen Daten einschränkt. Zudem hat die Studie mit insgesamt 62 Patienten und 66 Augen kein großes Patientenkollektiv, was keine konkrete Aussage über die Vielzahl der ausgewerteten Einzelfaktoren ermöglicht. Die Stärke dieser Studie ist das einheitliche Kontrollintervall der Nachuntersuchungen drei, fünf, acht und zehn Jahren postoperativ, sowie die Langzeitergebnisse.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Demographische Daten

In die Studie wurden insgesamt 66 Augen von 62 aufeinanderfolgenden Patienten aufgenommen. Davon waren 34 Patienten männlich (55%) und 28 Patienten weiblich (45%). Es handelte sich um 29 rechte Augen (44%) und 37 linke Augen (66%). Die Patienten hatten ein Alter zwischen 17 und 87 Jahren, so dass das Durchschnittsalter  $58,8 \pm 17,6$  Jahre (Standardabweichung [SA]) betrug. Demographische Daten sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: demographische Daten der Patienten

Parameter	Wert
Augen, n	66
Rechts, n (%)	29 (44)
Links, n (%)	37 (56)
Weiblich, n (%)	28 (45)
Männlich, n (%)	34 (55)
Alter (Jahre)	
Durchschnittsalter $\pm$ Standardabweichung	$59 \pm 18$
Bereich	17-87

### 3.2. Ursache für die Operation

Der häufigste Grund für die Operation war die traumatische Aphakie. Insgesamt 21 Augen (32%) hatten ein okuläres Trauma erlitten, das zu einer Aphakie geführt hat. Die zweithäufigste Ursache für die Operation war bei 15 Augen (23%) der Zustand nach komplizierter Kataraktchirurgie. Häufiger Grund war ebenfalls der Zustand nach einer Vitrektomie bei Amotio retinae. Insgesamt waren 11 Augen (17%) vitrektomiert. Das PEX-Syndrom war bei 6 Augen (9%) die Ursache für die Operation und die Kategorie "Andere" beinhaltetete 13 Augen (19%) mit selteneren Ursachen wie Uveitis, angeborener Katarakt, Marfan-Syndrom und Retinitis pigmentosa. Die Ursachen für die Operation sind in der Tabelle 3 dargestellt.

**Tabelle 3: Ursache für die Operation**

<b>Ursache für die Operation, n (%)</b>	<b>Wert</b>
PEX-Syndrom	6 (9)
Komplizierte Kataraktchirurgie	15 (23)
Trauma	21 (32)
Post-Vitrektomie	11 (17)
Andere	13 (19)

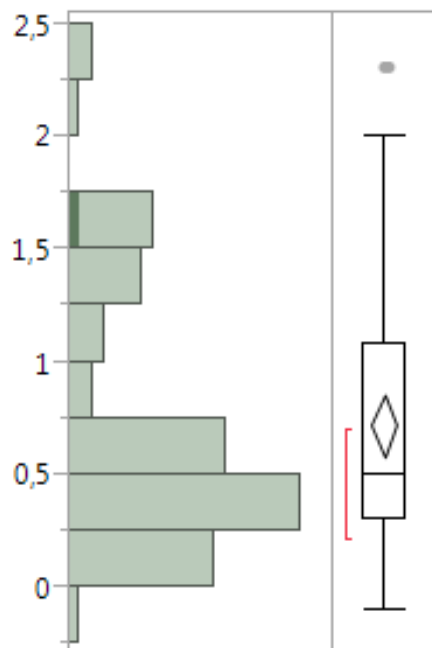


### 3.3. Nachuntersuchungsintervalle und BCVA

Die Nachuntersuchungszeit war drei Jahre, fünf Jahre, acht Jahre und zehn Jahre nach der Operation. Daher betrug die mediane Nachuntersuchung 64 Monate in einem Bereich von 36 Monaten bis 135 Monaten. Alle 66 Augen hatten eine Nachuntersuchungszeit von drei Jahren, während 60 Augen fünf Jahre postoperativ und 30 Augen acht Jahre postoperativ untersucht wurden. 13 Augen hatten eine Nachuntersuchungszeit von 10 Jahren.

Die mittlere präoperative BCVA betrug  $0,71 \pm 0,58$  logMAR (Diagramm 1).

Diagramm 1: BCVA präoperativ



Es zeigte sich eine geringe Veränderung der BCVA an den verschiedenen Verlaufskontrollen drei, fünf, acht und zehn Jahren postoperativ (Diagramme 2-5). Die BCVA betrug  $0,67 \pm 0,54$  logMAR nach drei Jahren ( $p = 0,257$ ),  $0,73 \pm 0,55$  logMAR nach fünf Jahren ( $p = 0,399$ ),  $0,8 \pm 0,68$  logMAR nach acht Jahren ( $p = 0,348$ ) und anschließend  $1,09 \pm 0,76$  logMAR nach zehn Jahren ( $p = 0,069$ ).

Diagramm 2: BCVA nach 3 Jahren

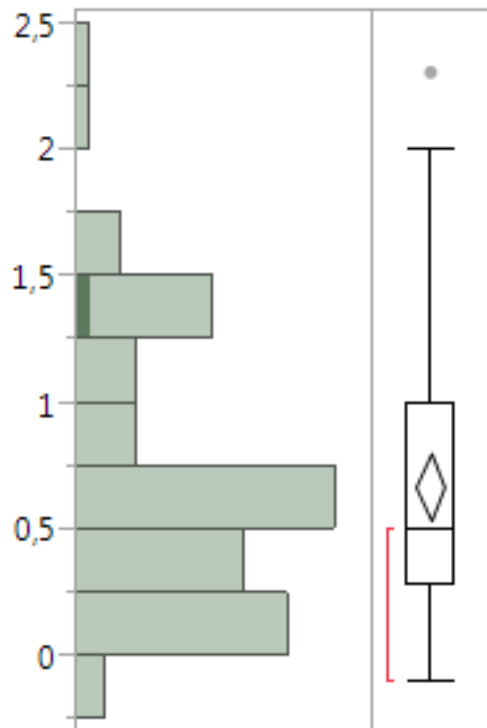


Diagramm 3: BCVA nach 5 Jahren

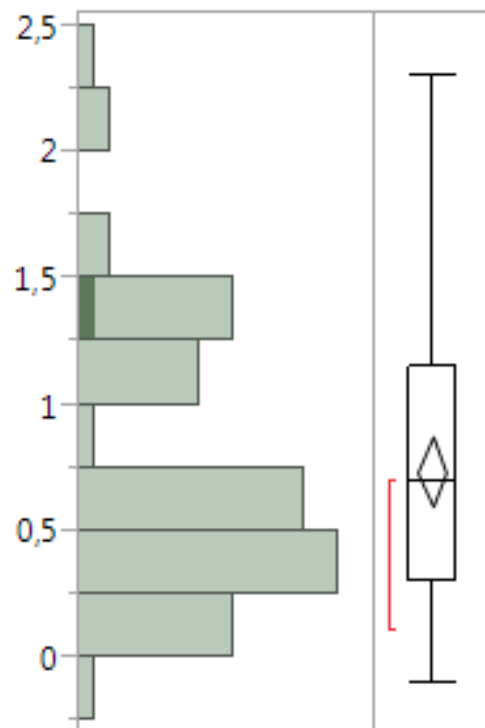


Diagramm 4: BCVA nach 8 Jahren

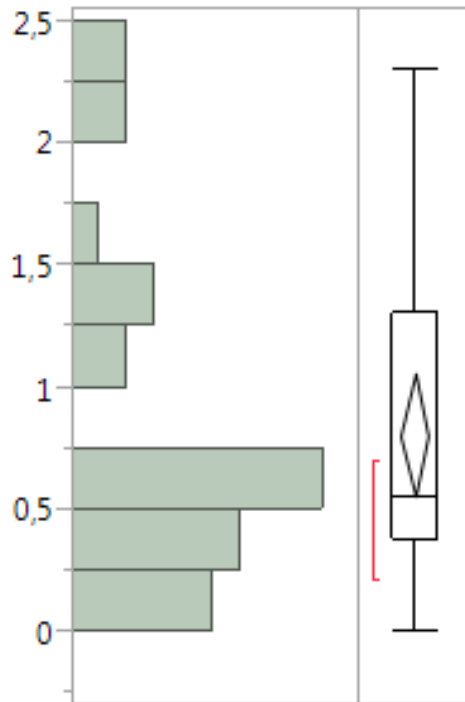
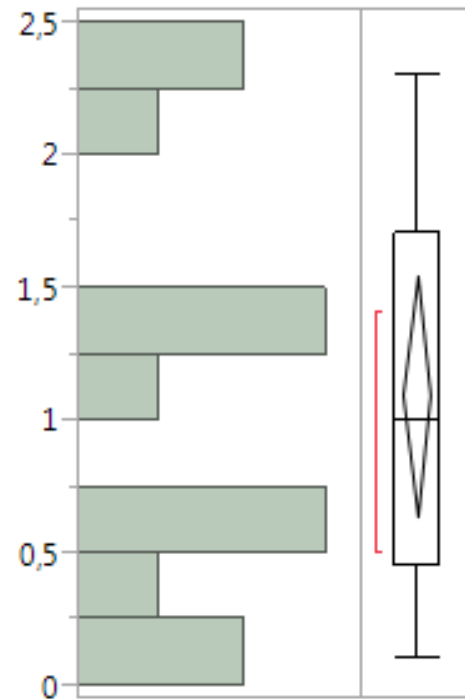


Diagramm 5: BCVA nach 10 Jahren

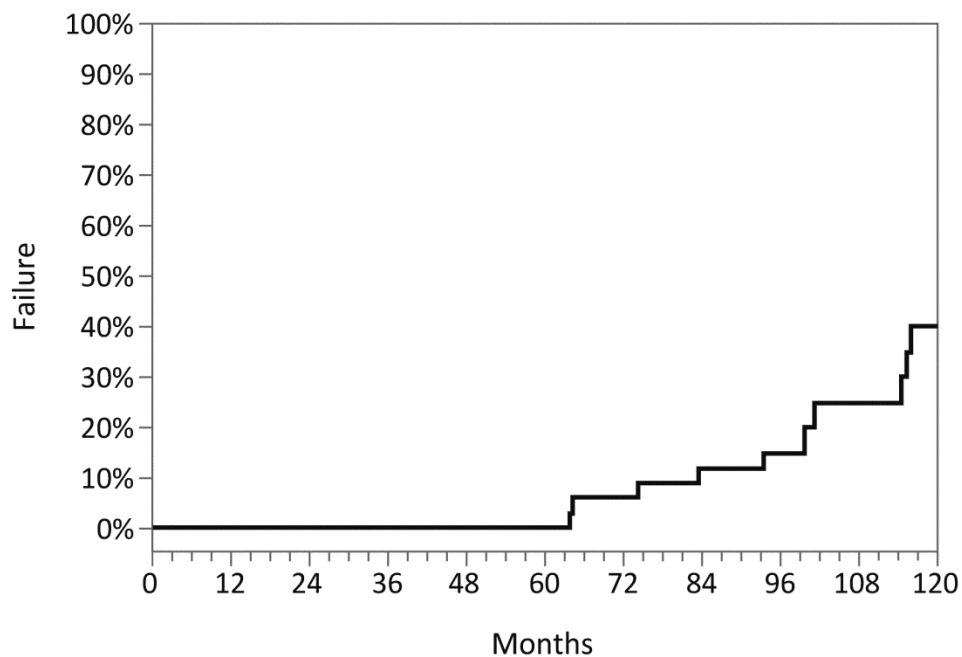


### 3.4. Die Wahrscheinlichkeit einer IOL-Dislokation

Eine Time-to-Event-Analyse wurde verwendet, um die IOL-Dislokation aufgrund des Bruches der Polypropylen-Naht zu bestimmen (Diagramm 6). Elf Augen (16,7%) zeigten eine IOL-Dislokation nach einem Mittelwert von 7,5 Jahren in einem Bereich von 5 bis 10 Jahren. Fadenbrüche entwickelten sich nach fünf Jahren in fünf Augen (7,6%), nach acht Jahren in fünf Augen (7,6%) und nach zehn Jahren in einem Auge (1,5%).

Somit wurde die Wahrscheinlichkeit einer IOL-Dislokation aufgrund eines Nahtbruchs nach Sklerafixation mittels Z-Naht-Technik nach zehn Jahren auf 40% geschätzt.

**Diagramm 6: Kaplan-Meier-Analyse, die die Ausfallrate des Verfahrens (IOL-Dislokation) durch Bruch der Polypropylen-Naht zeigt.**



### **3.5. Das Alter und das Trauma als Risikofaktoren**

Die Risikofaktoren für die Dislokation der IOL, die in univariaten und multivariaten Analysen identifiziert wurden, sind in der Tabelle 4 dargestellt.

Die beiden Faktoren, die in der univariaten Analyse eine statistische Signifikanz zeigten, waren das "Alter unter 55 Jahren" und das "Trauma". Allerdings wurde in der multivariaten Analyse nur das "Trauma" als eigenständiger Risikofaktor für die Verlagerung der IOL bestätigt, während das "Alter unter 55 Jahren" nur grenzwertige Bedeutung erlangte.

**Tabelle 4: Univariate and multivariate Analyse der Risikofaktoren für IOL-Dislokation.**  
 (CI – confidence interval).

<b>Risiko Faktoren</b>	<b>Wahrscheinlichkeit</b>	<b>95% CI</b>	<b><i>P</i></b>
Univariate			
Alter unter 55 Jahren	5.1	1.2- 21.3	<b>0.04</b>
Trauma	5.1	1.3- 20.2	<b>0.029</b>
Multivariate			
Alter unter 55 Jahren	4.0	1.0- 20.7	0.057
Trauma	4.1	1.0- 18.3	<b>0.049</b>

### **3.6. Die postoperativen Komplikationen**

Die postoperativen Komplikationen werden in der Tabelle 5 gezeigt.

Sechs Augen (9,1%) entwickelten ein postoperatives zystoides Makulaödem, welches jedoch unter lokaler Therapie eine vollständige Resorption zeigte.

Ein Hornhautödem trat in drei Augen auf (4,5%), wobei eins der Augen (1,5%) bereits präoperativ eine Fuchs' – Endotheliale Hornhautdystrophie hatte.

Eine Entgleisung des Intraokularsdrucks, die einen drucksenkenden chirurgischen Eingriff erforderte, wurde bei fünf Augen (7,6%) beobachtet. Allerdings hatten zwei Augen davon (3%) eine Vorgeschichte mit traumatischer Katarakt und Iridodialyse mit peripheren anterioren Synechien, und drei der Augen (4,5%) hatten eine Vorgeschichte mit Pseudoexfoliationsglaukom.

Eine Netzhautablösung trat bei 10 Augen (15,2%) auf. Davon hatten sechs Augen eine Vorgeschichte mit okulärem Trauma und zwei Augen bereits eine Netzhautablösung in der Vergangenheit. In allen Augen wurde die Netzhaut erfolgreich durch Pars-Plana-Vitrektomie und Gas- oder Silikonöl-Tamponade wieder angelegt.

Zwei Augen (3%) entwickelten ein posteriores Iris-Chafing-Syndrom mit Mikrohyphäma, intermittierenden Schwankungen des Intraokularsdrucks und Pigmentdispersion. Bei diesen Augen wurde die o.g. Problematik erfolgreich durch Entfernen der IOL behandelt.

Es wurden keine Komplikationen wie konjunktivale Naht-Erosio oder Exposition beobachtet. Ebenso konnte keine nahtbedingte Endophthalmitis durch Naht-Exposition festgestellt werden.

**Tabelle 5: Postoperative Komplikationen.**

<b>Postoperative Komplikationen</b>	<b>Wert n (%)</b>
Hornhaut – Ödem	3 (4.5)
Zystoides Makulaödem	6 (9.1)
Sekundärglaukom mit notwendiger chirurgischer Intervention	5 (7.6)
Amotio retinae	10 (15.2)
Naht-Erosio oder Naht-Exposition	0 (0)
Iris - Chafing - Syndrom with Mikrohyphäma	2 (3.0)
Bruch der Polypropylen-Naht	11 (16.7)

## **4. Diskussion**

Bei inadäquater Kapselsackunterstützung, bei der weder ein Kapselspannung noch eine Implantation der IOL in den Sulcus ciliaris möglich ist, kann die visuelle Rehabilitation durch eine sekundär implantierte IOL erfolgen. Hier besteht jedoch kein Konsens über die optimale Strategie, über die Art der IOL und den Ort der Fixation (Szurman und Gekeler 2014). Es kommen kammerwinkelgestützte VKLs, irisfixierte IOLs und sulcusgestützte IOLs in Frage, wobei bei letzteren eine Fixation mit und ohne Naht an der Sklera möglich ist (Szurman und Gekeler 2014, Holt et al 2012). Alle Techniken weisen spezifische Vor- und Nachteile auf, was die chirurgische Technik, den Zeitaufwand und die intra- und postoperativen Komplikationen betrifft (Donaldson et al. 2005, Holt et al 2012, Szurman und Gekeler 2014).

Die skleral-fixierte HKLs sind dennoch in den letzten Jahren immer beliebter geworden, um Aphakie bei Patienten mit unzureichender Kapselunterstützung zu korrigieren. (Hayashi et al. 1999, Heidemann und Dunn 1992, Jensen et al. 1995, Kocak-Altintas et al. 2000, Lanzetta et al. 1998, Mittelviehhaus und Witschel 1995, Omulecki et al. 1997).

Aufgrund ihrer anatomischen Lage haben skleral-fixierte HKLs einen Vorteil gegenüber den anderen IOLs in Bezug auf Komplikationen, insbesondere bei Augen nach Trauma und bei jungen Patienten (Epley et al. 2001, McAlister und Hirst 2011, Vote et al. 2006, Wagoner et al. 2003).

Die Implantation hinter der Iris ist mit einem geringeren Risiko für Endothelprobleme der Hornhaut, für Glaukom und für zystoides Makulaödem verbunden (McCluskey und Harrisburg 1994, Szurman und Gekeler 2014). Bei Anwendung dieser Methode kann somit das Risiko einer Beschädigung der Endothelzellen und der Winkelstrukturen verringert werden (Por und Lavin 2005, Arkin und Steinert 1994, Bleckmann und Kaczmarek 1994, Hu et al. 1988, Kwong et al. 2007, Menapace et al. 2000).

Gerade bei unkomplizierten Ausgangssituationen werden mit Sklerafixation exzellente Ergebnisse mit akzeptablem Sicherheitsprofil erreicht (McCluskey und Harrisburg 1994, Szurman und Gekeler 2014). Dies muss abgewogen



werden gegen die längere Operationszeit und die größere chirurgische Komplexität (Szurman und Gekeler 2014).

Die Sklerafixation einer HKL ist aber auch in Situationen indiziert, in denen die Implantation einer VKL potentielle Komplikationen verursachen könnte, wie z.B. bei einer Cornea guttata, bei einer flachen Vorderkammer (<3,0mm) oder bei einer Dissektion des vorderen Augenabschnitts. Zudem sind die skleralfixierte HKLs die optimale Lösung zur sekundären IOL Implantation bei jungen Patienten oder bei Patienten mit einer Lebenserwartung von 10 Jahren oder mehr, bei Diabetikern und in Fällen von IOL-Implantation kombiniert mit einer perforierenden Keratoplastik (Wagoner et al.2003, Epley et al. 2001, Dick und Augustin 2001,Hannush 2000).

Allerdings sollten potenzielle Risiken und spezielle Komplikationen der Sklerafixation berücksichtigt werden. Diese ergeben sich durch die Sulcusposition und insbesondere durch die Nadelpenetration des uvealen und skleralen Gewebes. Eine spontane Verlagerung der IOL im Zusammenhang mit Degeneration oder Bruch der Naht kann häufig auftreten. Tatsächlich findet sich in bis zu 80% aller Fälle eine Malpositionierung der Haptiken (Althaus und Sundmacher 1993). Eine zu weit posteriore Fadenplatzierung ist die häufigste Ursache für eine IOL-Verkipfung, suprachorioidale und rezidivierende Glaskörperblutungen, sowie eine Netzhautablösung (Szurman und Gekeler 2014). Nicht zu unterschätzen ist auch das Risiko für eine Spätendophthalmitis nach Fadenerosion durch die Bindehaut (Solomon et al.1993).

Die Z-Naht-Technik wurde als Versuch zur Lösung der fadenassoziierten Probleme infolge Sklerafixation eingeführt (Szurman et al. 2010). Die Ergebnisse unserer Studie deuten darauf hin, dass diese Technik eine sichere und effiziente Methode zur Fixierung von HKLs auf lange Sicht ist. Die Erfolgsquote des Verfahrens hängt aber von den Materialeigenschaften der 10-0-Polypropylen-Naht ab.

Die Inzidenz für eine Dislokation einer HKL aufgrund von Nahtbrüchen nach Sklerafixation liegt zwischen 1,2% und 28%. (Abbey et al. 2015, Bading et al. 2007, Bleckmann et al.1990, Bleckmann und Kaczmarek 1994, Baykara und Avci 2004, Chang und Lee 1991, Evereklioglu et al. 2003, Ganekal et al.2012,

Hayashi et al.1999, Helal et al. 1996, Kwong et al. 2007, Lee et al. 2003, Krause et al. 2009, Lanzetta et al.1998, Luk et al. 2013, McAllister und Hirst 2011, McCluskey und Harrisberg 1994, Mimura et al. 2003, Mittelviehhaus und Witschel 1995, Omulecki et al.1997, Vote et al. 2006, Yadav et al. 2012). Allerdings gibt es nur wenige Studien, die über einen längeren Zeitraum die o.g. Komplikation beobachtet haben. Vote et al. berichteten 2006 über eine IOL-Dislokation aufgrund eines Bruchs der Polypropylen-Naht bei 28% ihrer Patienten in einer langfristigen retrospektiven Studie mit einer medianen Beobachtungszeit von 6 Jahren. Die mittlere Zeit für die IOL-Verlagerung betrug 50 Monate in dieser Studie (Vote et al 2006). Im Vergleich dazu betrug die Nahtbruchinzidenz in unserer Studie 16,7% nach einem Mittelwert von 7,5 Jahren. Obwohl in beiden Studien 10-0 eine Polypropylen-Naht verwendet wurde, waren die Fixationstechniken und die Studienpopulationen unterschiedlich. Unsere Studie umfasste ältere Patienten mit einem mittleren Alter von 59 Jahren im Vergleich zu einem mittleren Alter von 41 Jahren in der Studie von Vote et al. Allerdings könnte ein jüngeres Alter ein Risikofaktor für den langfristigen Bruch der Polypropylen-Naht sein, wie die Ergebnisse unserer Studie nahe legen. Der Faktor "Alter unter 55 Jahren" erreichte in der Studie nur eine grenzwertige Bedeutung in der multivariaten Analyse, konnte aber nicht ausreichend befähigt sein, "Alter" als eigenständigen Risikofaktor zu identifizieren.

Alle Techniken zur Sklerafixation gleichen sich darin, dass der Polypropylenfaden am Ende in der Sklera fixiert werden muss, und somit sind die nahtbedingten Komplikationen das größte Problem für die Patienten. Früher wurde der Nahtknoten direkt unter der Bindehaut gelassen. Da aber freiliegende Knoten direkt unter der Bindehaut in vielen Fällen zu einer Fadenerosio führen und das Risiko für eine Endophthalmitis erhöhen, wird eine Deckung des Knotens generell empfohlen (Dinc et al. 2017, Szurman und Gekeler 2014).

Salomon et al. berichteten 1993 nach ihrer retrospektiven Studie mit 30 Augen von einer Erosionsrate bis zu 73% in einem Zeitraum von 23 Monaten (Solomon et al. 1993). Lewis et al. beschreiben in ihrer Arbeit desselben Jahres eine Häufigkeit von 20% (Lewis 1993). In einer größeren Studie mit 624

Patienten berichteten 1998 Uthoff und Teichmann über eine Erosionsinzidenz von 17,9% nach einer Nachbeobachtungszeit von einem Jahr (Uthoff und Teichmann 1998).

Anand und Bowman beschrieben 1990 zuerst das Einbetten des Knotens in die Sklera, um das obige Problem zu lösen, und später kamen Sklerallappen zu diesem Zweck zum Einsatz (Solomon et al. 1993). Selbst wenn Sklerallappen zum Schutz der Bindehaut vor dem Knoten verwendet werden, kann in 15% der Fälle eine Fadenexposition auftreten (Holland et al. 1992). Im Langzeitverlauf konnte durch Salomon et al. gezeigt werden, dass die lamellären Sklerallappen langsam atrophieren, sodass eine Fadenerosion häufig nur verzögert, aber nicht verhindert wird (Solomon et al. 1993). Daher bleiben trotz der Verwendung von Sklerallappen die spätere Fadenerosionen weiterhin ein Problem (Dinc et al 2017).

Die Idee, eine Skleratasche oder einen Skleragraben anstelle eines Sklerallappens zu schaffen, wurde später vorgeschlagen (Dinc et al. 2017). Hoffmann beschrieb 2006 eine Modifikation des Sklerallappens mit der Anlegung einer skleralen Tasche. Das ist eine Art peripherer Tunnelschnitt ohne Vorderkammerpenetration. Der Nachteil dieser Technik ist jedoch, dass nur IOLs mit Öse verwendet werden können (am ehesten PMMA-Linsen), diese erfordern bei der Implantation einen großen Schnitt (Hoffman et al. 2006, Szurman et al. 2010). Parallel wurde von verschiedenen Autoren die U-Naht-Technik mit Skleragraben als mögliche Lösung vorgeschlagen. Dabei wird der Faden als U-Naht eingeknüpft und der Knoten wird nachfolgend in einen skleralen Graben versenkt. (Anand und Bowman 1990, Donaldson et al. 2005, Friedberg und Berler 1992, Szurman und Gekeler 2014). Die mit Nähten verbundenen Probleme wie Fadenerosion und Fadenexposition konnten jedoch selbst mit diesen Techniken nicht effektiv beseitigt werden (Dinc et al. 2017).

In unserer Studie haben wir die 2010 von Szurman et al. beschriebene knotenlose Z-Naht-Technik bei allen Patienten verwendet und konnten selbst nach 10 Jahren Beobachtungszeit keinen Fall mit Fadenerosio oder Fadenexposition feststellen. Grundsätzlich werden also das o.g. Risiko und die

damit assoziierten Komplikationen durch die Z-Naht- Technik bei einer Sklerafixation eliminiert (Dinc et al. 2017, Szurman et al.2010).

Scharioth et al. beschrieben 2010 ein neues Verfahren für skleral-fixierte HKLs ohne Fixationsnaht. Die Technik zeigte gute anatomische und funktionelle Ergebnisse, jedoch wurden bisher keine Langzeitergebnisse veröffentlicht (Scharioth et al. 2010).

Die Netzhautablösung war eine relativ häufige Komplikation in unserer Studie. Diese trat in 10 (15%) Augen auf. Dies ist deutlich öfter als die Inzidenz zwischen 1% und 8,2%, wie in anderen Studien beschrieben wurde. (Por und Lavin 2005, Vote et al. 2006, McAllister und Hirst 2011, Luk et al. 2013, Krause et al. 2009, Uthoff und Teichmann 1998, Kjeka et al. 2008). Sowohl Luk et al. 2013, der in einer Studie 104 Augen untersuchte, als auch Uthoff und Teichmann 1998 in einer größeren Arbeit, die insgesamt 624 Augen umfasste, berichteten über ein geringes Risiko der Amotio retinae in Folge einer Sklerafixation mit einer Wahrscheinlichkeit von 1% und 1,4%. Allerdings war die Beobachtungszeit der o.g. Studien auf 12 Monaten beschränkt. Por und Lavin beschrieben im Jahr 2005 in einer Reihe von 122 Augen eine Häufigkeit von 4,9% postoperativen Netzhautablösungen in einem Untersuchungszeitraum von 42 Monaten. Eine identische Inzidenz von 4,9% für eine Netzhautablösung innerhalb von 53 Wochen nach der Implantation einer skleral-fixierten HKL wurde 2011 von McAllister et al. in einer Studie mit 82 Augen beschrieben. In der Studie von Vote et al. 2006 ergab sich ein signifikant höheres Risiko (8,2%) für eine Amotio retinae infolge einer Sklerafixation. Diese Studie hatte mit 6 Jahren einen deutlich längeren Untersuchungszeitraum nach der Operation. In unserer Studie ist es schwierig zu beweisen, ob die Ursache für die Netzhautablösung die Operation selbst war, vor allem bei den Augen mit einer Vorgeschichte von okulärem Trauma oder vorherigen Operationen des hinteren Augenabschnitts, was bei acht von den zehn oberen Patienten der Fall war.

In unserer Studie war ein chirurgischer Eingriff zur Intraokulardrucksenkung aufgrund der Entwicklung eines Sekundärglaukoms nach der HKL Implantation bei 5 Augen (7,6%) erforderlich. Zwei (3%) Augen davon hatten jedoch eine

Vorgeschichte mit Iridodialyse und peripheren anterioren Synechien nach okulärem Trauma, und drei (4,5%) Augen hatten bereits präoperativ ein bekanntes Pseudoexfoliationsglaukom.

Dieses Ergebnis ist mit den bisherigen Berichten vergleichbar. (Dick und Augustin 2001, Kjeka et al. 2008, Lee et al. 2003, Luk et al. 2013). Lee et al. hat 2003 in seiner Arbeit eine Häufigkeit für Sekundärglaukom in Höhe von 16,7% festgestellt, während Luk et al 2013 das Risiko mit 2,9% als deutlich geringer beschrieb.

Das postoperative Makulaödem ist eine relativ häufige Komplikation nach Sklerafixation und parallel eine der häufigsten Ursachen für eine postoperative Visusverschlechterung. Zur Behandlung des Makulaödems gibt es keine einheitliche Therapie, jedoch verschiedene Therapieoptionen, die einzelfallbezogen meistens zu einer funktionellen und morphologischen Befundbesserung führen können. Solche Therapieoptionen sind etwa die Gabe von Steroiden lokal in Tropfenform oder systemisch in Tablettenform per os in einer Dosierung von 1-2mg/Kg. Körpergewicht oder auch als Injektion parabolbär oder intravitreal. Eine weitere Möglichkeit ist die lokale Applikation von nicht steroidal Antiphlogistika oder die systemische Anwendung von Carboanhydrase-Hemmer z.B. Acetazolamid. Alternativ kann auch eine intravitreale Injektion von anti-VEGF Faktoren erfolgen, um diese Problematik zu beseitigen. Trotzdem gibt es Fälle, in denen das Makulaödem persistierend ist und auf die o.g. Therapie nicht anspricht, es führt in der Folge zu einer chronischen Funktionseinschränkung. Uthoff und Teichmann berichten über eine Inzidenz von 5,8% für Makulaödem nach sekundärer Implantation von skleral-fixierten HKLs in einer großen Studie mit 624 Augen (Uthoff und Teichmann 1998). McAllister und Hirst stellten in ihrer Studie, die 82 Augen umfasste, bei 6 Augen (7,3%) und in einem Zeitraum von 3,1 bis 105,3 Wochen ein Makulaödem postoperativ fest (McAllister und Hirst 2011). In einer anderen Studie von Holland et al. mit 115 Patienten wurde eine Inzidenz von 9,5% für postoperatives Makulaödem beschrieben, jedoch handelte es sich hier um Patienten, die eine kombinierte Operation mit einer penetrierenden Keratoplastik und eine sklerafixierte HKL bekommen hatten (Holland et al. 1992). Unsere Studie zeigte ebenfalls ein ähnliches Risiko von 9% für die

Entwicklung eines postoperativen Makulaödems. Sechs von den 62 Augen präsentierten ein CMÖ nach der HKL Implantation mittels Z-Naht-Technik, was sich aber unter topischer Therapie in allen Fällen komplett zurückgebildet hat. Es hat sich gezeigt, dass ein postoperatives Makulaödem häufiger in den Augen, die bereits eine komplizierte Kataraktchirurgie, eine Netzhautablösung oder ein Trauma erlitten haben, auftritt (Chu et al. 2006).

Drei Augen (4,5%) entwickelten in unserer Studie ein kräftiges postoperatives Hornhautödem nach der skleral-fixierten HKL- Implantation mittels Z-Naht-Technik. Allerdings war der Grund für das Hornhautödem eine Fuchs' endotheliale Dystrophie in einem Auge und ein Hornhauttrauma in zwei Augen und eher nicht die Operation an sich. Auf jeden Fall ist aber diese Inzidenz analog zu Ergebnissen anderer Studien.

Luk et al. beschrieb 2013 in einer großen Studie mit einer Beobachtungszeit von mindestens 1 Jahr und bis zu 15 Jahren, die 104 Augen nach skleral-fixierter HKL Implantation umfasste, eine Inzidenz von 4,8% (5 Augen) für postoperatives Hornhautödem. Auch bei dieser Studie trugen diese 5 Augen bereits präoperativ Risikofaktoren für eine postoperative Hornhautdekomensation, wie z.B. Fuchs' Endotheldystrophie, Zustand nach VKL Explantation und Zustand nach vitreoretinaler Chirurgie (Luk et al.2013).

Ähnlich ist die Wahrscheinlichkeit von 4,3% für eine bullöse Keratopathie, beschrieben durch Hascz et al. in einer aktuellen Arbeit von 2016, jedoch handelt es sich hier um eine deutlich kleinere Arbeit mit 42 Augen und einen Untersuchungszeitraum von 12 Monaten.

Interessant sind diesbezüglich die Ergebnisse der Studie von McAllister et al. 2012: Hier wird von einer Inzidenz von 6,1% für ein Hornhautödem bereits in der frühen postoperativen Zeit (innerhalb von 61 Tagen nach der skleral-fixierten HKL-Implantation) berichtet. 5 von insgesamt 82 Augen hatten ein Ödem erlitten, dies war jedoch nur bei 2 Augen persistierend (McAllister und Hirst 2011).

Generell ist das Risiko für Hornhautkomplikationen nach HKL Implantation mit Sklerafixation geringer im Vergleich zu den VKLs, daher ist heutzutage die

Implantation von VKLs bei Patienten mit vorbestehenden Hornhautproblemen eher kontraindiziert (Weene 1993). Obwohl die modernen VKLs mit flexiblen Schleifen eine geringere Inzidenz von Hornhautkomplikationen im Vergleich zum älteren Closed-Loop-Design aufweisen, ist das Hornhautödem immer noch eine der häufigsten Ursachen für schlechte Ergebnisse von VKLs (Apple et al. 1987, Apple et al. 1987, Sawada et al. 1988).

Die Z-Naht-Technik präsentiert zahlreiche Vorteile im Vergleich zu den bisher bekannten Methoden für transsklerale Nahtfixationen. Vorerst ist die Ab-Externo Sklerafixation mittels Z-Naht schnell und einfach durchzuführen, wobei sie schon mit einigen technischen Herausforderung verbunden ist. Zudem ist eine Lernkurve auch für erfahrene Operateure erforderlich. Ein Vorteil der Technik ist, dass nur ein kleiner konjunktivaler Schnitt von maximal 3-4mm dabei benötigt wird. Die Z-Naht hat zudem den Vorteil, dass sie bei allen möglichen Techniken und Varianten der transskleralen Nahtfixation verwendbar ist. Abgesehen von den skleral-fixierten Kunstlinsen können ebenfalls Irisimplantate, Irisdiaphragmen und andere sulcusfixierte Implantate knotenfrei mittels Z-Naht-Technik eingenäht werden. Der größte Vorteil ist aber, dass es sich um eine komplett knotenlose Technik zur Sklerafixation handelt, die sehr sicher und zuverlässig ist. Die in-vitro Messungen im Labor haben eindeutig gezeigt, dass die Fadenstabilität nach 5 Durchstichen in der Sklera mehr als ausreichend ist, und dass im Falle eines Misserfolgs eher der Faden reißt, als dass die Z-Naht zurückgezogen werden kann (Holt et al 2012, Szurman et al. 2010).

Bisher fehlten in der Literatur die Langzeitergebnisse nach Verwendung der knotenlosen Z-Naht-Technik für die Implantation von skleralfixierten HKLs, was unsere Studie jetzt anzubieten hat. Die wesentliche Stärke unserer Studie ist die langfristige Nachuntersuchung von drei bis zu zehn Jahren. Wir erkennen jedoch an, dass die Studie auch Einschränkungen hinsichtlich ihrer retrospektiven Gestaltung hat.

Abschließend ist die Implantation von sklerafixierten HKLs unter Verwendung der knotenlosen Z-Naht eine sichere Technik, die ein gutes visuelles Ergebnis bei Patienten mit Aphakie bietet.

Wie bereits erwähnt wurde, zeigte sich nur eine geringe Veränderung der BCVA an den verschiedenen postoperativen Verlaufskontrollen nach drei, fünf, acht und zehn Jahren der Operation im Vergleich zu der mittleren präoperativen BCVA, die  $0,71 \pm 0,58$  logMAR betrug. Allerdings muss hier betont werden, dass die präoperative BCVA nur mit einer Korrektur von mindestens +10 Dioptrien (sphärisches Äquivalent) erreicht werden kann. Die Aphakie-Patienten können ohne diese Korrektur meistens nur noch Schatten mit dem betroffenen Auge erkennen. Gerade bei einseitiger Aphakie besteht meistens ein riesiger Unterschied zwischen der sphärischen Äquivalenten des betroffenen und des nicht betroffenen Auges. Dieser Unterschied der Brechkraft beider Augen ermöglicht keine Korrektur mit Brillengläsern, weil diese zu einer Aniseikonie führt, d.h. zu einem Größenunterschied der beiden Bilder, die beim Sehen auf die Netzhaut des rechten und linken Auges projiziert werden. Aus diesem Grund stellt eine konservative Korrektur der Aphakie nur mittels Kontaktlinse mit der o.g. Stärke eine realistische Lösung im Alltag dar, jedoch ist diese nicht für alle Patienten geeignet. Im Gegenteil wird meistens die postoperative BCVA sehr einfach durch eine leichte Brillenkorrektur erreicht, da das postoperative sphärische Äquivalent deutlich geringer ist im Vergleich zum präoperativen. Zudem ist die postoperative unkorrigierte Sehschärfe in den meisten Fällen viel besser als präoperativ. Das ist schließlich auch der wesentliche refraktive und funktionelle Vorteil der Operation. Zusammenfassend zeigt sich also einerseits nur eine geringe Veränderung der BCVA postoperativ im Vergleich zu präoperativ, andererseits wird diese BCVA präoperativ meistens im Alltag nicht erreicht, daher profitieren die Patienten fast immer signifikant nach der Operation von einer wesentlichen Besserung des Sehvermögens, womit auch eine deutliche Verbesserung der Lebensqualität einhergeht.

Die Wahrscheinlichkeit einer IOL-Dislokation aufgrund des Nahtbruchs betrug 16,7% nach einem Mittelwert von 7,5 Jahren, und nach zehn Jahren wurde sie auf 40% geschätzt. Es ist also sehr wichtig, die Patienten bereits präoperativ über dieses Risiko ausführlich aufzuklären, gerade wenn es um jüngere Patienten geht, die körperlich aktiver sind.



Im Fall einer IOL-Dislokation durch Nahtbruch ist eine Revisionsoperation immer erforderlich, jedoch ist jede weitere Operation mit weiteren Risiken und möglichen Komplikationen verbunden.

In Zukunft könnte eine weitere Untersuchung von neuartigen Nahtmaterialien zur Fixation der Linsen die Erfolgsrate der Technik erhöhen.

## **5. Zusammenfassung**

Die modifizierte Z-Naht-Technik wurde als Versuch zur Lösung der fadenassoziierten Probleme infolge Sklerafixation eingeführt. In unserer retrospektiven Studie wurde diese Technik in einem großen Patientenkollektiv mit Aphakie anhand der ersten Langzeitergebnisse evaluiert.

Wir haben die medizinischen Akten von 62 aufeinanderfolgenden Patienten (66 Augen) überprüft, die zwischen 2004 und 2013 an der Universitätsaugenklinik Tübingen eine skleral-fixierte HKL mit Z-Naht Technik erhielten. Alle Patienten hatten eine Überwachungszeit von mindestens 3 Jahren. Die Nachuntersuchungsintervalle betragen 3, 5, 8 und 10 Jahre. Die Patienten hatten ein Alter zwischen 17 und 87 Jahren, und das Durchschnittsalter betrug  $58,8 \pm 17,6$  Jahre. Es ergaben sich folgende Ursachen für die Aphakie: Okuläres Trauma (32%), komplizierte Kataraktchirurgie (23%), Zustand nach Pars-plana Vitrektomie (17%), PEX-Syndrom (9%) und andere seltenere Ursachen. Die mittlere präoperative BCVA betrug  $0,71 \pm 0,58$  logMAR. Die BCVA betrug  $0,67 \pm 0,54$  logMAR nach drei Jahren ( $p = 0,257$ ),  $0,73 \pm 0,55$  logMAR nach fünf Jahren ( $p = 0,399$ ),  $0,8 \pm 0,68$  logMAR nach acht Jahren ( $p = 0,348$ ), und  $1,09 \pm 0,76$  logMAR nach zehn Jahren ( $p = 0,069$ ). Elf Augen (16,7%) zeigten eine IOL-Dislokation durch Fadenbruch nach einem Mittelwert von 7,5 Jahren. Die Wahrscheinlichkeit einer IOL-Dislokation aufgrund eines Nahtbruchs nach zehn Jahren wurde auf 40% geschätzt (Time-to-Event-Analyse). Trauma könnte als eigenständiger Risikofaktor für die Verlagerung der IOL bestätigt werden. Zu den Komplikationen gehörten die Netzhautablösung (15%), das CMÖ (9%), der erhöhte Augeninnendruck, der einen operativen Eingriff erforderte (7,6%), das Hornhautödem (4,5%) und das posteriore Iris-Chafing-Syndrom mit Mikrohyphäma (3%).

Die Ergebnisse unserer Studie deuten darauf hin, dass diese Technik eine sichere und effiziente Methode zur Fixierung von HKLs auf lange Sicht ist. Die Erfolgsquote des Verfahrens hängt aber von den Materialeigenschaften ab.

The modified Z-suture technique was introduced as an attempt to solve the suture-associated problems following the implantation of scleral-fixated posterior chamber intraocular lenses. In our retrospective study, this technique was evaluated in a large group of patients with aphakia based on the long-term results.

We reviewed the medical records of 62 consecutive patients (66 eyes) who received a sclera-fixated posterior chamber lens with Z-suture technique at the University Eye Hospital Tübingen between 2004 and 2013. All patients had a follow-up of at least 3 years. The follow-up intervals were 3, 5, 8 and 10 years respectively. The patients had an age between 17 and 87 years and the mean age was  $58.8 \pm 17.6$  years. Following causes of aphakia were found: ocular trauma (32%), complicated cataract surgery (23%), complication after pars plana vitrectomy (17%), pseudoexfoliation syndrome (9%) and other rare causes. The mean preoperative corrected distance visual acuity (CDVA) was 0,71 logarithm of the minimum angle of resolution (logMAR)  $\pm 0,58$  (SD). The mean CDVA was  $0,67 \pm 0,54$  logMAR ( $P = .257$ ;  $n = 66$ ) after 3 years,  $0,73 \pm 0,55$  logMAR ( $P = .399$ ;  $n = 60$ ) after 5 years,  $0,8 \pm 0,68$  logMAR ( $P = .348$ ;  $n = 30$ ) after 8 years, and  $1,09 \pm 0,76$  logMAR ( $P = .069$ ;  $n = 13$ ) after 10 years. Failure because of suture breakage was observed in 11 eyes (16,7%) after a mean of 7,5 years. Kaplan-Meier time-to-event analysis showed a 40% failure probability after 10 years. Traumatic aphakia was the only risk factor for failure. Complications included retinal detachment (15%), cystoid macular edema (9%), increased intraocular pressure requiring surgical intervention (7,6%), corneal edema (4,5%), and posterior iris-chafing syndrome with microhyphema (3%).

The results of our study suggest that the implantation of scleral-fixated HKLs using the knotless Z-suture is a safe and efficient technique in long term. However, the success rate of the technique depends on the material properties of the suture.

## **6. Literatur**

Abbey AM, Hussain RM, Shah AR, Faia LJ, Wolfe JD, Williams GA (2015) Sutureless scleral fixation of intraocular lenses: outcomes of two approaches. The 2014 Yasuo Tano Memorial Lecture. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 253(1):1-5.

Albert DM, Jakobiec FA (1994) Principles and practice of ophthalmology. WB Saunders, 3. Verlag, 1: 641-56, Philadelphia

Althaus C, Sundmacher R (1992) Transscleral suture fixation of posterior chamber intraocular lenses through the ciliary sulcus: endoscopic comparison of different suture techniques. German J Ophthalmol 1:117-121

Althaus C, Sundmacher R (1993) Intraoperative intraocular endoscopy in transscleral suture fixation of posterior chamber lenses; consequences for suture technique, implantation procedure and choice of PCL design. Refract Corneal Surg 9:333-339

Anand R, Bowman RW (1990) Simplified technique for suturing dislocated posterior chamber intraocular lens to the ciliary sulcus. Arch Ophthalmol 108(9):1205-6.

Apple DJ, Mamalis N, Lofffield K, et al (1984) Complications of intra-ocular lenses. A historical and histopathological review. Surv Ophthalmol 29: 1-54.

Apple DJ, Brems RN, Park RB, Norman DK, Hansen SO, Tetz MR, Richards SC, Letchinger SD (1987) Anterior chamber lenses. Part I: Complications and pathology and a review of designs. J Cataract Refract Surg 13(2):157-74.

Apple DJ, Hansen SO, Richards SC, Ellis GW, Kavka-Van Norman D, Tetz MR, Pfeffer BR, Park RB, Crandall AS, Olson RJ (1987) Anterior chamber lenses. Part II: A laboratory study. J Cataract Refract Surg 13(2):175-89.

Apple DJ, Kincaid MC, Mamalis N, Olson RJ, MC Kincaid (1989) Intraocular Lenses. Evolution, designs, complications and pathology. Williams and Willkins, Baltimore.

Arkin MS, Steinert RF (1994) Sutured posterior chamber intraocular lenses. *Int Ophthalmol Clin* 34(3):67-85.7

Auffarth GU, Apple DJ (2001) Zur Entwicklungsgeschichte der Intraokularlinse. *Ophthalmologie* 98:1017-1028

Auffarth GU, Fabian E, Holzer MP, Pich S, Rabsilber TM, Sauder G, Scholz S, Szurman P, Werschnik C, Wilhelm F, Weindler J (2008) *Kataraktchirurgie*, 1.Auflage, UNI-MED Verlag AG, Bremen

Bading G, Hillenkamp J, Sachs HG, Gabel VP, Framme C (2007) Long-term safety and functional outcome of combined pars plana vitrectomy and scleral-fixated sutured posterior chamber lens implantation. *Am J Ophthalmol* 144(3):371-7.

Baykara M, Avci R (2004) Prevention of suture knot exposure in posterior chamber intraocular lens implantation by 4-point scleral fixation technique. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 35(5):379-82.

Bergman M, Laatikainen L (1996) Long-term evaluation of primary anterior-chamber intraocular lens implantation in complicated cataract surgery. *Intern Ophthalmol* 22:243-246

Bleckmann H, Hanuschik W, Vogt R (1990) Implantation of posterior chamber lenses in eyes with phakodonesis and lens subluxation. *J Cataract Refract Surg*. 16(4):485-9.

Blumenthal M, Assia E, Schochet Y (1991) Lens anatomical principles and their technical implications in cataract surgery. Part 1: The lens capsule. *J Cataract Refract Surg* 17:205-10

Bleckmann H, Kaczmarek U (1994) Functional results of posterior chamber lens implantation with scleral fixation. *J Cataract Refract Surg* 20(3):321-6.

Chang JH, Lee JH (1991) Long-term results of implantation of posterior chamber intraocular lens by suture fixation. *Korean J Ophthalmol* 5(1):42-6.

Chu CJ, Johnston RL, Buscombe C, Sallam AB, Mohamed Q, Yang YC (2006) Risk Factors and Incidence of Macular Edema after Cataract Surgery: A Database Study of 81984 Eyes. *Ophthalmology* 123(2):316-23.

Dick HB, Augustin AJ (2001) Lens implant selection with absence of capsular support. *Curr Opin Ophthalmol* 12(1):47-57.

Dinc E, Vatansever M, Dursun Ö, Markirt H.G., Aydin B, Yilmaz A, Adigüzel U (2017) Scleral fixated intraocular lens implantation with a modified Z-suture technique. *Int Ophthalmol* DOI 10.1007/s10792-017-0735-8

Donaldson KE, Gorscak JJ, Budenz DL, Feuer WJ, Benz MS, Forster RK (2005) Anterior chamber und sutured posterior chamber intraocular lenses in eyes with poor capsular support, *J Cataract Refract Surg* 31: 903-909

Epley KD, Shainberg M, Lueder GT, Tychsel L (2001) Pediatric secondary lens implantation in the absence of capsular support. *J AAPOS* 5:301-306

Evereklioglu C, Er H, Bekir NA, Borazan M, Zorlu F (2003) Comparison of secondary implantation of flexible open-loop anterior chamber and scleral-fixated posterior chamber intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 29(2):301-8.

Friedberg MA, Berler DK (1992) Scleral fixation of posterior chamber intraocular lens implants combined with vitrectomy. *Ophthalmic Surg* 23(1):17-21.

Ganekal S, Venkataratnam S, Dorairaj S, Jhanji V (2012) Comparative evaluation of suture-assisted and fibrin glue-assisted scleral fixated intraocular lens implantation. *J Refract Surg* 28(4):249-52.

Gimbel H, Neuhann T (1990) Development, advantages and methods of the continuous circular capsulorhexis technique. *J Cataract Refract Surg*: 16(1):31-37

Hannush SB (2000) Sutured posterior chamber intraocular lenses: indications and procedure. *Curr Opin Ophthalmol* 11:233-240

Haszcz D, Nowomiejska K, Oleszczuk A, Forlini C, Forlini M, Moneta-Wielgos J, Maciejewski R, Michalska-Malecka K, Jünemann A.G., Rejdak R (2016):

Visual outcomes of posterior chamber intraocular lens intrascleral fixation in the setting of postoperative and posttraumatic aphakia. *BMC Ophthalmology* DOI 10.1186/s12886-016-0228-y

Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F (1999) Intraocular lens tilt and decentration, anterior chamber depth, and refractive error after trans-scleral suture fixation surgery. *Ophthalmology* 106(5):878-82.

Heidemann DG, Dunn SP (1992) Transsclerally sutured intraocular lenses in penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 113(6):619-25.

Helal M, Sayyad F, Elsherif Z, Maghraby A, Dabees M (1996) Transscleral fixation of posterior chamber intraocular lenses in the absence of capsular support. *J Cataract Refract Surg* 22(3):347-5185.

Hennig A, Evans JR, Pradhan D, Johnson GJ, Pokhrel RP, Gregson RM, Hayes R, Wormald RP, Foster A (1997) Randomised controlled trial of anterior-chamber intraocular lenses. *Lancet* 349:1129-1133

Hirschberg J (1908) Geschichte der Augenheilkunde Kapitel XXIII in: Grafe-Saemisch: Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Bd. XII, Verlag W.Engelmann, Leipzig

Hoffman RS, Fine IH, Packer M, Rozenberg I (2006) Scleral fixation using suture retrieval through a scleral tunnel. *J Cataract Refract Surg* 32(8):1259-63.

Holland EJ, Daya SM, Evangelista A, Ketcham JM, Lubniewski AJ, Doughman DJ, Lane SS (1992) Penetrating keratoplasty and transscleral fixation of posterior chamber lens. *Am J Ophthalmol* 114(2):182-7.

Holt DG, Young J, Stagg B, Ambati BK (2012) Anterior chamber intraocular lens, sutured posterior chamber intraocular lens, or glued intraocular lens: where do we stand? *Curr Opin Ophthalmol* 23:62-67

Hu BV, Shin DH, Gibbs KA, Hong YJ (1988) Implantation of posterior chamber lens in the absence of capsular and zonular support. *Arch Ophthalmol* 106(3):416-20.

Jensen OM, Haamann P, Schmidt P (1995) Penetrating keratoplasty and transscleral fixation of posterior chamber lens. *Acta Ophthalmol Scand.* 73(6):551-4.

Jacobi PC, Dietlein TS, Jacobi FK (2002) Scleral fixation of secondary foldable multifocal intraocular lens implants in children and young adults. *Ophthalmology* 109:2315-2324

Jess A (1943) Operationen an der Linse des Auges. In: R. Thiel (Hrsg): *Ophthalmologische Operationslehre*, Verlag G. Thieme, Leipzig 373-380

Kahn HA, Leibowitz HM, Ganley JP, Kini MM, Colton T, Nickerson RS, Dawber TR (1977) The Framingham Eye Study. I. Outline and major prevalence findings. *Am. J. Epidemiol.* 106 (1): 17–32. PMID 879158

Kampik A, Grehn F (2001) *Augenärztliche Therapie*, Thieme, Stuttgart, ISBN 978-3-13-128411-2

Kelman CD (1967) Phaco-emulsification and aspiration. A new technique of cataract removal. A preliminary report. *Am J Ophthalmol* 64(1):23-35

Kelman CD (1994) The history and development of phacoemulsification. *Int Ophthalmol Clin.* Spring 34(2):1-12.

Kjeka O, Bohnstedt J, Meberg K, Seland JH (2008) Implantation of scleral-fixated posterior chamber intraocular lenses in adults. *Acta Ophthalmol* 86(5):537-42.

Kocak-Altintas AG, Kocak-Midillioglu I, Dengisik F, Duman S (2000) Implantation of scleral-sutured posterior chamber intraocular lenses during penetrating keratoplasty. *J Refract Surg* 16(4):456-8.

Krause L, Bechrakis NE, Heimann H, Salditt S, Foerster MH (2009) Implantation of scleral fixated sutured posterior chamber lenses: a retrospective analysis of 119 cases. *Int Ophthalmol* 29(4):207-12.

Kwong YY, Yuen HK, Lam RF, Lee VY, Rao SK, Lam DS (2007) Comparison of outcomes of primary scleral-fixated versus primary anterior chamber



intraocular lens implantation in complicated cataract surgeries. *Ophthalmology* 114(1):80-5.

Lang GK (2008) *Augenheilkunde*, 4. Auflage, Georg Thieme Verlag KG, ISBN: 9783131028358

Lanzetta P, Menchini U, Virgili G, Crovato S, Rapizzi E (1998) Scleral fixated intraocular lenses: an angiographic study. *Retina* 18(6):515-20.

Lee VY, Yuen HK, Kwok AK (2003) Comparison of outcomes of primary and secondary implantation of scleral fixated posterior chamber intraocular lens. *Br J Ophthalmol* 87(12):1459-62.

Lewis JS (1991), Ab externo sulcus fixation. *Ophthalmic Surg* 22: 692 – 695

Lewis JS (1993) Sulcus fixation without flaps. *Ophthalmology* 100(9):1346-50

Lindstrom RL, Harris WS (1984) Secondary anterior chamber lens implantation. *CLAO J*; 10:133-136

Luk AS, Young AL, Cheng LL (2013) Long-term outcome of scleral-fixated intraocular lens implantation. *Br J Ophthalmol* 97(10):1308-11.

Malbran ES, Malbran E Jr, Negri E (1986) Lens guide suture for transport fixation in secondary IOL implantation after intracapsular extraction. *Intern Ophthalmol* 9:151-160

McAllister AS, Hirst LW (2011) Visual outcomes and complications of scleral-fixated posterior chamber intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 37(7):1263-9.

McCluskey P, Harrisberg B (1994) Long-term results using scleral-fixated posterior chamber intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 20(1):34-9.

Menapace R, Findl O, Georgopoulos M, Rainer G, Vass C, Schmetterer K (2000) The capsular tension ring: designs, applications, and techniques. *J Cataract Refract Surg* 26(6):898-912.

Mimura T, Amano S, Sugiura T, Funatsu H, Yamagami S, Oshika T, Makoto A, Shuichiro E (2003) 10-year follow-up study of secondary transscleral ciliary

sulcus fixated posterior chamber intraocular lenses. *Am J Ophthalmol.* 136(5):931-3.

Mittelviehhaus H, Witschel H (1995) Transscleral suture fixation of posterior-chamber lenses after cataract extraction associated with vitreous loss. *Ger J Ophthalmol.* 4(2):80-5.

Mohr A, Hengerer F, Eckard C (2002) Retropupilläre Fixation der Irisklauenlinse bei Aphakie. *Ophthalmologie* 98: 580-583

Naumann GOH (1997) Pathologie des Auges, Kapitel 9: Linse, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.

Neely DE, Plager DA (2001): Management of ectopia lentis in children. *Ophthalmol Clin North Am* 14:493-9

Neuhann T (1987) Theorie und Operationstechnik der Kapsulorhexis. *Klein Monatsbl Augenheilkd* 190: 542-545

Omulecki W, Nawrocki J, Sempinska-Szewczyk J, Synder A (1997) Transscleral suture fixation and anterior chamber intraocular lenses implanted after removal of posteriorly dislocated crystalline lenses. *Eur J Ophthalmol* 7(4):370-4.

Oshima Y, Oida H, Kazuyuki E (1998) Transscleral fixation of acrylic intraocular lenses in the absence of capsular support through 3.5mm self-sealing incisions. *J Cataract Refract Surg* 24:1223-1229

Perez-Santonja JJ, Iradier MT, Benitez del Castillo JM, Serrano JM, Zato MA (1996) Chronic subclinical inflammation in aphakic eyes with intraocular lenses to correct myopia. *J Cataract Refract Surg* 22:183-187

Por YM, Lavin MJ (2005) Techniques of intraocular lens suspension in the absence of capsular/zonular support. *Surv Ophthalmol* 50(5):429-62.

Rao SK, Parikh S, Padhmanabhan P (1998): Isolated posterior capsule rupture in blunt trauma: pathogenesis and management. *Ophthalmic Surg Lasers* 29:338-42

Regillo CD, Tidwell J (1996) A small-incision technique for suturing a posterior chamber intraocular lens. *Ophthalmic Surg Lasers* 27:473-475

Sawada T, Kimura W, Kimura T, Suga H, Ohte A, Yamanishi S, Ohara T (1998) Long-term follow-up of primary anterior chamber intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 24(11):1515-20.

Scharioth GB, Prasad S, Georgalas I, Tataru C, Pavlidis M (2010) Intermediate results of sutureless intrascleral posterior chamber intraocular lens fixation. *J Cataract Refract Surg* 36(2):254-980.

Seki M, Yamamoto S, Abe H, Fukuchi T (2013) Modified ab externo method for introducing 2 polypropylene loops for scleral suture fixation of intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 39(9):1291-6.

Sharma N, Dada T, Gupta V, Kumar A, Dada VK (2001) Vajpayee RB, Management of posterior capsule tears. *Surv Ophthalmol* 45:473-88

Smiddy WE, Sawusch MR, O'Brien TP, Scott DR, Huang SS (1990) Implantation of scleral-fixated posterior chamber intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 16(6):691-6.

Solomon K, Gussler JR, Gussler C, Van Meter WS (1993) Incidence and management of complications of transsclerally sutured posterior chamber lenses. *J Cataract Refract Surg* 19(4):488-93.

Sperduto RD, Seigel D (Jul 1980) "Senile lens and senile macular changes in a population-based sample". *Am. J. Ophthalmol.* 90 (1): 86–91. doi:10.1016/s0002-9394(14)75081-0

Szurman P, Petermeier K, Jaissle GB, Spitzer MS, Bartz-Schmidt KU (2006) Injektorimplantation sklerafixierter Faltlinsen. *Ophthalmologe* 103(12) 1020–1026

Szurman P, Petermeier K, Aisenbrey S, Spitzer MS, Jaissle GB (2010) Z-suture: a new knotless technique for transscleral suture fixation of intraocular implants. *Br J Ophthalmol* 94(2):167-9.

Szurman P und Gekeler F (2014) Sekundäre Intraokularlinsen-implantation von Sklera-naht-fixierten Intraokularlinsen, *Ophthalmologe* 111:217-223

Thomas R (1998) Posterior capsule rupture after blunt trauma. *J Cataract Refract Surg* 24:283-4

Uthoff D, Teichmann KD (1998) Secondary implantation of scleral-fixated intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 24(7):945-50.

Vajpayee RB, Angra SK, Honavar SG, Titiyal JS, Sharma YR, Sakhuja N (1994) Pre-existing posterior capsule breaks from perforating ocular injuries. *J Cataract Refract Surg* 20:291-4

Van der Schaft TL, Van Rij G, Reanardel de Lavalette JGC, Beekhuis WH (1989) Results of penetrating keratoplasty for pseudophakic bullous keratopathy with the exchange of an intraocular lens. *Br J Ophthalmol* 73: 704-708

Vote BJ, Tranos P, Bunce C, Charteris DG, Da Cruz L (2006) Long-term outcome of combined pars plana vitrectomy and scleral fixated sutured posterior chamber intraocular lens implantation. *Am J Ophthalmol* 141(2):308-12

Wagoner MD, Cox TA, Ariyasu RG, Jacobs DS, Karp CL (2003) Intraocular lens implantation in the absence of capsular support: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology* 110(4):840-59.

Weene LE (1993) Flexible open-loop anterior chamber intraocular lens implants. *Ophthalmology* 100(11):1636-9.

Wenzel M, Clasen U (1989) Die Bedeutung Wiens für die Entwicklung und Verbreitung der Kataraktextraktion um 1800. In: Freyler H, Skorpik Ch, Grasl M: Kongressband 3. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Intraokularlinsen Implantation (DGII) in Wien, Springer Verlag, Wien, New York 15-23

Wenzel M, Ohrloff C, Duncker D (1997): Zum derzeitigen Stand der Katarakt und refraktiven Hornhautchirurgie – Ergebnisse der Umfrage der DGII 1996. In: Ohrloff C, Kohnen Th, Duncker G (Hrsg): 11. Kongress der deutschsprachigen

Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation und Refraktive Chirurgie (DGII) in Frankfurt. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 15-20

Yadav NK, Kemmanu V, Bhargava M, Shetty B (2012) A truly knotless technique for scleral fixation of intraocular lenses: two-year results. Indian J Ophthalmol 60(2):147-8.

Zuberbühler B, Haefliger E, Menapace R, Neuhann T (2008) Kataraktchirurgie, Springer Medizin Verlag Heidelberg, ISBN 978-3-54079943-6

### **Internetquelle**

American Academy of Ophthalmology (2011) Eye Health Statistics at a Glance. URL:<http://www.aao.org/newsroom/upload/Eye-Health-Statistics-April-2011.pdf> (19.09.18, 14:30)

## **7. Abkürzungen**

AIS	Arzt-Informations-Systems
BCVA	Bestkorrigierte Sehschärfe
CMÖ	Cystoides Makulaödem
ECCE	Extrakapsuläre Kataraktextraktion
FZ	Fingerzählen
HBW	Handbewegungen
HKL	Hinterkammerlinse
HKLs	Hinterkammerlinsen
ICCE	Intrakapsuläre Kataraktextraktion
IOL	Intraokularlinse
IOLs	Intraokularlinsen
LSW	Lichtscheinwahrnehmung
OCT	Optische Coherence Tomography
OP	Operation
PEX	Pseudoexfoliation
PMMA	Polymethylmetacrylat
UGH	Uveitis-Glaukom-Hyphäma
VKL	Vorderkammerlinse
VKLs	Vorderkammerlinsen

## **8. Danksagung**

Meinem Doktorvater und ärztlichen Direktor der Universitätsaugenklinik Hamburg-Eppendorf, Herrn Prof. Dr. med. M. Spitzer danke ich ganz besonders für die hervorragende Betreuung während der gesamten Arbeit und für die Möglichkeit in seiner Abteilung diese Dissertation anzufertigen.

Den ärztlichen Direktor der Universitätsaugenklinik Tübingen Herrn Prof. Dr. med. K.-U.-Bartz-Schmidt danke ich besonders für die Erlaubnis Daten aus seiner Abteilung für diese Arbeit zu verwenden.

Meinem Bruder Dr. med. S. Dimopoulos und Herrn PD Dr.med. B. Voykov aus der Universitätsaugenklinik Tübingen danke ich ganz herzlich für die Zusammenarbeit in dieser Studie und für die wertvollen Ratschläge für das Gelingen der Arbeit.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. med G. Blumenstock vom Institut für Medizinische Biometrie der Universität Tübingen für die statistische Betreuung. Vielmals danke ich meine Frau Maria, für ihre wertvolle Hilfe und ihre Unterstützung zur Schaffung der Abbildungen.

Sehr herzlich bedanken möchte ich mich auch bei meinen Eltern und meinen Geschwistern, die mich jederzeit unterstützten und mir mit Rat und Tat zur Seite standen.

## **9. Lebenslauf**

**„Lebenslauf entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen“**



**„Lebenslauf entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen“**

## **10. Eidesstattliche Versicherung**

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift:

