

Aus der Klinik für Augenheilkunde  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Endothelzellzahlverlust nach retropupillärer Fixation der Irisklauenlinse und Vergleich  
mit der Literatur

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Frau Shaghayegh Khalili Amiri

aus Teheran

Datum der Promotion: 04.03.2022

## **Vorwort:**

Teile der Monographie wurden bereits nachfolgend veröffentlicht.

Gonnermann J, Amiri S, Klamann M, Maier AK, Jousen AM, Rieck PW, Torun N, Bertelmann E. Endothelzellverlust nach retropupillar fixierter Irisklauen-Linse [Endothelial cell loss after retropupillary iris-claw intraocular lens implantation]. Klin Monbl Augenheilkd. 2014 Aug;231(8):784-7. German. doi: 10.1055/s-0034-1368453. Epub 2014 Jul 3. PMID: 24992236.

Beitrag im Einzelnen:

- Die Ausarbeitung der Studie erfolgte gemeinsam mit PD Dr. Johannes Gonnermann
- Einbindung von Frau Shaghayegh Khalili Amiri in der praktischen Umsetzung und Erhebung der Daten und die Durchführung von Telefonscreening, sowie Organisation und Koordination der Vor- und Nachuntersuchungen
- Durchführung der Erstgespräche und Studienaufklärung
- Wesentlicher Anteil an der Auswertung der erhobenen Daten
- Zur Bearbeitung der Fragestellung erfolgte durch Frau Shaghayegh Khalili Amiri die nachfolgende Untersuchung und Bestimmung:
  - I) Endothelzelldichtemessung
  - II) Visusbestimmung
  - III) Bestimmung der Refraktion
  - IV) Bestimmung des Augeninnendruckes
  - V) Durchführung der Spaltlampenuntersuchung
  - VI) Durchführung der Funduskopie

Die nachfolgenden Abbildungen und Tabellen wurden ferner durch Frau Shaghayegh Khalili Amiri erstellt: Abb.2,7-20, Tab. 1-4.

Für die Originalabbildungen: Abb. 1,3-6 liegen Genehmigungen vor, diese verwenden zu dürfen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG / ABSTRACT</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>EINLEITUNG / FRAGESTELLUNG</b>	<b>11</b>
2.1.	Allgemeine Anatomie und Physiologie der Hornhaut	11
2.2.	Messung der Endothelzelldichte	13
2.3.	Anatomie und Physiologie der Augenlinse	13
2.4.	Katarakt	14
2.4.1.	Definition des Kataraktes	14
2.4.2.	Einteilung der Kataraktformen	15
2.4.3.	Allgemeine Ansätze zur Behandlung eines Kataraktes und deren Vor- und Nachteile	15
2.4.3.1	Operative Möglichkeiten eines Kataraktes	15
2.4.3.2.	Intrakapsuläre Kataraktextraktion (ICCE)	16
2.4.3.3.	Extrakapsuläre Kataraktextraktion (ECCE)	16
2.4.3.4.	Extrakapsuläre Kataraktextraktion anhand Phakoemulsifikation	16
2.5.	Viskoelastische Substanzen (OVD)	17
2.6.	Ursachen der Aphakie und Linsendislokationen	17
2.6.1.	Aphakie	17
2.6.2.	Kongenitale Aphakie	17
2.6.3.	Erworbene Aphakie	17
2.6.4.	Linsendislokation	18
2.7.	Intraokularlinsen (IOL)	20
2.7.1.	Geschichtlicher Überblick der Intraokularlinsen	20
2.7.2.	Aufbau der Intraokularlinsen	22
2.7.3.	Geschichte und Besonderheiten der Irisklauenlinse (IKL) und der retropupillären Implantation	22
2.8.	Fragestellung	24
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODIK</b>	<b>25</b>
3.1.	Patientenpopulation	25
3.2.	Datenerhebung	25
3.3.	Einschluss- und Ausschlusskriterien	26

3.4.	Augenuntersuchung	26
3.5.	Verwendete Intraokular Linse (IOL)	27
3.6.	Angewandte Operationstechnik	27
3.7.	Statistische Auswertung	27
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>28</b>
4.1.	Allgemeine Datenerhebung	28
4.2.	Endothelzellzahlveränderung prä- und postoperativ	32
4.3.	Auswertung des sphärischen Äquivalentes	33
4.4.	Bestimmung des prä- und postoperativen subjektiven Zylinders	34
4.5.	Visusbestimmung prä- und postoperativ	35
4.6.	Mittlerer bestkorrigierter Fernvisus (BCVA)	36
4.7.	Bestimmung des Augeninnendruckes	37
4.8.	Komplikationen	39
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>40</b>
5.1.	Extraokuläre Korrekturmöglichkeiten bei fehlendem/insuffizientem Halteapparat	40
5.2.	Sulkusfixation	41
5.3.	Vorderkammerfixation	41
5.4.	Kammerwinkelgestützte VKL	41
5.5.	Irisfixierte Linse und Irisklauenlinse nach Worst	42
5.6.	Hinterkammerfixation	43
5.7.	Sklerale Fixationstechniken	43
5.7.1.	Transsklerale Nahtfixation	43
5.7.2.	Intrasklerale Fixation	44
5.7.3.	Irisnahtfixation	45
5.8.	Retropupilläre Fixation der Irisklauenlinse	46
5.9.	Endothelzeldichte	47
5.10.	Augeninnendruck	49
5.11.	Mittlerer bestkorrigierter Fernvisus (BCVA)	50
5.12.	Subjektiver Zylinder	51
5.13.	Sphärisches Äquivalent	52

5.14.	Komplikationen	53
<b>6.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>55</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>57</b>
<b>8.</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung / Anteilserklärung</b>	<b>64</b>
<b>9.</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>66</b>
<b>10.</b>	<b>Publikationsliste</b>	<b>67</b>
<b>11.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>67</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ATPase	Adenosintriphosphatase
BCVA	Best Corrected Visual Acuity
BSS	Balanced Salt Solution
bzw.	Beziehungsweise
ca.	Circa
CIA	Chirurgisch induzierter Astigmatismus
Dpt	Dioptrie
ECCE	Extrakapsuläre Kataraktextraktion
HKL	Hinterkammerlinse
IKL	Irisklauenlinse
IOL	Intraokularlinse
IOD	Augeninnendruck
ICCE	Intrakapsuläre Kataraktextraktion
K <sup>+</sup>	Kalium
LogMAR	Logarithm of Minimal Angle of Resolution
µm	Mikrometer
mm	Millimeter
mm <sup>2</sup>	Quadratmillimeter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mg	Milligramm
n	Anzahl
Na <sup>+</sup>	Natrium
nm	Nanometer
OVD	Ocular viscosurgical devices
PEX-Syndrom	Pseudoexfoliations-Syndrom
PMMA	Polymethylmethacrylat
SE	Sphärisches Äquivalent
sog.	sogenannt
Tab.	Tabelle
u.a.	Unter anderem
UGH-Syndrom	Uveitis-Glaukom-Hyphäma-Syndrom
ULIB	User Group for Laser Interference Biometry

UV-Filter	Ultraviolettes Licht-Filter
VKL	Vorderkammerlinse
z.B.	Zum Beispiel
Z.n.	Zustand nach

### **Abbildungsverzeichnis:**

- Abb. 1: Histologischer Ausschnitt der Hornhaut
- Abb. 2: Spiegelmikroskopie: A) Physiologisches korneales Endothel); B) Kornea Guttata mit deutlichem Verlust von Endothel, Abb. aus eigenem Patientenkollektiv
- Abb. 3: Querschnitt der menschlichen kristallinen Linse
- Abb. 4: Linsensubluxation bei Marfan-Syndrom
- Abb. 5: Pseudoexfoliations-Syndrom; A) grau-weißliche Ablagerungen auf der Linse und um den Pupillarsaum  
B) Linsendislokation nach unten durch schwache und geschädigte Zonulafasern
- Abb. 6: Artisan<sup>®</sup> / Verisyse<sup>®</sup> Linse
- Abb. 7: Geschlechterverteilung des Gesamt-Patienten-Kollektivs
- Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der betroffenen Augen
- Abb. 9: Verteilung der Linsenpathologie präoperativ
- Abb. 10: Endothelzahl prä- und postoperativ gesamt
- Abb. 11: Endothelzahl nach Altersgruppen. In der Gruppe der Patienten unter 65 Jahren betrug die Anzahl des Endothelzahlverlustes 3,8 % und in der Gruppe der 65-jährigen und älter 8,4 %.
- Abb. 12: Sphärisches Äquivalent aller Patienten vor und nach Irisklauenlinsen Implantation im Mittelwert
- Abb. 13: Sphärisches Äquivalent prä- und postoperativ nach Irisklauenlinsen Implantation nach Altersgruppen
- Abb. 14: Subjektiver Zylinder prä- und postoperative Veränderung in der gesamten Gruppe
- Abb. 15: Subjektiver Zylinder prä- und postoperative Veränderung nach Altersgruppen

- Abb. 16: Postoperativer Visuszeilengewinn der Gesamtgruppe
- Abb. 17: Mittlerer bestkorrigierter Fernvisus (logMAR); Durchschnitt prä- und postoperativ aller untersuchten Augen
- Abb. 18: Mittlerer bestkorrigierter Fernvisus (logMAR); Durchschnitt aller untersuchten Augen entsprechend der Altersgruppen
- Abb. 19: Durchschnittlicher Augeninnendruck (mmHg) aller Augen prä- und postoperativ
- Abb. 20: Durchschnittlicher Augeninnendruck (mmHg) aller Augen prä- und postoperativ nach den Altersgruppen aufgeteilt

### **Tabellenverzeichnis:**

- Tab. 1: Verteilung der betroffenen Augen gemäß Alter und Geschlecht
- Tab. 2: Indikationen zur primären, sekundären Irisklauenlinsen Implantation (IKL) bzw. IOL Austausch bei IOL Dislokation und Vorliegen eines inadäquaten Kapselsackhalteapparates durch IKL
- Tab. 3: Nachweis von präoperativen Irisdefekten in Abhängigkeit der Linsenpathologie
- Tab. 4: Art und Zahl der postoperativ dokumentierten Komplikationen

## **1. Zusammenfassung / Abstract**

**Fragestellung:** Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Indikationsstellung der Anwendung der retropupillar fixierten Irisklauenlinse sowie das visuelle und refraktive Ergebnis verglichen. Ferner wurde die Zahl des Endothelzellverlustes, wie auch die Komplikationsrate nach Linsenimplantation untersucht.

**Patienten und Methoden:** Im Rahmen einer retrospektiven Datenerhebung wurden jene Patienten in einem Zeitraum von 2006-2012 eingeschlossen, bei denen aufgrund einer Aphakie, Phakie oder Pseudophakie eine Irisklauenlinse bei fehlendem adäquaten Kapselsackhalteapparat retropupillar fixiert wurden. Implantiert wurde eine retropupillar-fixierte Verisyse™/Artisan®. Die statistische Auswertung erfolgte mit GraphPad Prism 8 for MacOS. Verwendet wurde bei parametrischen Daten der t-Test, bei nichtparametrischen Daten wurde der Mann-Whitney Test angewendet. Als Signifikanzniveau wurde  $p \leq 0,05$  festgelegt.

**Ergebnisse:** Mit einem mittleren Nachbeobachtungszeitraum von 34 Monaten (13-78 Monaten) wurden insgesamt 62 Augen von 56 Patienten eingeschlossen. Die Implantation einer primären Irisklauenlinse erfolgte bei 11/62 (17,7 %) phaken Augen. Die Implantation einer sekundären IOL erfolgte bei 17/62 aphaken Augen (27,4 %). In 34/62 Fällen (54,8 %) lagen pseudophaken Augen vor und ein IOL-Austausch wurde durchgeführt. Es zeigt sich, dass der BCVA („best corrected visual acuity“) von präoperativ  $0,61 \pm 0,65$  logMar auf postoperativ  $0,25 \pm 0,46$  logMar signifikant anstieg ( $p < 0,001$ ). Die mittlere zentrale Endothelzellzahldichte sank von präoperativ  $1844 \pm 690$  Zellen/mm<sup>2</sup> auf postoperativ  $1743 \pm 721$  Zellen/mm<sup>2</sup>. Hier lag statistisch gesehen kein Unterschied vor. Das mittlere sphärische Äquivalent (SE) konnte von präoperativ  $+5,04 \pm 7,25$  Dioptrien (dpt) (Spannbreite: -10,25 bis +16,0 dpt) auf postoperativ  $-0,21 \pm 1,01$  dpt (Spannbreite: -4,0 bis +3,0 dpt) deutlich verbessert werden.

Mit 6,4 % (4 Augen) trat als Komplikation das zystoide Makulaödem am häufigsten auf. Gefolgt wurde dies in jeweils 2 Augen (3,2 %) von einer passageren und früh postoperativen Hypotonie, einer querovalen Pupillenverziehung und einer traumatischen Deenklavation. In einem Auge (1,6 %) wurde als Komplikation eine spontane Deenklavation einer Haptik dokumentiert.

**Schlussfolgerung:** Mit dem Einsatz der retropupillar fixierten Irisklauenlinse können gute refraktive und visuelle Ergebnisse erzielt werden. Insgesamt ist die Implantation der Linse an Augen ohne einen ausreichenden Kapselsackapparat komplikationsarm und es zeigt sich eine stabile mittlere Endothelzellzahldichte prä- und postoperativ.

## **Abstract**

**Background:** Within the scope of this work, the indication of use of the retropupillary fixed iris claw lens, as well as the visual and refractive results, were analyzed. Furthermore, the number of endothelial cell loss and the complication rate after lens implantation, were determined.

**Patients and Methods:** In the framework of a retrospective data analysis, patients in whom an iris claw lens was fixed in a retropupillary manner due to aphakia, phakia or pseudophakia in the absence of an adequate capsular bag holding device were included in a period from 2006 to 2012. The devices implanted includes retropupillary-fixed Verisyse™ / Artisan®. The statistical analysis was carried out with GraphPad Prism 8 for MacOS. The t-test was used for the parametric test, and the Mann-Whitney test for non-parametric data. The level of significance was set at  $p \leq 0,05$ .

**Results:** With a mean follow-up period of 34 months (13-78 months), a total of 62 eyes from 56 patients were included in this study. A primary iris claw lens was implanted in 11/62 (17,7 %) phakic eyes. A secondary IOL was implanted in 17/62 aphakic eyes (27,4 %). Pseudophakic eyes were present in 34/62 eyes (54,8 %) and an IOL exchange was performed. It was shown that the BCVA ("best corrected visual acuity") increased significantly from preoperatively  $0,61 \pm 0,65$  logMar to postoperatively  $0,25 \pm 0,46$  logMar ( $p < 0,001$ ). The mean central endothelial count density did not decrease significantly from preoperatively  $1844 \pm 690$  cells /  $\text{mm}^2$  to postoperatively  $1743 \pm 721$  cells /  $\text{mm}^2$ . The mean spherical equivalent (SE) was shown to alter from preoperatively  $+5,04 \pm 7,25$  diopters (D) (range: -10,25 to +16,0 D) to postoperatively  $-0,21 \pm 1,01$  D (range: - 4,0 to +3,0 D) can be significantly improved.

Cystoid macular edema was the most common complication with 6,4 % (4 eyes). This was observed in 2 eyes (3,2 %) by temporary and early postoperative hypotension, transverse oval pupillary distortion and traumatic disenclavation. In one eye (1,6 %), a spontaneous disenclavation of a haptic was documented as a complication.

**Conclusion:** With the use of the retropupillary fixed iris claw lens, favorable refractive and visual results can be achieved. Overall, the implantation of the lens in eyes without a sufficient capsular bag apparatus results in low complications and a stable mean endothelial cell count is shown pre- and postoperatively.

## 2. Einleitung

### 2.1. Allgemeine Anatomie und Physiologie der Hornhaut

Mit einem Durchmesser von rund 11,7 mm horizontal und 12 mm vertikal sowie einer zentralen Dicke von durchschnittlich 550  $\mu\text{m}$  ist die Hornhaut oder auch Kornea für fast zwei Drittel (40-45 Dioptrien) der gesamten Brechkraft des Auges verantwortlich (1, 2).

Aufgebaut ist die Hornhaut aus sechs Schichten (Abb. 1). Das Epithel bildet die oberflächlichste Schicht und wird von der Bowman-Schicht gefolgt. Hiernach folgen das Stroma und die Dua-Schicht, anschließend kommt die Descemet-Membran und zuletzt wird die Hornhaut vom Endothel ausgekleidet.

Da die Kornea avaskulär ist, wird diese durch das Kammerwasser hydriert und durch gelöste Stoffe durch Diffusion ernährt.



Abb. 1: Histologischer Ausschnitt der Hornhaut; modifiziert aus (3)

### Epithel

Das Epithel ist sechslagig aufgebaut. Während die ersten beiden oberflächlichen Schichten aus Platten- und nicht keratinisierten, kernhaltigen Epithelzellen bestehen und rund 50-90  $\mu\text{m}$  dick sind (1), bestehen die folgenden vier bis fünf Epithelschichten aus polygonalen Zellen. Die letzte und tiefste Schicht besteht aus 10-15  $\mu\text{m}$  großen Basalzellen, welche auf der Basalmembran ausgerichtet sind.

### **Bowman-Schicht**

Unterhalb der Basalmembran und direkt an diese haftend, findet sich die Bowman-Schicht, welche rund 12 µm dick ist. Sie ist reich an Proteoglykanen und Kollagenfibrillen und spielt eine wesentliche Funktion zur Erhaltung der Epithelstruktur. (2, 4).

### **Stroma**

Das Stroma bildet rund 90 % der Hornhautdicke und ist rund 400-500 µm dick (1). Aufgrund einer präzisen Ausrichtung der parallel angeordneten Kollagenfibrillen und den dazwischenliegenden Keratozyten und Proteoglykanen ist das Stroma transparent (5).

### **Dua Schicht**

2013 wurde eine weitere Schicht von Dua et al. in der Hornhaut zwischen dem Stroma und der Descemet-Membran beschrieben. Diese azelluläre Schicht besteht ausschließlich aus Kollagen Typ I und misst rund 15 µm. Es wird davon ausgegangen, dass diese Schicht in Zukunft weitere Erkenntnisse im Bereich der hinteren Hornhautpathologien, wie z. B. dem akuten Hydrops schaffen wird (6).

### **Descemet-Membran**

Unter der Descemet Membran versteht man auch die Basalmembran des kornealen Endothels. Während sie bei Säuglingen rund 3 µm misst, kann sie bei Erwachsenen bis zu 10 µm dick werden. Hauptkollagenbestandteil dieser Schicht ist Kollagen Typ IV.

### **Endothel**

Das einschichtige Endothel kleidet die Kornea von innen aus. Es besteht sowohl aus hexagonalen als auch aus quaderförmigen Zellen und bewahrt unter anderem die Hornhauttransparenz aufrecht (1, 2). Dies geschieht durch einen aktiven Ionen-Transport System, welcher sich in der Zellmembran der Endothelzellen befinden und durch die temperaturabhängigen Enzyme wie z.B. die Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> - ATPase gesteuert wird (2).

Die Endothelzellzahl liegt direkt nach der Geburt am höchsten und misst rund 4000-5000 Zellen/mm<sup>2</sup> (7, 8). Ab diesem Zeitpunkt geht pro Jahr durchschnittlich 0,3-0,6 % des Endothels verloren (7-9). Während bei einem 40-Jährigen die durchschnittliche

Endothelzellzahl bei rund 3000 Zellen/mm<sup>2</sup> liegt, sinkt die Endothelzellichte bei einem 70-Jährigen auf ca. 2000 Zellen/mm<sup>2</sup> (8). Der alters-, aber auch der traumatisch bedingte Verlust an Endothelzellen kann durch das vorhandene Endothel kompensiert werden. Bei diesem Prozess kommt es zu einer Formvergrößerung (Polymegatismus) sowie eine Strukturveränderung (Pleomorphismus) der typischen hexagonalen Gestalt des Endothels. Ab einer Zellzahl von unter 500 Zellen/mm<sup>2</sup> reicht dieser Mechanismus nicht mehr aus und somit dekomponiert die Hornhaut. Die Hornhaut wird irreversibel trüb und führt zu Sehbeeinträchtigungen (10).

## 2.2. Messung der Endothelzellichte

Die Endothelzellichte kann mittels konfokaler Mikroskopie oder Spiegelmikroskopie bestimmt werden, wobei die Untersuchung mit konfokaler Mikroskopie weitere Informationen aller Hornhautschichten liefern kann (Abb. 2).

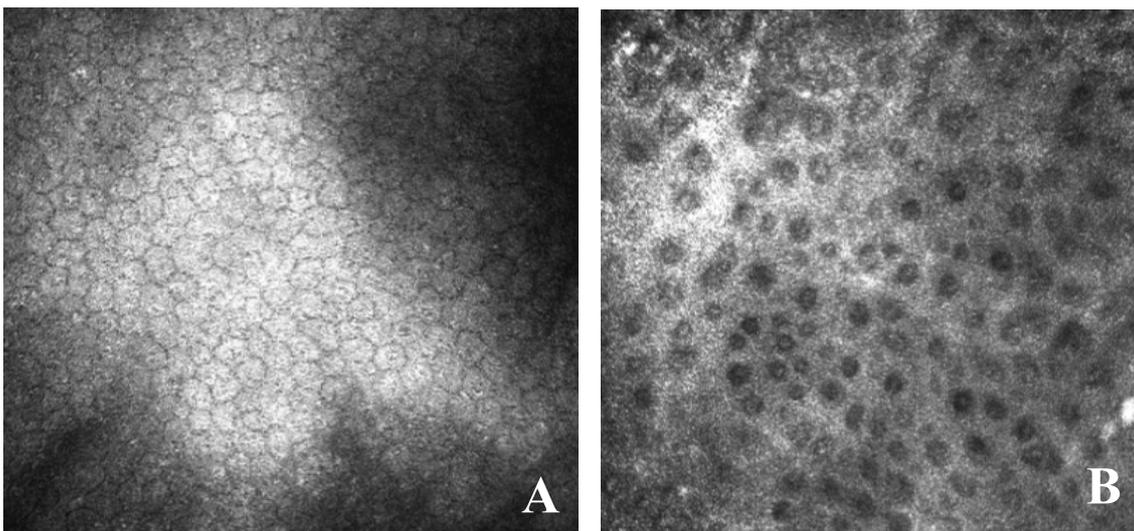


Abb. 2: Spiegelmikroskopie: A) Physiologisches korneales Endothel); B) Kornea Guttata mit deutlichem Verlust von Endothel

## 2.3. Anatomie und Physiologie der Augenlinse

Die Linse liegt in der Hinterkammer des Auges. Sie ist transparent und zeigt eine asymmetrische, bikonvexe Struktur (Abb. 3). Sie besitzt einen Durchmesser von rund 5 mm und zeigt eine Breite von 3,5-4 mm. Die Linse wiegt bei der Geburt 90 mg und wächst kontinuierlich in den ersten beiden Lebensjahrzehnten radiär entlang seines Äquators (11). Die Linse leistet 20 dpt und besitzt somit rund ein Drittel der Brechkraft des Auges. Das einfallende Licht wird durch die Linse fokussiert und auf der Netzhaut abgebildet (12). Ferner spielt sie neben dem Ziliarkörper eine wesentliche Rolle bei

der Akkommodation (13). Wird der Krümmungsradius der Linse durch Zu- und Abnahme der Linseneigenelastizität geändert, wird hierdurch auch ihre Brechkraft verändert. So können fixierte Objekte auch aus der Entfernung scharf auf der Netzhaut abgebildet werden (12, 13).

Die Ernährung der avaskulären Linse erfolgt ausschließlich per Diffusion über Ionenkanäle und Transportsysteme zwischen dem Kammerwasser des Glaskörpers und der Linse (14, 15). Sie besteht überwiegend aus Wasser, Proteine (alpha-, beta- und gamma- Kristalline) und Enzyme. Die Linse enthält eine hohe Konzentration an Ascorbinsäure und Gluthationen, mit deren Hilfe die oxidative Wirkung von Licht gehemmt wird (16, 17). Durch die Zonulafasern, welche aus dem Ziliarkörper in die vordere und hintere Linsen kapsel hereinragen, ist die Linse am Ziliarkörper befestigt (18).

Für das lebenslange Wachstum der Linse ist das einschichtige Linsenepithel am Äquator verantwortlich. Dieses ist mitosefähig und bildet die Linsenfasern aus, welche sich zwiebelschalenartig um die vorbestehenden Fasern legen. Da diesen Fasern zelluläre Strukturen wie ein Zellkern oder Ribosomen fehlen, wird das einfallende Licht nicht absorbiert bzw. kann auch nicht artifiziell gestreut werden.

Mit der Zeit verdichten sich die Linsenfasern und der Linsenkern wird größer und härter. Die Linsenzellen gehen nicht verloren und so sammeln sich die verformten älteren Linsenfasern im Zentrum der Linse. Während die primären Linsenfasern des Linsenkernes aus der embryonalen/fetalen Zeit stammen, entwickelt sich die Rinde aus den sekundären Linsenfasern des infantilen und dem adulten Zellkern (19-21).

Durch das stetige Wachstum der Linse und der Konzentration der neugebildeten Linsenfasern, kommt es zu einer Umstellung der Epithelstruktur (22). Es handelt sich hierbei um eine altersbedingte Veränderung, wodurch sich die Linsentransparenz, wie aber auch ihr Brechungsindex und ihre Akkommodationsfähigkeit verändert. Hieraus resultiert die Katarakt mit reduzierter Sehschärfe, Blendempfindlichkeit, reduzierter Kontrastwahrnehmung, Farbsehstörung und der sogenannten Alterssichtigkeit (18, 23).

## **2.4. Katarakt**

### **2.4.1. Definition des Kataraktes**

Übersetzt aus dem altgriechischen bedeutet Katarakt Wasserfall (24). Früher bestand

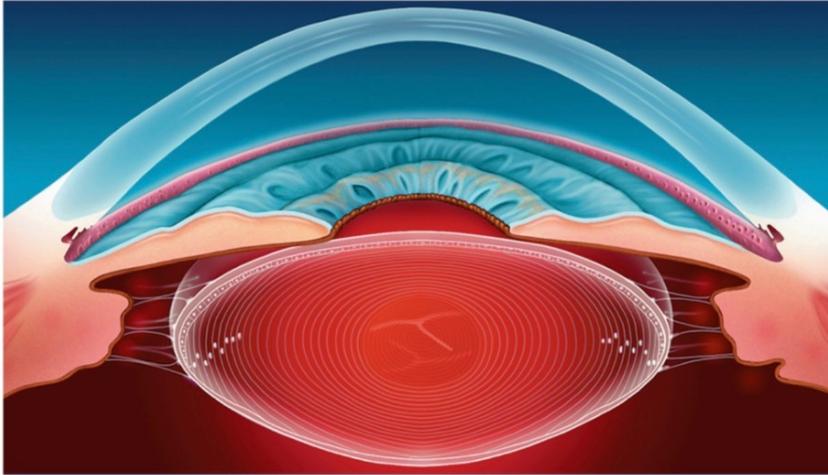


Abb. 3 Querschnitt der menschlichen kristallinen Linse (25)

die Vorstellung, dass die Pupille das Fenster zum Gehirn darstellt und es sich bei dem Katarakt um geronnene Flüssigkeit kommend vom Gehirn handelt (26). Katarakt oder auch als Synonym Grauer Star genannt ist der schleichende Transparenzverlust der Linse, welcher durch Veränderungen der Proteinstruktur verursacht wird und dies zu einer Reduzierung des Sehvermögens führt (18, 27). Rund 95 Millionen Menschen leiden weltweit an einem Katarakt und es gilt als Haupterblindungsgrund speziell in der Dritten Welt. (18)

#### **2.4.2. Einteilung der Kataraktformen**

Die Unterteilung der verschiedenen Kataraktformen richtet sich zum einen nach dem Zeitpunkt des Auftretens. Die Cataracta congenitalis liegt schon zur Geburt vor und kann z. B. durch vaskuläre Fehlbildungen oder durch intrauterine Infektionen auftreten. Die Katarakt kann aber auch erworben sein, am häufigsten ist hierbei die Cataracta senilis, welche sich auch nach Reifegrad unterscheiden lässt, zu nennen.

#### **2.4.3. Allgemeine Ansätze zur Behandlung eines Kataraktes und deren Vor- und Nachteile**

##### **2.4.3.1. Operative Möglichkeiten eines Kataraktes**

Um die Sehkraft zu verbessern, ist eine Operation die einzige etablierte und zuverlässige Therapie zur Behandlung eines Kataraktes. Verschiedene Techniken sind hierzu beschrieben, jedoch sind sie alle in einem Punkt gleich: Die getrübte natürliche Linse wird durch ein optisches Hilfsmittel (Intraokularlinse, Kontaktlinse oder eine Brille) ersetzt. Hierzu gibt es zwei Operationstechniken. Unterschieden wird

zwischen einer intrakapsuläre Kataraktextraktion (ICCE) und einer extrakapsulären (ECCE).

#### **2.4.3.2. Intrakapsuläre Kataraktextraktion (ICCE)**

Hierbei wird eine ausreichend große Inzision an der Zirkumferenz der Kornea im Bereich des Limbus durchgeführt. Die Linse wird samt seiner Kapsel mit einer Kältesonde angefroren und aus dem Auge entfernt (Kryoextraktion) (28). Eine Zonulolyse zur unkomplizierten Entfernung der Linse erfolgt im Vorfeld durch das Enzym alpha-Chymotrypsin (29). Die ICCE wird noch heute bei Fehlen der Zonulafasern oder bei Vorliegen einer Instabilität angewendet (30).

#### **2.4.3.3. Extrakapsuläre Kataraktextraktion (ECCE)**

Hierbei wird die Inzision an der (Korneo-)Skleralen Grenze gesetzt. Durch die Injektion einer viskoelastischen Substanz in die Augenvorderkammer wird sowohl diese stabilisiert als auch das Hornhautendothel für die spätere Kapsulorhexis geschützt. Mittels einer Mikropinzette wird das vordere Blatt der Linsenkapsel radiär eröffnet. Zunächst erfolgt die Trennung des Linsenkerns und der Linsenrinde von der Linsenkapsel durch eine Hydrodissektion durch Injektion einer BSS Lösung (balanced salt solution). Anschließend erfolgt die Extraktion der Linse über die durchgeführte Inzision und mit Hilfe von Saug- und Spülkanülen werden die Linsenreste abschließend entfernt. Um einen Nachstar zu verhindern muss zusätzlich das auf dem hinteren Linsenkapselblatt sitzende Linsenepithel poliert werden. Zuletzt wird die künstliche Intraokularlinse (IOL) im Rahmen dieser Technik in die Hinterkammer eingesetzt (30, 31).

#### **2.4.3.4. Extrakapsuläre Kataraktextraktion anhand Phakoemulsifikation**

Die Kataraktchirurgie hat mit der Einführung der Phakoemulsifikation durch Charles Klemm 1967 eine große Wende erlebt (32). Hierbei wird durch Ultraschallenergie der Linsenkern verflüssigt und zertrümmert.

Der Vorteil liegt darin, dass durch die sogenannten Tunnelinzision ein deutlich kürzerer limbaler Schnitt von ca. 2-3 mm gewählt werden kann. Die folgenden Operationsschritte sind bis zur Kapsulorhexis identisch zur beschriebenen ECCE Technik. Danach wird bei dieser Technik durch Einführen eines Phaco-Tip die Linse

emulsifiziert und anschließend abgesaugt. Nach Polieren des hinteren Linsenkapselblattes kann die künstliche Intraokularlinse eingesetzt werden.

## **2.5. Viskoelastische Substanzen (OVD)**

Viskoelastische Substanzen (*ophthalmic viscosurgical devices*, kurz OVD) werden immer mehr in der Vorderabschnittschirurgie eingesetzt. Sie dienen während der Kataraktchirurgie als Schutz und Transparenz der Kornea, sowie zur Aufrechterhaltung der Vorderkammer und des Kapselsackes. Diese Biopolymere können in kohäsive, dispersive und adaptative OVD's unterteilt werden. Kohäsive OVD's haben durch ihre Viskosität und ihrem hohem Molekulargewicht die Fähigkeit zum inneren Zusammenhalt. Durch ihre Anwendung stabilisieren sie die intraokulären Räume der Vorderkammer, während eine Kapsulorhexis durchgeführt wird. Dispersive OVD's schützen vor allem das Hornhautendothel vor mechanischen Beeinträchtigungen aufgrund ihrer großen Oberflächenanhaftung, wodurch eine Schutzschicht gebildet wird. Die adaptiven OVD's sind eine Kombination aus kohäsiven und dispersiven OVD's, wobei ihre Wiederentfernung aus dem Auge sich oft als schwierig gestaltet (31).

## **2.6. Ursachen der Aphakie und Linsendislokationen**

### **2.6.1. Aphakie**

Das Fehlen der Linse im Auge wird Aphakie genannt.

Dieser Zustand kann angeboren (seltene Augenfehlbildung) oder erworben sein (33).

### **2.6.2. Kongenitale Aphakie**

Bei der angeborenen oder kongenitalen Aphakie handelt es sich um eine embryonale Fehlbildung, was allerdings sehr selten vorkommt. Hier unterscheidet sich die primäre Aphakie durch das Fehlen der Linsenplacode (Vorläufer der Linse) von der sekundäre Aphakie, wobei hier die entwickelte Linse aus bisher unbekanntem Mechanismus spontan absorbiert werden kann (34).

### **2.6.3. Erworbene Aphakie**

Bevor die Kunstlinse entwickelt wurde, war eine Kataraktoperation (ICCE) der häufigste Grund der erworbenen Aphakie (35).

Trotz der bislang gesammelten Erfahrungen in der Kataraktchirurgie und der hierfür zur Verfügung stehenden modernen Techniken bestehen weiterhin bei Erwachsenen Restrisiken, die zu einer Aphakie führen können. Hierzu zählt u. a. die hintere Kapselruptur oder die Insuffizienz der Zonulafasern. Die hintere Kapselruptur und der Verlust der Linsenfragmente in den Glaskörperraum können durch dichte Kerntrübungen, durch ein hohes Alter, durch das Pseudoexfoliations-Syndrom (PEX-Syndrom) oder Myopie begünstigt werden (36).

Nur im Falle von stabilen Zonulafasern, sowie dem Vorhandensein einer hinteren Kapsel, kann eine IOL Implantation in den Kapselsackapparat problemlos durchgeführt werden. In allen anderen Fällen wird die Linse außerhalb des Kapselsackes positioniert (37).

Die kongenitale Katarakt kann bei Kindern ein weiterer Grund für eine Aphakie sein und tritt sowohl unilateral oder bilateral auf (34). Unbehandelt führt die Linsentrübung zu einer Stimulus-Deprivationsamblyopie, weshalb eine umgehende operative Kataraktentfernung, besonders bei einem unilateralen Katarakt in den ersten Lebenswochen als dringend zu sehen ist (38).

Zu den weiteren Ursachen einer erworbenen Aphakie können perforierende Verletzungen und Traumata gezählt werden (35).

#### **2.6.4. Linsendislokation**

Die Verlagerung der Linse aus ihrer physiologischen Position (Ectopia Lentis) kann in Subluxation und Luxation unterteilt werden (35).

Bei der Subluxation ist die Linse durch schwache oder gelockerte Zonulafasern partiell verschoben. Dabei kann es zusätzlich zu einer Visusverschlechterung, zu monookularen Doppelbildern und einem ausgeprägten Astigmatismus, bedingt durch die Linsenkipfung, kommen.

Bei der Luxation hingegen liegt die Linse nicht mehr hinter der Pupille. Durch einen kompletten Ausfall des Halteapparates rutscht die Linse entweder in den Glaskörperraum oder in die Vorderkammer und hierdurch ist der Patient optisch vollständig aphak. Die Folge ist eine starke Visusverschlechterung. Weiterhin kann die Linsenluxation ein akutes Winkelblockglaukom oder eine linseninduzierte Uveitis verursachen (35).

Das Trauma ist weiterhin der häufigste Grund der Linsen- oder IOL Dislokationen, die entweder als eine Prellung, perforierende Verletzung oder durch fehlende adäquate Fixation der IOL im Kapselsack erworben werden kann (39).

Als weitere Ursachen können eine Reihe von angeborene Stoffwechsel- und Bindegewebserkrankungen dazugezählt werden. Das Marfan-Syndrom stellt hierbei den häufigsten Grund der kongenitalen Linsenluxation dar.

Dabei kommt es zur einer Subluxation der Linse meistens nach kranial und temporal (35).

Beim PEX-Syndrom wird durch eine systemische Störung der extrazellulären Matrixsynthese und deren Ablagerung im Auge der Halteapparat der Linse geschwächt. Hierdurch wird zum einen eine Linsenluxation verursacht, zum anderen bereitet dies Schwierigkeiten bei der IOL Fixation (35).

Das PEX-Syndrom tritt häufiger bei älteren Patienten auf.

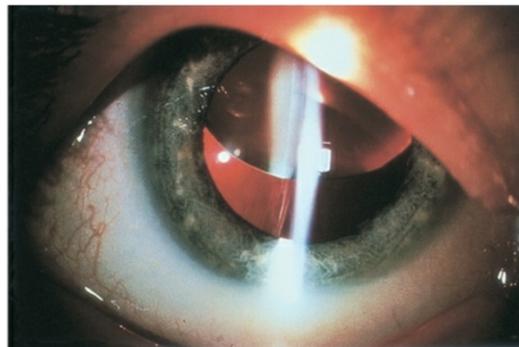


Abb. 4: Linsensubluxation bei Marfan-Syndrom (35)

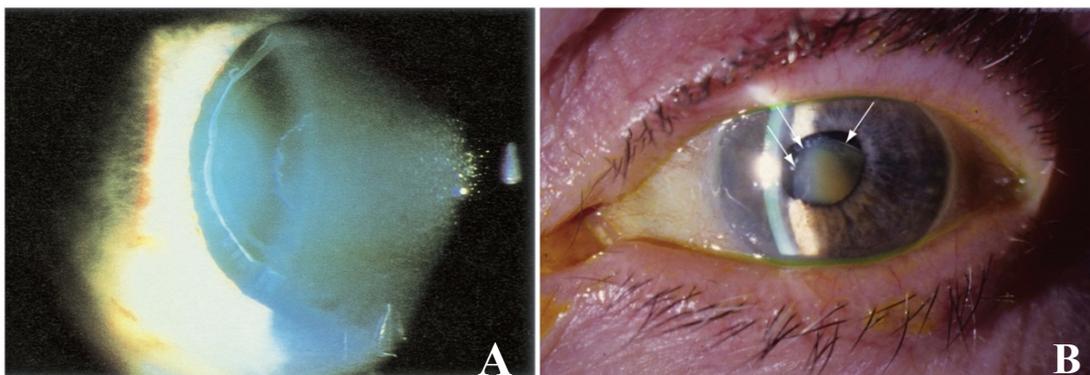


Abb. 5: Pseudoexfoliations-Syndrom; A) grau-weißliche Ablagerungen auf der Linse und um den Pupillarsaum (40), B) Linsendislokation nach unten durch schwache und geschädigte Zonulafasern (41)

## **2.7. Intraokulare Linsen (IOL)**

### **2.7.1. Geschichtlicher Überblick der Intraokularlinsen**

Zwar stammte ursprünglich die Idee zur Kunstlinsenimplantation vom italienischen Okulist Felice Tadini (42), jedoch gelang erst 1949 und somit rund 200 Jahre später durch Sir Harold Ridley die erste erfolgreiche Intraokularlinsenimplantation aus Polymethylmethacrylat (PMMA) (42). Insgesamt konnte Ridley mehr als 1000 Hinterkammerlinsen implantieren, aus welchen sich im weiteren Verlauf Intraokularlinsen der ersten Generation nach Appel entwickelten.

Die Vorderkammerlinsen (VKL) sind zwischen den fünfziger und sechziger Jahre entwickelt worden. Diese stützen sich im Kammerwinkel ab und können nach intrakapsulärer als auch nach extrakapsulärer Kataraktoperation implantiert werden. Sie gehören nach Appel zur II. Generation der Intraokularlinsen (43).

In diesen Jahren gab es viele Designmodifikationen der Vorderkammerlinsen. Sie können in 2 Gruppen aufgeteilt und zwischen starren oder semistarren bzw. flexiblen oder semiflexiblen VKL unterteilt werden.

1953 entwickelte Epstein Intraokularlinsen der dritten Generation. Hierbei handelte es sich um irisfixierte Linsen oder den sogenannten Collar Stud Lens, welche erstmals noch im selben Jahr bei einem Patienten mit subluxierter Linse implantiert wurde (44). Komplikationen wie Irispigmentepitheldefekte, Pigmentdispersionsglaukome und Hornhautendothelschädigungen wurden hier immer wieder beschrieben. 1957 entwickelte Binkhorst die sogenannte Iris-Clip-Linse, bestehend aus 4 Haptiken (43). Jeweils zwei der Haptiken wurden vor und hinter der Iris befestigt. Später fixierte er die beiden hinteren Haptiken im Kapselsackapparat, was zu einer stabileren Fixation führte. Zuletzt entwickelte er 1965 eine Zweischlingen-Iris-Clip-Linse zur iridokapsulären Fixation (43). 1964 modifizierte Fyodorov diese Linsen und klassifizierte diese als Fyodorov I (43). Durch weitere Modifikationen bestanden diese Linsen nun aus drei Haptiken und wurden 1968 als Fyodorov II eingesetzt (43).

Der Niederländer Jan Worst entwickelte Anfang der sechziger Jahre seine Variation der irisfixierten Linse, welche im Optikrandbereich Fixationslöcher zur einfacheren Fixation an die Iris besaßen. Trotz verschiedenen Nahttechniken wurden zum einen Erosionen des Irisgewebes, aber auch Hornhautdekomensationen beschrieben. Letztendlich entwickelte er die Irisklauenlinse (Iris-Claw-Lens) (IKL) mit zwei Schlitzten in deren Haptiken, womit die Linse in der mittleren Peripherie des Irisgewebes eingeklemmt wird.

Die vierte Generation der Intraokularlinsen beinhaltete die Weiterentwicklung und Modifikation der Vorderkammer- und der irisfixierten Linsen mit verbesserter Oberfläche, Material, Design, Größe, was zwischen den sechziger und achtziger Jahren erfolgte. Trotz allem konnten Komplikationen wie uveitische Reaktionen, Endotheldekompensationen bis hin zur Erosion des Ziliarkörpers im Bereich des Kammerwinkels nicht verhindert werden. Aufgrund dessen mussten diese Linsen 1987 vom Markt genommen werden.

Die stetige Weiterentwicklung der Kataraktchirurgie, sowohl durch die Einführung der Phakoemulsifikationstechnik zwischen den siebziger und achtziger Jahren von Kelman, als auch die Entwicklung des Operationsmikroskops in den sechziger Jahren durch Harms und Mackensen etablierten die extrakapsulären Kataraktoperation und der Einsatz von kapselsackfixierten Intraokularlinsen (45).

Die V. Generation der Intraokularlinsen begann mit der Entwicklung von Hinterkammerlinsen (HKL) aus PMMA, Silikon sowie der experimentellen Linse. 1975 sind viele HKL aus flexiblen Materialien (Prolene) gefertigt worden und über den nachfolgenden Jahren wurden diese Linsen durch Modifizierungen von Haptiken, deren Länge und verwendeten Materialien sowie Linsenoptiken weiterentwickelt. Die erste einteilige PMMA-HKL ist in den achtziger Jahren hergestellt worden (43). Seit der Entwicklung von weichen Linsen, welche aus Silikon oder einem Hydrogel bestehen, konnte durch ihre Faltbarkeit in den neunziger Jahren zusätzlich die Operationstechnik weiterentwickelt werden und so die Kleinschnitttechnik beschrieben werden. Mit Einführung der Kapsulorhexistechnik und der Hydrodissektion hat die Kataraktoperation Anfang der neunziger Jahre die Wiederherstellung von Akkommodationsfähigkeit des operierten Auges mithilfe experimenteller Linsen, den sog. bi- oder multifokalen Intraokularlinsen zum Ziel gesetzt.

Die Intraokularlinsen der VI. Generation sind mit den gegenwärtigen Linsen gleichzusetzen. Hierbei richtet sich die Auswahl nicht mehr nach den einfachen Kriterien der I. Generation wie Implantationsort oder Designkonzept, sondern jetzt richtet sich die Wahl der benötigten Linse vielmehr patientenspezifischer und nach den vorgefundenen Veränderungen (43).

### **2.7.2. Aufbau der Intraokularlinsen**

Jede Intraokularlinse besteht aus einem zentralen optischen Teil und den sogenannten Haptiken, bestehend aus zwei bis vier Bügeln, welche zur Befestigung an den peripheren okulären Strukturen dienen (31).

Je nach Befestigungsort an den Augen können die Linsen in kammerwinkelgestützte VKL oder irisfixierte VKL und HKL eingeteilt werden (46).

Weiter können die Intraokularlinsen je nach verwendetem Material in flexible, faltbare und harte Linsen differenziert werden (31).

Zu den flexiblen Materialien gehören Silikon, Acryl, Hydrogel oder Collamer Mischungen (Kollagen und Hydrogel). Durch ihre faltbaren Eigenschaften können sie durch kleine Inzisionen mittels eines Injektors implantiert werden.

Harte Kunstlinsen bestehen aus Polymethylmethacrylat. Da sie nicht faltbar sind, können diese nur über eine entsprechend größere Inzision, welche mindestens den Durchmesser der Optik messen muss, inseriert werden (31).

Um postoperative Adhäsionen von IOL-induzierten Entzündungen zu reduzieren, können diese Linsen oberflächenbeschichtet sein. Als ein gängiges Mittel kann z.B. Heparin verwendet werden (31).

Differenziert werden die IOL's ferner in ein- oder dreiteilige Linsen. Bei den dreiteiligen IOL's unterscheidet sich das verwendete Material zwischen der Optik und der Haptik (47).

Ferner werden die Linsen anhand ihrer Fokussierung in mono- bzw. multifokal, wie auch torisch weiter unterteilt. Die monofokalen IOL's können nur ein scharfes Bild entweder in der Ferne oder in der Nähe abbilden. Bei den multifokalen IOL's können hingegen sowohl Gegenstände in der Ferne, aber auch in der Nähe scharf dargestellt werden.

Die torischen IOL's korrigieren sowohl die Sphäre als auch eine bestehende Hornhautverkrümmung (Astigmatismus).

### **2.7.3. Geschichte und Besonderheiten der Irisklauenlinse (IKL) und der retropupillären Implantation**

Die Irisklauenlinse ist eine rigide einteilige Linse aus Polymethylmethacrylat (PMMA). Die Gesamtlänge beträgt 8,5 mm, die Gesamtbreite 5,4 mm, mit einer Höhe von 1,04 mm und einem Durchmesser der Optik von 5,0 mm. Diese Linse hat ihren Namen aufgrund zweier klauenartigen Haptiken, welche durch spezielle Enklavationsnadeln

im mittelperipherem Irisgewebe eingeklemmt werden. Eine Sehstärkenkorrektur kann hier zwischen -23,5 dpt bis + 12 dpt erfolgen. Durch ihre Weiterentwicklung und durch den regelmäßigen Einsatz der Irisklauenlinse konnten gute visuelle und refraktive Ergebnisse gesammelt werden. Fechner und Worst haben 1986 zum ersten Mal die Irisklauenlinse in ein myopes phakes Auge erfolgreich implantiert (48, 49). Seither hat sich diese Technik zur Myopiekorrektur erfolgreich etabliert und wird bis heute praktiziert.

Als Besonderheit der Irisklauenlinse (Artisan<sup>®</sup> bzw. Verisyse<sup>®</sup>) (Abb. 6) kann gesehen werden, dass diese an der Iris zunächst primär präpupillar in die Vorderkammer fixiert wurde, jedoch neuerdings diese zunehmend auch retropupillär in der Hinterkammer fixiert werden. Während über Jahre hinweg die präpupillare IKL Fixation nach Worst als Goldstandard gesehen werden konnte, zeigen jüngste Ergebnisse Vorteile in der retropupillären Fixation der IKL. Nicht selten traten bei der präpupillaren Fixation Komplikationen wie Endothelzellverlust, Haptikdeklavationen, eine postoperative Uveitis oder Druckdekompensationen auf (43). 1982 berichtete der französische Augenarzt Amar über seine konvex-planaren retropupillären Implantation einer Irisklauenlinse, welche er erstmals 1980 eingesetzt hatte. Aufgrund eines möglichen Pigmentabriebes auf der Irisrückseite hat sich seine Technik nicht durchgesetzt (50, 51). 2002 modifizierter Mohr et al. die Technik und platzierten die IKL invers in plankonvexer Richtung am Irisstroma in der Hinterkammer, wodurch der Pigmentabrieb und der damit verbundenen Reizzuständen reduziert werden konnte (52).

Als ein großer Vorteil dieser retropupillären Fixation kann gesehen werden, dass sie die Vorteile der VKL und HKL kombinieren. So sind sie risikoärmer in der Platzierung durch Schonen des vorderen Augenabschnittes, und haben eine kürzere Operationszeit. Zwar ist die retropupilläre Implantation technisch anspruchsvoller als die präpupillare, dafür handelt es sich jedoch um eine physiologische IOL Positionierung in der Hinterkammer. Hiermit werden die Nachteile, die bei der transskeralen- bzw. Nahtfixation auftreten können, vermieden. In den ersten Ergebnissen zeigt sich ein deutlich reduzierter Pigmentabrieb und die damit verbundene Verringerung der Reizzustände. Ferner wird ein deutlich niedriger Endothelzellverlust vermutet bzw. berichtet (52-54). Da der Ziliarkörper intraoperativ bei dieser Technik nicht geschädigt wird, scheint außerdem das intraoperative Blutungsrisiko gesenkt werden zu können (52).

Mit dem Einsatz der Irisklauenlinse erweitert sich nachfolgend der Indikationsbereich und die Technik kann z.B. bei idiopathisch subluxierten Linsen bei Kindern, aber auch bei subluxierten Linsen, wie sie beim Marfan-Syndrom auftreten können, erfolgreich angewendet werden (55, 56).

Besonders hervorzuheben ist, dass ein adäquater Kapselsackhalteapparat für die retropupillären Fixation der IKL nicht notwendig ist (57).



Abb. 6: Artisan® / Verisyse® Linse (58)

Die in der Literatur beschriebenen Risiken bei der Anwendung der IKL Linse sind nachfolgend genannt:

So ist das Auftreten eines chirurgisch induzierten Astigmatismus durch den größeren Operationszugang von 5,5 mm, bzw. das Risiko einer Pupillenverziehung durch die Irisfixation vergrößert.

Weitere Risiken sind unter anderem ein Pigmentdispersionsglaukom, ein erhöhter Endothelzellzahlverlust, das Auftreten einer bullösen Keratopathie, oder einer Haptik-Deenkavation, sowie das Auftreten eines Pupillarblockes. In manchen Fällen können zystoide Makulaödeme auftreten.

## **2.8. Fragestellung**

Trotz der hervorragenden Weiterentwicklung und Modernisierung der Kataraktchirurgie sowie der Intraokularlinsen, treten immer noch Komplikationen auf, die bis hin zu einem Verlust bzw. Insuffizienz des Kapselsackhalteapparates führen können. In diesem Fall ist eine primäre Linsenimplantation erschwert bzw. unmöglich. Für solche Fälle stehen als Alternative nachfolgende Linsen zur Verfügung. Je nach Pathologie können transskleral- / intraskleral fixierte Linsen,

kammerwinkelgestützte Vorderkammerlinsen, sowie prä- oder retropupilläre Irisklauenlinsen zur Verwendung kommen.

Die Irisklauenlinsen wurden über einen langen Zeitraum ausschließlich in die Vorderkammer (präpupillär) u.a. im Rahmen der refraktiven Chirurgie als phake IOL implantiert (52, 59, 60). Die präpupillare Fixation der IKL galt lange Zeit als eine „backup“ Variante zur IOL-Implantation bei insuffizientem Kapselsackhalteapparat. Allerdings wird heutzutage die retropupilläre Implantation der Irisklauenlinse zunehmend favorisiert, da es sich hierbei um eine vergleichsweise physiologische Position der Kunstlinse handelt (53). Die retropupilläre Fixation der Irisklauenlinse scheint wenig Einfluss auf die Endothelzelldichte zu nehmen und die Hornhaut wird somit nicht nennenswert geschädigt, vergleicht man dies mit ihrer präpupillaren Fixation. Somit scheint es sich hierbei um eine verlässliche und sichere Methode zu handeln, um insbesondere beim fehlenden Kapselsackhalteapparat, ein suffizientes Ergebnis mit geringer Komplikationsrate erzielen zu können. Ziel dieser Arbeit ist es anhand des eigenen Patientenkollektivs das Langzeitergebnis dieser Patienten zu untersuchen. Hier soll insbesondere das Verfahren der retropupillären Fixation der Irisklauenlinsen auf mögliche Komplikationen und refraktive Ergebnisse, sowie deren Einfluss auf die Endothelzelldichte hin untersucht werden.

### **3. Material und Methodik**

#### **3.1. Patientenpopulation**

In dieser nicht-interventionellen Beobachtungsstudie wurde die Patientenakten der Charité Universitätsklinik, Campus Virchow-Klinikum für Augenheilkunde in Berlin retrospektiv ausgewertet. Als Beobachtungsmerkmal wurden alle jene Patienten herausgefiltert, bei denen zwischen dem April 2006 bis Juli 2012, eine retropupillär fixierte Irisklauenlinse (Verisyse VRS54; Ophthec BV, Groningen, Niederlande; Advanced Medical Optics, Inc., Santa Ana, California, USA) von den Operateuren EB und PR implantiert wurden.

#### **3.2. Datenerhebung**

Die Gewinnung der klinischen Patientendaten wurden aus den Krankenblättern, Epikrisen und den Operationsberichten gesammelt. Die Daten wurden in einer hierfür geschaffenen Excel Tabelle dokumentiert. Die Richtlinien der Deklaration von Helsinki

wurden hierbei berücksichtigt. Die Studiendurchführung ist von der Ethikkommission der Charité-Universitätsmedizin genehmigt worden.

### **3.3.           Einschluss- und Ausschlusskriterien**

Für die retrospektive Auswertung wurden Patienten des Campus Virchow-Klinikum für Augenheilkunde, Charité Universitätsklinik Berlin mit den folgenden Kriterien eingeschlossen:

- Aphakie
- Dislozierte IOL
- Inadäquater Kapselsackhalteapparat
- Adäquate Irismorphologie mit intakter Irisstroma
- Präoperative zentrale Endothelzelldichte  $>1000$  Zellen/mm<sup>2</sup>
- Nachuntersuchungszeitraum von mindestens 12 Monaten

Ausgeschlossen wurde jene Patienten, bei denen prä- oder postoperativ die zentrale Endothelzelldichte nicht bestimmt werden konnte, sowie diejenigen, welche aus diversen Gründen wie mangelnde Compliance im postoperativen Verlauf zu den Kontrollen nicht vorstellig wurden.

### **3.4.           Augenuntersuchung**

Präoperativ wurden alle Patienten ophthalmologisch vollständig untersucht. Die bestkorrigierte Sehschärfe wurde mit subjektivem Ausgleich aus einem Abstand von 5 Meter ermittelt (Dezimalvisus). Der Augeninnendruck ist durch einen Goldmann Applanationstonometer bestimmt worden und die vorderen und hinteren Augenabschnitte sind mit Spaltlampe unter Mydriasis untersucht worden.

Sowohl prä- als auch postoperativ wurde der bestkorrigierte Fernvisus (BCVA), als auch die manifeste Refraktion und das sphärische Äquivalent (SE) bestimmt. Um die gewonnenen Visusergebnisse besser statistisch auswerten und mit der Literatur vergleichen zu können, wurden diese in log-Mar-Einheiten umgewandelt (61). Die zentrale Endothelzelldichte wurde prä- und postoperativ mit einem Spiegel-Mikroskop (Nonnen Robo der Firma Konan Medical, Inc., Hyogo, Japan) routinemäßig bestimmt. Die IOL ist nach der SKR/T Formel mit einer A-Konstante von 117.0 mittels optischer Biometrie des IOL Masters (Carl Zeiss Meditec, Jena) bestimmt worden (62).

### **3.5. Verwendete Intraokular Linse (IOL)**

Verisyse VRS 54 ist eine sphärische PMMA IOL zur Irisfixierung mit einem Gesamtdurchmesser von 8,5 mm und einem Optikdurchmesser von 5,4 mm von der Firma Ophtec BV (Groningen, Niederlande; Advanced Medical Optics, Inc., Santa Ana, California, USA) (63).

### **3.6. Angewandte Operationstechnik**

Der operative Eingriff erfolgte entweder in Allgemeinanästhesie oder lokal durch eine Peribulbäranästhesie. Das Operationsgebiet wurde mit Polyvidon-Jodlösung desinfiziert. Für den sklerokornealer Tunnel wurde ein 5,5 mm bereiter Schnitt auf 12 h gesetzt. Die weiteren Parazentesen wurden bei 3 und 9 h gesetzt.

Zur Stabilisierung der Vorderkammer und zum Schutz des Hornhautendothels wurde ein Viskoelastikum (Healon GV, Advanced Medical Optics, Santa Ana, California, USA) injiziert.

Lag ein Glaskörperprolaps vor, erfolgte zusätzlich eine anteriore Vitrektomie. Die Irisklauenlinse wurde zunächst in umgekehrter Position in die Vorderkammer implantiert (upside-down). Anschließend erfolgte durch Gabe von Acetylchloride 1% (Miochol-E, Bausch & Lomb, Rochester, New York, USA) eine Pupillenverengung. Die IOL wurde hiernach mittels Haltepinzette nach retropupillär eingeführt. Hier liegt die Linse mit der konkaven Seite zur Irisrückfläche, also in inverser Position zur Vorderkammerimplantation.

Aufgrund der angewendeten „upside-down“ Technik konnte auf eine chirurgische Iridektomie verzichtet. Die Haptik-Klauen der IOL wurden in das Irisstroma bei 3 und 9 Uhr mittels Spatel enklaviert. Das initial eingebrachte Viskoelastikum wurde durch Irrigation/Aspiration sorgfältig abgesaugt und eine Tonisierung erfolgte durch Injektion von BSS (Alcon, Fort Worth, Texas, USA). Mit Nylon 10/0 (Ethicon Inc., Johnson & Johnson Co, Somerville, New Jersey, USA) Einzelknopfnähten erfolgte der Verschluss des sklero-korneale Tunnel, die Konjunktiva wurde mit Vicryl 7/0 Einzelknopfnähten (Ethicon Inc., Johnson & Johnson Co, Somerville, New Jersey, USA) verschlossen.

### **3.7. Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung erfolgte mit GraphPad Prism 8.0 for MacOS. Normalverteilte Daten wurden mittels t-Test und bei nicht parametrischen Variablen mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Test ausgewertet. Als Signifikanzniveau wurde ein p-Wert  $\leq 0,05$  festgelegt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Allgemeine Datenerhebung:

In einem Zeitraum von September 2006 bis Juli 2012 konnten retrospektiv 62 Augen von 56 Patienten, bei denen eine retropupillär fixierte Irisklauenlinse implantiert wurden, eingeschlossen werden. Insgesamt wurden 45 Augen von Männern und 18 Augen von Frauen untersucht und behandelt (Abb. 7). Durchschnittlich waren die Patienten zum Zeitpunkt der Operation 57 Jahre alt, der jüngste Patient war 8, der älteste Patient 84 Jahre alt. Wird die weitere Unterteilung in unter 65 Jahre oder 65 Jahre alt oder älter durchgeführt, so können jeweils 31 Augen in die jeweilige Gruppe eingeschlossen werden, wobei auch hier die Anzahl der betroffenen Augen von Männern überwiegt (n = 23 Augen von Männern unter 65 Jahre und n = 21 Augen von Männern > 65 Jahre) (Tab. 1).

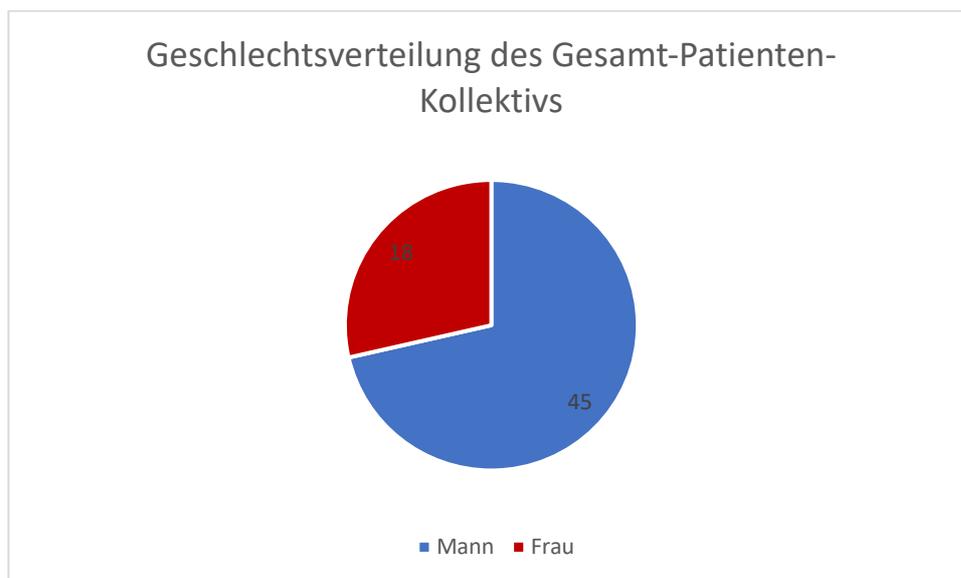


Abb. 7: Geschlechterverteilung des Gesamt-Patienten-Kollektivs

Das rechte Auge (n=40) wurde deutlich häufiger als das linke Auge (n=22) (Abb. 8) behandelt.

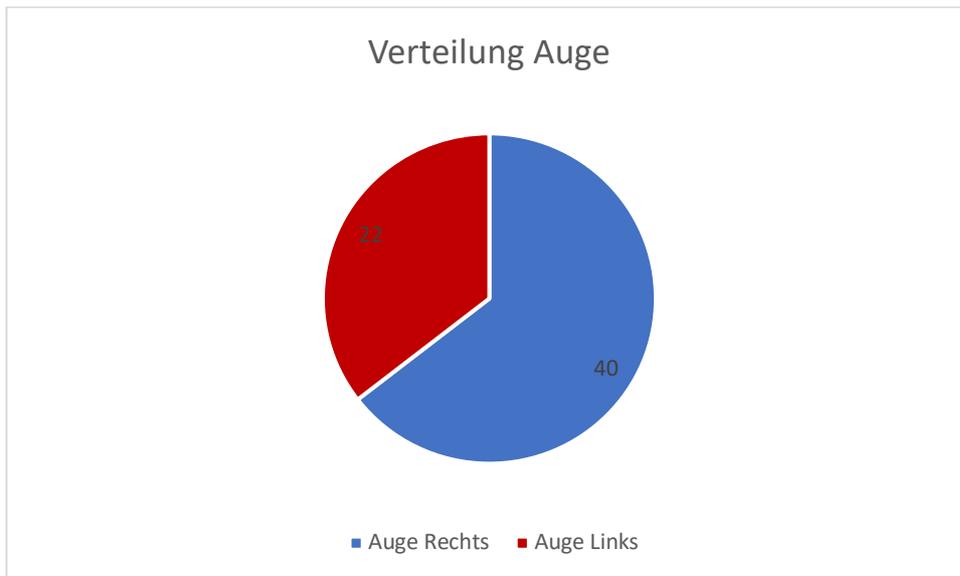


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der betroffenen Augen

n = 62	< 65 Jahre	≥ 65 Jahre
<b>Männlich</b>	23	21
<b>Weiblich</b>	8	10

Tab.1: Verteilung der betroffenen Augen gemäß Alter und Geschlecht

Insgesamt wurden bei 6 Patienten beide Augen operativ behandelt, wobei der minimale zeitliche Abstand zwischen beiden Operationen 26 Tage und der maximale zeitliche Abstand 12 Monate und 9 Tage betrug.

Die Indikation zur IKL wurde in dieser Studie bei Vorliegen einer Phakie, Aphakie oder bei einer Pseudophakie gestellt.

Bei 34 Augen lag eine Pseudophakie (54,8%) präoperativ vor, dessen Ursache vielfältig war und am häufigsten durch eine Pseudoexfoliation lensis verursacht wurde. Bei fehlendem Kapselsackhalteapparat wurde ein IOL Austausch durch IKL durchgeführt (Tab. 2, Abb. 9).

In 11 Augen lag eine Phakie (17,7%) vor. Ursache waren zum einen ein Marfan-Syndrom, zum anderen eine idiopathische Subluxation lensis. Hier erfolgte zur Korrektur der Subluxation lensis die primäre Implantation einer IKL. In 17 Augen lag eine Aphakie (27,4%) vor, welches am häufigsten bedingt durch ein Trauma, gefolgt von einer Cataracta congenita war. In diesem Patientenkollektiv wurde eine sekundäre IKL Implantation bei fehlendem Kapselsackapparat durchgeführt.

Im Rahmen der klinischen präoperativen Diagnostik zeigte sich insgesamt in 20 von 62 Augen ein Irisdefekt, wobei in 9 Fällen (52,94%) dies in aphaken Augen und in 11 Fällen (32,35%) in pseudophaken Augen nachgewiesen werden konnte. In keinem der phaken Augen konnte präoperativ einen Irisdefekt diagnostiziert werden (Tab. 3).

Die klinische Nachuntersuchung erfolgte über einen Zeitraum von durchschnittlich 33,8 +/- 19,2 Monaten, mit einem minimalen und maximalen Nachbeobachtungszeitraum von 13 bzw. 78 Monaten.

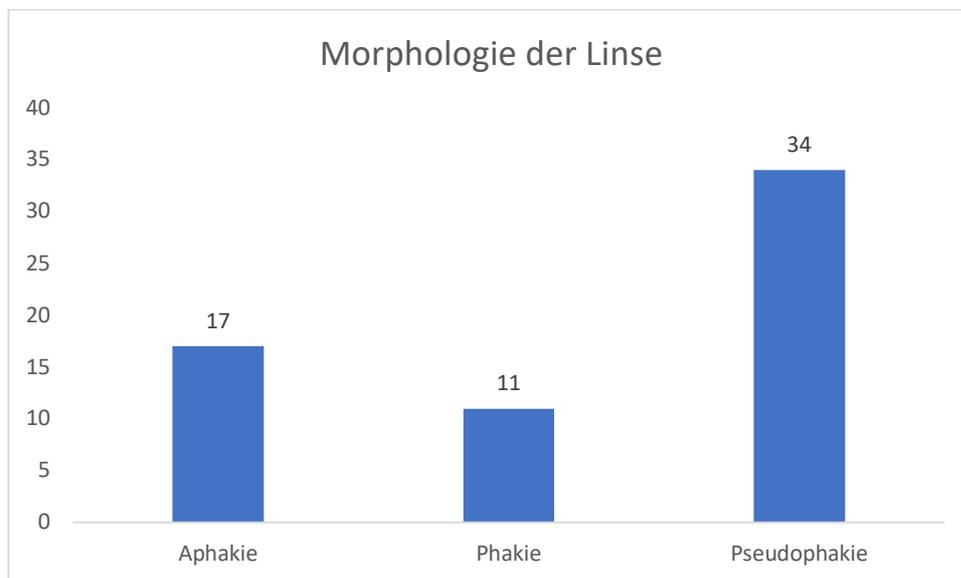


Abb. 9: Verteilung der Linsenpathologie präoperativ

Indikation	Ätiologie	Häufigkeit der betroffenen Augen
<b>Primäre Irisklauenlinsen-Implantation bei Subluxatio lentis</b>		
	Marfan-Syndrom	9
	idiopathische Subluxatio lentis	2
<b>Sekundäre Irisklauenlinsen-Implantation bei Aphakie ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat</b>		
	Trauma	8
	Cataracta congenita	4
	Z.n. komplizierter Kataraktoperation	3
	Z.n. ICCE und Uveitis	1
	Z.n. ICCE	1
<b>IOL Austausch durch Irisklauenlinsen-Implantation bei IOL-Dislokation ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat</b>		
	Pseudoexfoliatio lentis	18
	Z.n. Pars-plana-Vitrektomie	6
	Uveitis	3
	Zonulafaserdefekt unklarer Genese	2
	Trauma bei Z.n. primärer Linsenimplantation	2
	Z.n. komplizierter Kataraktoperation	2
	Vorderkammerlinse	1

Tab. 2: Indikationen zur primären, sekundären Irisklauenlinsen Implantation (IKL) bzw. IOL Austausch bei IOL Dislokation und Vorliegen eines inadäquaten Kapselsackhalteapparates durch IKL

	Gesamt	Irisdefekt	Prozent
Aphake Augen	17	9	52,9
Phake Augen	11	0	0
Pseudophake Augen	34	11	32,4

Tab. 3: Nachweis von präoperativen Irisdefekten in Abhängigkeit der Linsenpathologie

#### 4.2. Endothelzellzahlveränderung prä- und postoperativ

In der Gesamtschau aller Ergebnisse betrug die präoperative Endothelzelldichte durchschnittlich 1844 Zellen/mm<sup>2</sup> [range: 1014-3787] und postoperativ 1743 Zellen/mm<sup>2</sup> [range: 848-3610], was einen Verlust von 5,5% ergab. Im zweiten und dritten postoperativen Jahr betrug der Endothelzellverlust 6,15 % und 7,5 %.

In der Gruppe der Patienten unter 65 Jahren (n = 31 Personen) waren es präoperativ 2183 Zellen/mm<sup>2</sup> und postoperativ 2109 Zellen/mm<sup>2</sup>. Hier betrug der Verlust 3,9%. In der Gruppe der über 65-jährigen (n = 31 Personen) lag die Endothelzellzahl präoperativ bei rund 1504 Zellen/mm<sup>2</sup> und postoperativ bei rund 1377 Zellen/mm<sup>2</sup>. Der Endothelzellverlust betrug hier 8,4%. Statistisch lag hierbei kein Unterschied vor (Abb. 10 und 11).

Die Endothelzellzahl unterschied sich ferner zwischen den einzelnen Gruppen. So zeigte sich eine signifikant höhere Endothelzellzahl prä- und postoperativ in jenen Patienten die jünger als 65 Jahre alt waren. In Hinblick auf den Verlust der Endothelzellen prä- und postoperativ waren die Verluste in beiden Altersgruppen statistisch gesehen gleich.

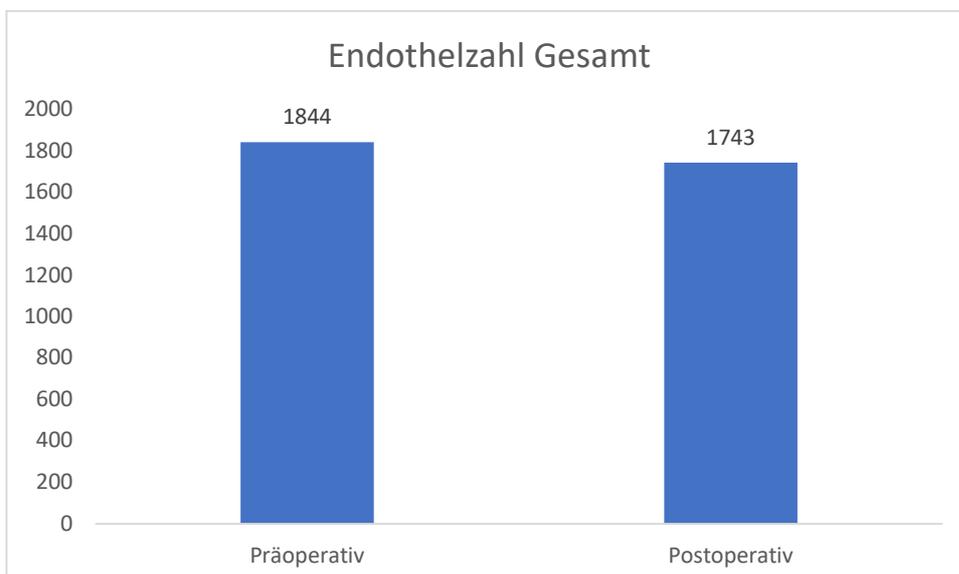


Abb. 10: Endothelzahl prä- und postoperativ gesamt

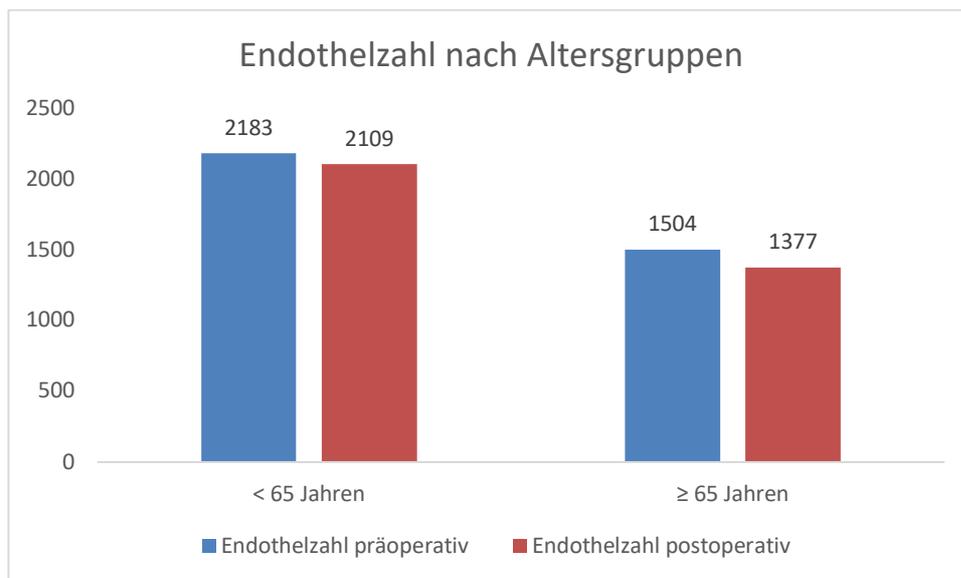


Abb. 11: Endothelzahl nach Altersgruppen.

In der Gruppe der Patienten unter 65 Jahren betrug die Anzahl des Endothelzahlverlustes 3,8 % und in der Gruppe der 65-jährigen und älter 8,4 %

#### 4.3. Auswertung des Sphärischen Äquivalentes

Das sphärische Äquivalent betrug im Mittel präoperativ bei allen Patienten +5,04 (+/- 7,25) dpt [-10,25 bis + 16,0]. Nach Implantation der IKL betrug das mittlere korrigierte sphärische Äquivalent -0,21 +/- 1,01 dpt [-4,0 bis +3,0]. Hier zeigte sich ein statistischer Unterschied von  $p = 0,0009$  (Abb. 12). Dies zeigt sich auch in den Gruppen jener Patienten unter 65 Jahren ( $p = 0,05$ ) und 65 Jahre bzw. älter ( $p = 0,0076$ ). Hier betrug das sphärische Äquivalent präoperativ im Mittelwert +5,08 bzw. +5,02 dpt und nach IKL Implantation -0,3 bzw. -0,12 dpt (Abb. 13).

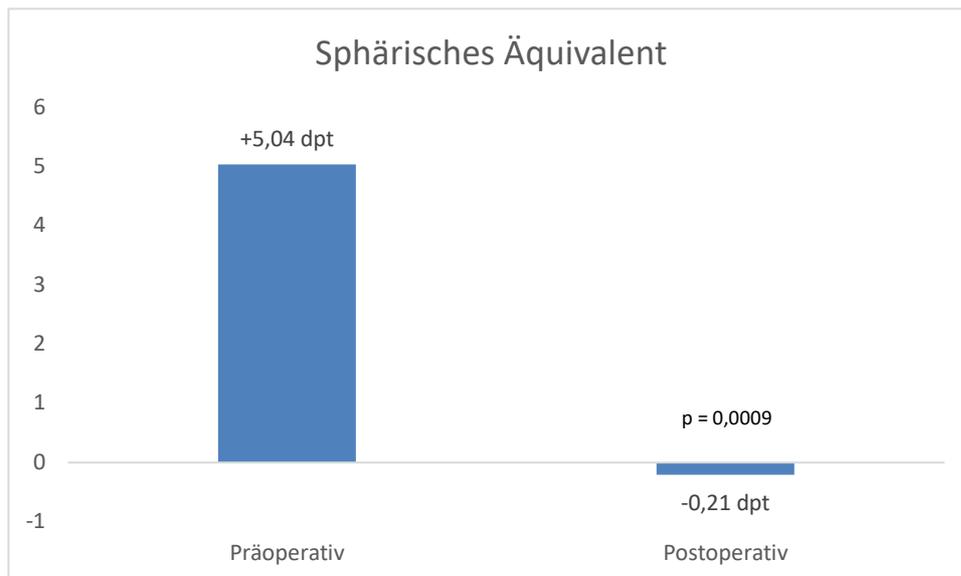


Abb. 12: Sphärisches Äquivalent aller Patienten vor und nach Irisklauenlinsen Implantation im Mittelwert

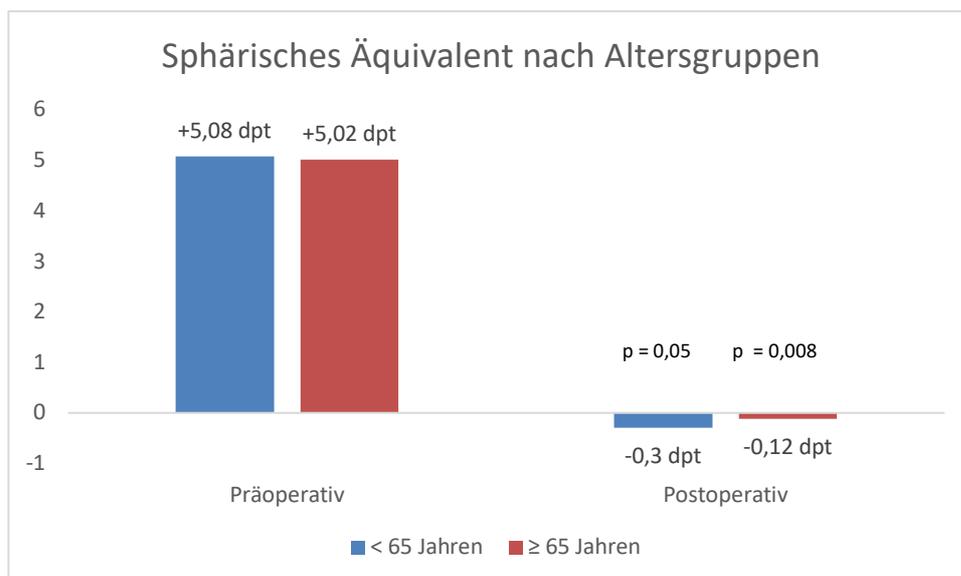


Abb. 13: Sphärisches Äquivalent prä- und postoperativ nach Irisklauenlinsen Implantation nach Altersgruppen

#### 4.4. Bestimmung des prä- und postoperativen subjektiven Zylinders

Nach Inzision und Implantation einer IKL wurde der präoperativ gemessene subjektive, refraktive Zylinder mit den postoperativen Werten verglichen. Hier zeigte sich eine geringgradige Zunahme des Astigmatismus. So betrug der Wert des subjektiven Zylinders präoperativ 1,46 dpt und postoperativ 1,61 dpt (Abb. 14). Auch in den unterschiedlichen Altersgruppen zeigt sich ein ähnliches Bild. Hier betrug der

subjektive Zylinder präoperativ in den Altersgruppen unter 65 Jahre 1,53 dpt und in der Gruppe 65 Jahre und älter 1,39 dpt. Postoperativ betrug der subjektive Zylinder in diesen Gruppen 1,65 dpt bzw. 1,56 dpt (Abb. 15).

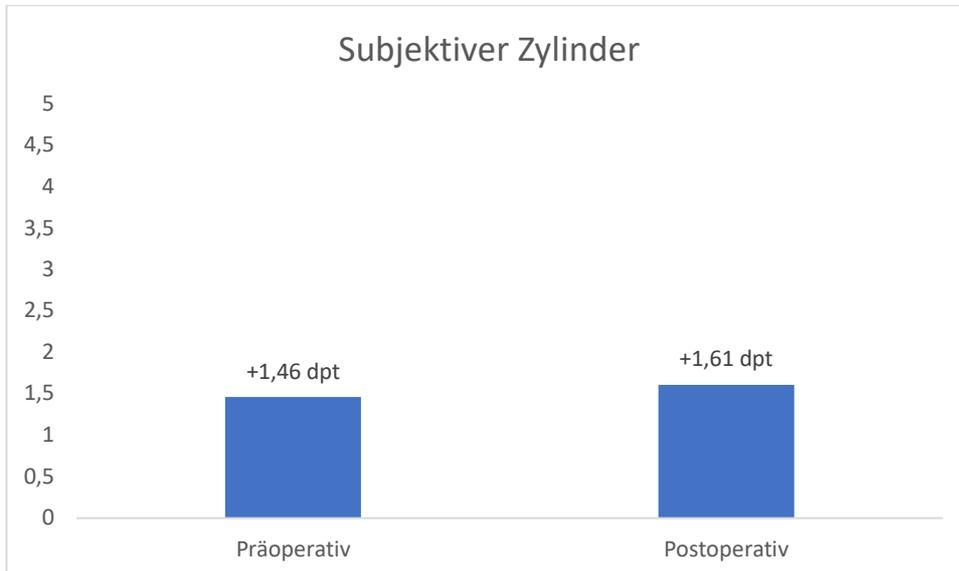


Abb. 14: Subjektiver Zylinder prä- und postoperative Veränderung in der gesamten Gruppe

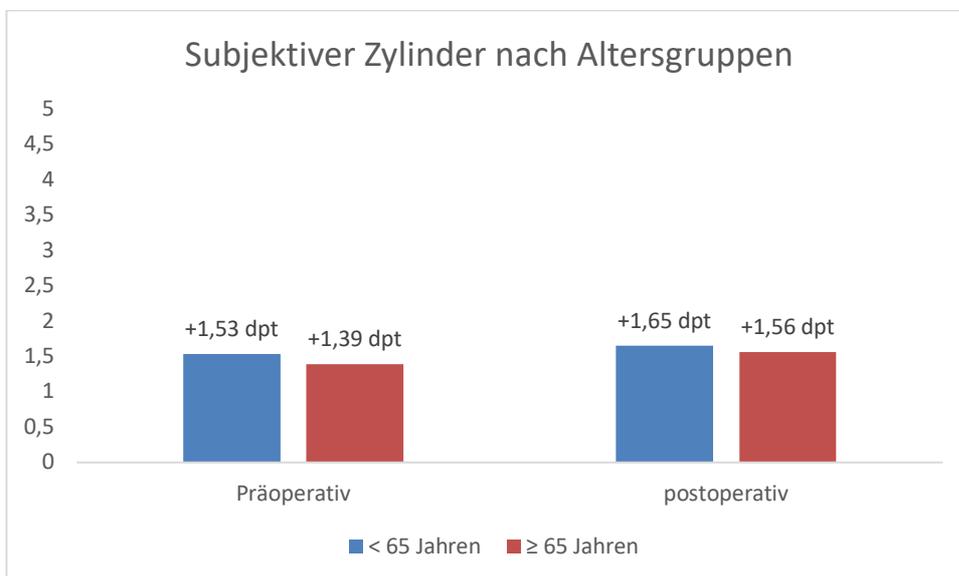


Abb. 15: Subjektiver Zylinder prä- und postoperative Veränderung nach Altersgruppen

#### 4.5. Visusbestimmung prä- und postoperativ

Der Visus zeigte eine deutliche postoperative Zunahme. So lag in knapp 60 % der operierten Augen postoperativ ein Visusgewinn von mehr als 2 Zeilen vor. In jeweils 9,7 % zeigte sich in der postoperativen Untersuchung eine Verbesserung des Visus

um eine bzw. um zwei Zeilen. In 17,7 % trat keine Visusverbesserung auf, jedoch auch keine Verschlechterung. In jeweils einem Auge trat eine Verschlechterung des postoperativen Visus von einer bzw. von mehr als 2 Zeilen auf (Abb. 16).

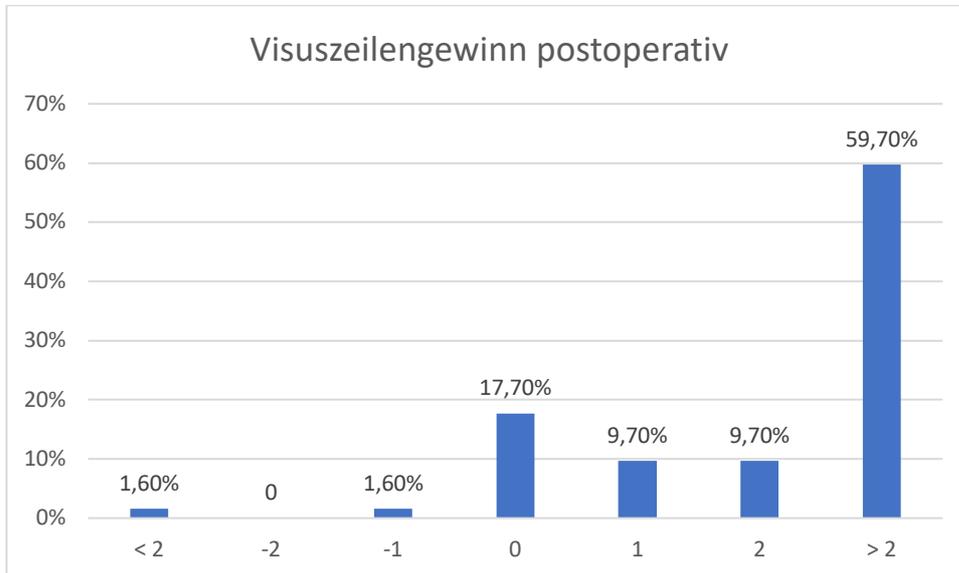


Abb. 16: Postoperativer Visuszeilengewinn der Gesamtgruppe

#### 4.6. Mittlerer bestkorrigierter Fernvisus (BCVA)

Präoperativ betrug der durchschnittliche logMAR Wert 0,61 +/- 0,65. Postoperativ kam es in der Gesamtgruppe nach Linsenimplantation zu einem Visusgewinn auf 0,25 +/- 0,46 logMAR. Mit einem  $p < 0,0001$  zeigt sich hier ein deutlicher Unterschied (Abb. 17). Erfolgte die Auswertung gemäß den Altersgruppen, so zeigte sich statistisch in der Gruppe der unter 65-jährigen eine weiterhin deutliche Reduktion von 0,52 auf 0,18, was ebenfalls einen  $p < 0,0001$  ergab. Dieser deutliche Unterschied konnte hingegen in der Gruppe der Patienten, die 65 Jahre oder älter sind nicht gezeigt werden. Hier betrug der durchschnittliche Ausgangswert 0,7 und nach Linsenimplantation 0,32. Hier zeigte sich eine Verbesserung von rund 54,3% verglichen zum Ausgangswert, was ein  $p = 0,0349$  wodurch ein statistischer Unterschied gezeigt werden konnte (Abb. 18).

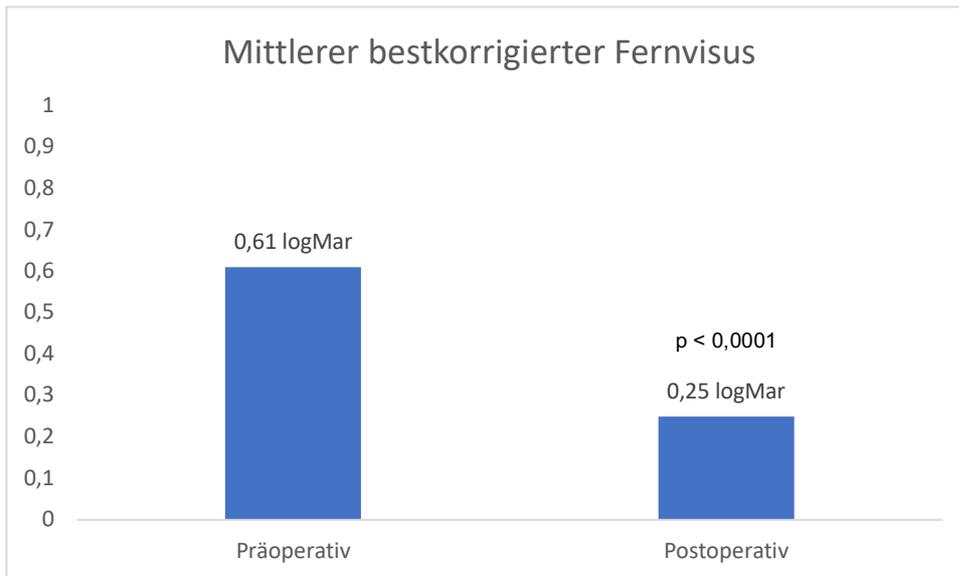


Abb. 17: Mittlerer bestkorrigierter Fernvisus (logMAR); Durchschnitt prä- und postoperativ aller untersuchten Augen

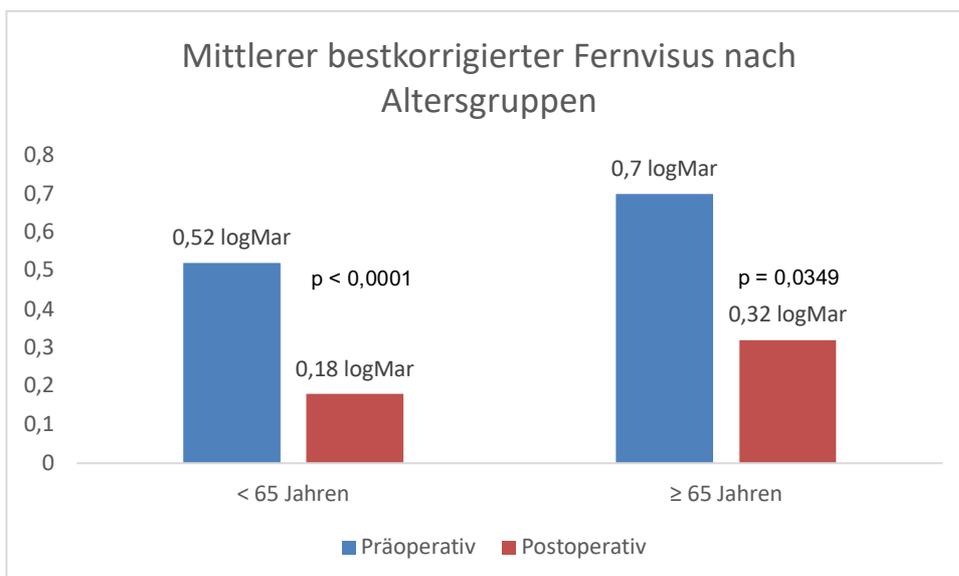


Abb. 18: Mittlerer bestkorrigierter Fernvisus (logMAR); Durchschnitt aller untersuchten Augen entsprechend der Altersgruppen

#### 4.7. Bestimmung des Augeninnendruckes

Der gemessene Augeninnendruck zeigte prä- und postoperativ annähernd denselben Wert und somit auch statistisch keinen Unterschied. (Abb. 19) Präoperativ betrug der mittlere Augeninnendruck 16,73 +/- 5,3 mmHg. Postoperativ reduzierte sich der mittlere Augeninnendruck auf 15,2 +/- 3 mmHg, ohne dass hierbei ein statistischer Unterschied festgestellt werden konnte. Dasselbe zeigte sich auch in den einzelnen

Altersgruppen. Hier betrug der präoperative Augeninnendruck in der Altersgruppe unter 65 Jahren 16,16 +/- 4,13 mmHg und postoperativ 14,77 +/- 2,7 mmHg, in der Gruppe der Patienten 65 Jahren und Älter betrug der Augeninnendruck präoperativ 17,29 +/- 6,33 mmHg und postoperativ 15,52 +/- 3,27 mmHg. Auch hier zeigte sich statistisch gesehen kein Unterschied (Abb. 20).

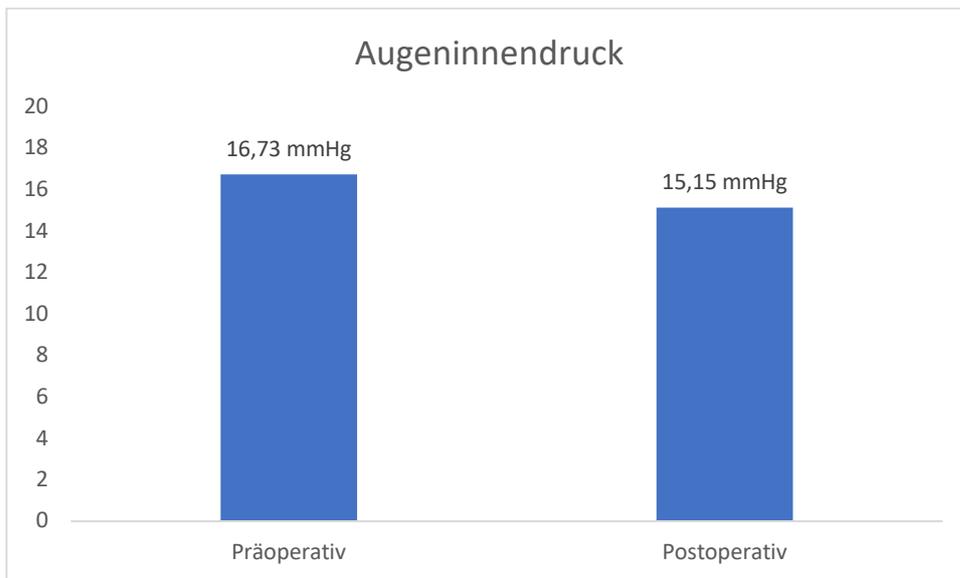


Abb. 19: Durchschnittlicher Augeninnendruck (mmHg) aller Augen prä- und postoperativ

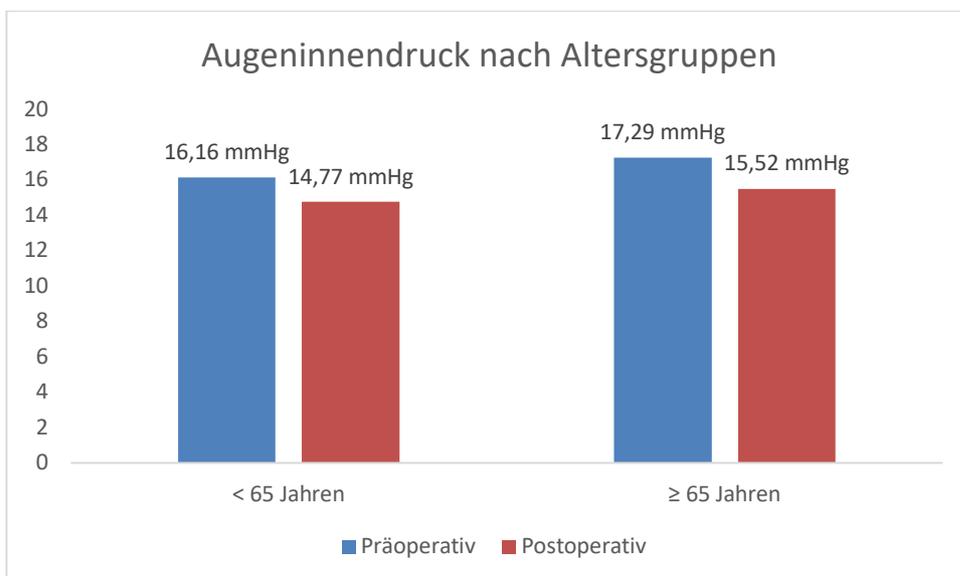


Abb. 20: Durchschnittlicher Augeninnendruck (mmHg) aller Augen prä- und postoperativ nach den Altersgruppen aufgeteilt

#### 4.8. Komplikationen

Es traten keine intraoperativen Komplikationen auf.

Im Rahmen der postoperativen Nachkontrollen wurden mögliche Komplikationen dokumentiert und insgesamt wurde von den 62 operierten Augen 11 Komplikationen (Tab. 4) dokumentiert, was einer Komplikationsrate von 17,7 % entspricht.

Das zystoide Makulaödem trat in 4 Augen auf. In jeweils 2 Augen zeigte sich in den Nachkontrollen zum einen eine persistierende querovale Pupillenverziehung, sowie eine traumatische Deenkavation einer Haptik bzw. wurde postoperativ eine symptomatische, selbstlimitierende Hypotonie verzeichnet. In einem Auge wurde eine spontane Deenkavation einer Haptik als postoperative Komplikation dokumentiert. Alle Komplikationen traten innerhalb weniger Tage bis 3 Monate postoperativ auf. Keiner der Patienten klagte über einen behandlungspflichtigen intraokularen Druckanstieg.

Komplikationen	Anzahl der Augen n = 62	%
Zystoide Makulaödem	4	6,5
persistierende querovale Pupillenverziehung	2	3,2
traumatische Deenkavation einer Haptik	2	3,2
passagere selbstlimitierende Hypotonie	2	3,2
Spontane Deenkavation einer Haptik	1	1,6
Gesamtzahl	11	17,7

Tab.4: Art und Zahl der postoperativ dokumentierten Komplikationen

## **5. Diskussion**

Im Rahmen der Kataraktoperationen wird die Linse durch eine Kunstlinse ausgewechselt und diese in aller Regel im Kapselsack fixiert. Fehlt jedoch der Kapselsackapparat, wie es bei einem komplizierten Verlauf einer Kataraktoperation auftreten kann, oder angeboren bedingt ist, wie z.B. beim Marfan-Syndrom, ist eine einfache Linsenimplantation in den Kapselsack häufig nicht mehr möglich.

In diesen Fällen können alternative IOL Fixationstechniken für die Visusrehabilitaion angewendet werden. Im Falle von Restanteilen den Kapselsackapparates kann eine IOL alternativ im Sulcus ciliaris fixiert werden. Bei vollständigem Fehlen des Kapselsackapparates oder falls eine Fixation am Sulcus ciliaris unmöglich ist, muss die Kunstlinse sekundär im Bereich der Vorder- oder Hinterkammer fixiert werden. Während zunächst die Linsenimplantation in der früheren Zeit vornehmlich im Vorderkammerbereich erfolgten, wurden später zunehmend Techniken beliebter die Linsen in den Hinterkammerbereich zu platzieren. Hier besteht hinsichtlich der Art der IOL und den Fixationsort keine einheitliche Strategie, da verschiedene Intraokularlinsen und Operationstechniken verfügbar sind (57). Die Vor- und Nachteile der Platzierung der IOL in den Vorder-, bzw. Hinterkammerabschnitt wird nachfolgend besprochen (52, 64-69).

### **5.1. Extraokuläre Korrekturmöglichkeiten bei fehlendem/insuffizientem Halteapparat**

Ist der Kapselsack inadäquat, können alternativ zu den intraokulären, extraokuläre Korrekturmöglichkeiten, wie das Anpassen einer Starbrille oder Kontaktlinsen zum Ausgleich der Visusinsuffizienz verwendet werden. Der Nachteil der Starbrille ist, dass diese aufgrund ihres hohen Eigengewichtes und ihres wuchtigen Erscheinungsbildes heutzutage kaum noch toleriert wird. Das Tragen von Kontaktlinsen stellt funktionell und ästhetisch eine einfache Lösung dar und wird daher nicht selten von Patienten als Linsenersatz präferiert. Allerdings können Kontaktlinsen nicht durchgehend getragen werden. Zum einen können nicht selten Unverträglichkeiten oder Erosionen der Hornhaut auftreten, zum anderen bereitet deren Handhabung gerade bei älteren Patienten Schwierigkeiten, weshalb heutzutage für die Visusrehabilitation bei Aphakie oder inadäquatem Halteapparat Implantation einer sekundären IOL empfohlen wird.

## **5.2. Sulkusfixation**

Die Implantation der IOL in den Sulcus ciliaris zählt nach der Implantation der IOL in den Kapselsack zu der häufigsten Implantationstechniken und stellt insbesondere bei intraoperativen Verletzungen des Kapselsackapparates eine Alternative dar, wenn eine Fixation im Kapselsack nicht mehr möglich ist (31). Die Voraussetzung hierfür ist, dass zumindest das vordere Irisgewebe und das hintere Linsenkapselblatt bzw. Kapselreste des Kapselsackapparates zur Stabilisierung vorhanden sein müssen (70). Um die Komplikationsrisiken zu minimieren, muss der Operateur mit der Anatomie, sowie die Indikation des IOL-Einsatzes sehr gut vertraut sein (71).

Zur stabilen Verankerung sind einteilige oder dreiteilige IOL's mit nach hinten gewinkelten und geschlängelten Haptiken die Linsen der Wahl. Die Kunstlinse liegt somit nicht direkt der Iris auf.

Der Kernschritt ist das Verhindern eines Glaskörperprolaps. Liegt eine Kapselruptur vor, muss zur Festlegung möglicher alternativer Fixationspunkte alle übrigen Strukturen auf Intaktheit überprüft werden. Ist das vordere Kapselblatt stabil, so kann die führende Haptik in den Sulcus ciliaris implantiert und die zweite Haptik anschließend mit einem Haken eingedreht werden (70).

Bei einem Hinterkapseldefekt mit einer intakten vorderen Rhexis, werden beide Haptiken der IOL am Sulcus fixiert. Hiernach kann die Optik durch die Rhexis („optic-capture“) mit Sorgfalt nach hinten geführt werden (71).

Insgesamt besteht hier im Vergleich zu Kapselsackfixierung ein höheres Risiko u.a. für eine IOL Luxation, eine geringere Stabilität, ein höherer postoperativer Druckanstieg und ein erhöhtes Auftreten eines zystoiden Makulaödems (70, 71).

## **5.3. Vorderkammerfixation**

Im Bereich der Vorderkammer können die sekundären IOL's zum einen kammerwinkelgestützt, zum anderen aber auch an der Iris fixiert werden oder durch eine Irisklauenlinse ersetzt werden.

## **5.4. Kammerwinkelgestützte VKL**

Ist die Vorderkammer ausreichend tief und die Iris intakt, kann die Linse in die Vorderkammer implantiert werden. Ihre Haptiken stützen sich hierbei am Kammerwinkel ab. Früher war diese Technik jedoch aufgrund des IOL-Designs der

sog. geschlossenen VKL („hard-closed-looped“ Linse) und deren scharfkantige Haptikschlaufen und fehlende Haptikabknickung mit einer Vielzahl von Komplikationen, wie z.B. chronischer Endothelzellverlust durch Iridodonesis oder Lentodonesis mit nachfolgender Hornhautdekompensation assoziiert (72, 73). Weitere Komplikationen sind u.a. die bullöse Keratopathie, das Uveitis-Glaukom-Hyphäma (UGH)-Syndrom und das zystoide Makulaödem. Mit der Einführung von offenen VKL (flexible open-looped IOL) in den 90-er Jahren konnten die obengenannten Risiken deutlich minimiert werden (57, 72, 73).

Um das Auftreten einer akuten Winkelblocksituation zu reduzieren, wird von vielen Augenchirurgen eine prophylaktische Iridektomie empfohlen (73).

Als Nachteil kann der größere Operationszugang gezählt werden, wodurch in Folge des Nahtverschlusses ein chirurgisch induzierter Astigmatismus (CIA) möglich ist. Eine aus der Fixation an der Iris resultierende Pupillenverziehung, sowie eine eingeschränkte Mydriasis sind weitere Komplikationen dieser Technik (73). Als ein weiterer Nachteil muss gerade bei den winkelgestützten VKL's die Linsengröße gesehen werden. Diese Linsen gibt es nur in bestimmten Größen, weshalb Komplikationen bedingt durch eine nicht adäquate Linsengröße leichter auftreten können (68). So können durch zu kleine Linsen, durch Dislokation oder intraokulare Rotation, die Endothelzahl partiell verloren gehen oder durch Kammerwinkelverletzungen und daraus folgender Goniosynechien ein Sekundärglaukom induziert werden (68).

### **5.5. Irisfixierte Linse und Irisklauenlinse nach Worst**

Die irisfixierten Linsen wurden erstmals 1953 (Collar Stud Lens) an der vorderen Iris angebracht (44). Dabei kam es häufig zu Irispigmentepitheldefekten und zu Pigmentdispersionsglaukomen, was in einigen Fällen bis hin zur Hornhautdekompensation führen konnte. Daher wurde diese Linse weiter zunächst von Binkhorst 1957 in Form einer Iris-Clip-Linse mit 4 Haptiken modifiziert. Zahlreiche weitere Modifikationen fanden zwischenzeitlich statt, jedoch mussten aufgrund ständiger Dislokationen diese Linsen an der Iris allerdings durch Nahttechniken befestigt werden. Für einen stabileren und besseren Halt entwickelte Jan Worst (43) die Irisklauenlinse, eine rigide PMMA- IOL, welche normalerweise bei einer intakten und stabilen Iris in die Vorderkammer mit seiner klauenartige Haptiken an dem vorderen Irisstroma befestigt wird und präsentierte seine Ergebnisse 1971 (74). Neben der

Hornhautdekomensation wurden auch zystoide Makulaödeme, Astigmatismus, Pupillenverziehungen und Pigmentdispersionsglaukome zu den möglichen Risiken gezählt.

## **5.6. Hinterkammerfixation**

Im Bereich der Hinterkammer können die sekundären IOL's zum einen skleral-/intraskleral fixiert, zum anderen aber auch an der Iris fixiert, oder durch IKL retropupillär angebracht werden.

## **5.7. Sklerale Fixationstechniken**

### **5.7.1. Transsklerale Nahtfixation**

Thomas G.W. Parry führte zum ersten Mal 1954 eine erste Nahtfixation einer Ridley-Linse mit Tantal, einem verformbaren und inertem Metall erfolgreich durch (75). Hinsichtlich der Fadenführung wird die transsklerale Nahtfixation unterschieden in eine Ab-Externo- und einer Ab-Interno-Technik. Bei der Ab-interno-Methode wird die Nadel durch einen Tunnel nasal und temporal in das Irisdiaphragma geführt und ohne Sicht transskleral von innen nach außen in dem Bereich des Sulcus ausgestochen. Nachdem die Linse zentriert wird, werden die Fäden unter den Sklerallappen eingeknotet. Hier ist das Risiko einer postoperativen Ziliarkörperblutung und IOL Verkippung bei fehlender Sicht und kollabiertem Sulcus durch Hypotonie sehr hoch. Dagegen wird bei der Ab-externo-Methode unter tonisierten Verhältnissen, die Nadel von außen nach innen durch die Sklera gestochen und erst danach wird der Tunnel präpariert. Dadurch sind Risiken wie Fadenverlegungen, wie sie bei einer möglichen Malpositionierung auftreten können, Blutungen, IOL-Verkippung und Netzhautablösung deutlich geringer geworden. Bei beiden Techniken werden auf die gleiche Weise eine vordere Vitrektomie, posteriore Adhäsiolyse, sowie die Entfernung der verbliebene Kapselreste durchgeführt. Die IOL wird mittels eines nichtresorbierbaren monofilamenten Faden z.B. Prolene® (Ethicon Inc., Cornelia, Georgia, USA) an der Sklera fixiert. Ferner kann bei der transskleralen Nahtfixation die Schnittlänge sich unterscheiden. Um bei der Verwendung von ungefalteten Linsen einen größeren Zugang zu vermeiden, kann mittels Kleinschnittinjektorimplantation ein deutlich kleinerer Zugang gewählt werden.

Generell müssen die angebrachten Polypropylenfäden an der Sklera fixiert und die freiliegende Knoten entweder versenkt oder gedeckt werden. Es empfiehlt sich daher

zu Beginn des Eingriffes ein Skleralappen limbusnah zu präparieren und nach Einsetzen der Linse und Anbringen der Fixationsnähte, diese Knoten mit dem Skleralappen zu bedecken (76). Hierdurch kann das Risiko einer Fadenerosion und das Auftreten einer Endophthalmitis minimiert werden.

Alternativ kann der Knoten nach innen rotiert werden, was nachfolgend beschrieben wird. Der zur Fixation der Linse verwendete doppelt-amierte Faden wird zunächst durch die Schlaufe der IOL gezogen. Anschließend werden beide Nadeln durch die Sklera geführt. Mit der hierbei entstehenden Schlaufe kann der Knoten umschlungen werden und durch Zug nach innen rotiert werden (70, 77). Allerdings ist diese Technik mit vierfachem Sulkusdurchstich schwieriger und die Anwendung einer Kleinschnitttechnik ist hierbei nicht möglich. Somit ist eine größere Schnittführung notwendig, was wiederum deutlich häufiger mit deren Folgen wie größere Narbenbildung und narbige Verziehungen assoziiert ist (69).

Ferner zeigte Solomon, dass der lamelläre Skleralappen im Verlauf atrophieren kann, wodurch die knotenbedingte Bindehauterosion zwar verlangsamt, aber nicht verhindert wird (78).

Die Durchführung einer U-Naht mit Bildung eines Skleragraben stellt eine weitere Alternative dar. Hier soll der Knoten in einem eigens hierfür geschaffenen skleralen Graben versenkt werden (69). Anstelle eines lokalen Skleraläppchens, welcher den Knoten bedecken soll, wird parallel zum Limbus an der Stelle des Fadendurchtrittes ein Graben angelegt, in welchem der Knoten versenkt wird. Dies erfolgt durch Inzisionen auf zwei und acht Uhr bzw. auf vier und zehn Uhr der Sklera (69, 79). Ähnlich hierzu und technisch gesehen deutlich einfacher ist die Z-Naht. Durch eine fünfmalige z-förmige intrasklerale Durchstichsnaht benötigt es am Ende keine Knotenfixation und der Faden kann auf Skleraniveau abgeschnitten werden (80).

### **5.7.2. Intrasklerale Fixation**

Generell konnten aufgrund modifizierter Nahttechniken, sowie durch die Injektor-Implantation in Kleinschnitttechnik die Risiken für Komplikationen reduziert werden. Es verbleibt jedoch eine längere Operationsdauer, sowie bei bestehender chirurgischer Komplexität spezifische Komplikationen wie die IOL Dezentrierung, Blutungen, Hypotonie, Fadenerosionen, Endophthalmitis und Netzhautablösung weiterhin bestehen (69).

Diese Nachteile führte bei einigen Operateuren dazu, die Technik derart zu modifizieren, so dass bei der intraskleralen Linsenimplantation, die Haptiken der dreistückigen Linse im Sulcus ciliaris über zwei intrasklerale Tunnel nahtlos fixiert wird (81).

2006 veröffentlichten Szurmann et al. in einer Pilotstudie eine neue nahtlose Kleinschnittinjektorimplantation einer sklerafixierten Faltlinse über einen temporalen 2,75 mm breiten Tunnel. Bei dieser Methode konnte ein stabiler Linsensitz ohne Pseudophakodonesis oder IOL-Verkipfung beobachtet werden. Es konnte keine Hypotonie nachgewiesen werden und die lokale Transilluminationsdefekte führten auch zu keinem Pigmentdispersionsglaukom (82).

Parallel hierzu entwickelte Scharioth et al. 2010 eine weitere Technik zur nahtlosen intrasklerale Fixationstechnik einer dreistückigen IOL (81).

So wird nach der von Gabor et al. berichteten Technik mit einer 24-Gauge-Nadel durch eine Sklerotomie ein zum Limbus parallel ausgerichteter Skleratunnel angelegt (83). Hiernach wird mittels eines Injektors eine dreistückige IOL mit einer Haptik eingebracht und die Haptik auf Höhe der Hornhautinzision fixiert (83).

Agarwal et al. verwendeten hingegen für eine nahtlose Implantation einer Hinterkammerlinse Fibrinkleber (84). Mit einer 22 Gauge Nadel werden zwei 180° zueinander liegende Sklerotomien unter dem vorhandenen Skleralappen im Abstand von 1,5 mm zum Limbus angelegt. Die nach außen gerichtete Haptiken wurden unter den Lappen platziert und mit einem Fibrinkleber am Sklerabett befestigt. Die Nachteile dieser Methode sind Wundleckage, Fremdmaterial, postoperative Hypotonie, sowie die höheren Kosten, die mit dem Gebrauch des Fibrinklebers entstehen (84).

Yamane et al. beschrieben 2014 die sog. „double needle flanged technique“. Hier wurde zuerst mittels zweier 27-Gauge-Nadel zwei gegenüberliegende Sklerotomien im Abstand von 2 mm zum Limbus durchgeführt (85, 86). Die Externalisierung der Haptiken erfolgte, in dem sie zuerst mittels einer Mikropinzette in das Lumen der 27-Gauge-Nadel versenkt und nachfolgend beide Nadeln gleichzeitig aus der Sklera herausgezogen wurden (85, 86).

### **5.7.3. Irisnahtfixation**

Die Irisnahtfixation ist eine weitere Option IOL's an der Hinterkammer zu fixieren. Hier wird der Einsatz von faltbaren dreistückigen IOL's, welche schnurrbartförmig gefaltet und in das Auge eingeführt werden können, empfohlen. Nach Entfaltung der Haptiken

retropupillär, wird die Optik von der Hinterkammer im Bereich der Vorderkammer auf dem Irisdiaphragma zentriert („optic capture“). Anschließend werden die Haptiken mit der McCannel-Naht an der Iris fixiert. Wichtige Voraussetzungen sind eine intakte Anatomie der vorderen Segmente, insbesondere des Irisstomas mit seiner Sphinkter Funktion.

Eine IOL- Dislokation/-Verkipfung, eine Pigmentdispersion mit und ohne intraokularen Druckanstieg zählen hier zu den häufigsten Komplikationen. Mit der Zeit wurde die Technik weiter modifiziert und somit konnte die Irisnahtfixation sicherer und effektiver gemacht werden (75). Die Operationsmethode ist jedoch sehr anspruchsvoll und zeitintensiv (75, 87).

Die Hinterkammerlinsen besitzen den Vorteil, dass durch ihre Fixation an der Sklera und des physiologisch größeren Abstandes zum optischen System und gerade aufgrund der Entfernung zur Hornhaut, der Endothelzellzahlverlust vermutlich geringer ist (88, 89).

### **5.8. Retropupilläre Fixation der Irisklauenlinse**

Die retropupilläre IKL Fixation wurde erstmals durch Amar 1980 beschrieben. Er positionierte die Linse in analoger Technik zur Vorderkammerfixation. Hierdurch traten erhöhte Komplikationen, wie ein erhöhter Pigmentabrieb auf, da zwischen der Linse und des Hornhautendothels zum Teil nur wenige Millimeter Raum zur Verfügung standen (90). Mohr et al. beschrieben 2002 eine neuartige retropupilläre IKL Fixationstechnik, wobei hier die IKL invers in die Hinterkammer eingebracht wird (52). Die Überlegung war seitens der Arbeitsgruppe, dass generell die Implantation einer IKL in der Hinterkammer als besonders physiologisch gesehen werden kann und Risiken wie intraoperative Blutungen, wie sie regelmäßig beim Nahtfixationsstich durch den Ziliarkörper auftreten, reduziert werden können (52). Ferner liegt bei der IKL Implantation u.a. das Risiko einer induzierten Endophthalmitis niedriger als bei den anderen Techniken (52). Trotzdem befürchten einige Ophthalmochirurgen, dass durch die Implantation einer IKL das Auftreten einer postoperativen Endotheldekompensation oder eines zystoiden Makulaödems begünstigt werden könnte (52). Hinzu kommt, dass für die Implantation einer IKL in der Vorderkammer, diese mindestens 3 mm Tiefe messen sollte, was bei kurzen Augen nicht der Fall ist und somit eine IKL Implantation in die Vorderkammer nicht möglich ist (52).

Aufgrund der neuartig angewinkelten Haptiken der IKL sahen Mohr et al. ein vertretbar niedrigeres Risiko für Endothelzellenverlust, wie sie bei der Technik von Amar aufgetreten ist (52). Insgesamt konnten Mohr et al. 2002 erfolgsversprechende Ergebnisse präsentieren, bei gleichzeitiger Darstellung einer verhältnismäßig einfachen Operationstechnik mit geringen perioperativen Risiken. Kritisch muss jedoch gesehen werden, dass es sich hierbei um Einjahresdaten und eine kleine Patientengruppe von insgesamt 48 aphaken Augen handelt (52). Ferner hat Mohr et al. den Endothelzellverlust nicht untersucht (52). Heutzutage ist die Technik der retropupillären IKL Fixation zunehmend etabliert und findet viele Befürworter.

### **5.9. Endothelzelldichte**

Das Endothel der Hornhaut ist für die Transparenz der Linse notwendig. Bekannterweise verliert die Hornhaut physiologischerweise im Verlauf der Jahrzehnte durchschnittlich 0,3-0,6 % pro Jahr an seiner Gesamtendothelzellzahl. So liegen zum Zeitpunkt der Geburt rund 4000-5000 Zellen/mm<sup>2</sup> vor, während bei einem 40-jährigen durchschnittlich rund 3000 Zellen/mm<sup>2</sup> und bei einem 70-Jährigen rund 2000 Zellen/mm<sup>2</sup> vorhanden sind (8). Je weniger Endothelzellen vorhanden sind, desto höher ist das Dekompensationsrisiko und Trübung der Hornhaut, wodurch die Sehkraft eingeschränkt wird.

Die durch die Abnahme der Endothelzelldichte entstandenen Lücken werden durch Größen-, bzw. Volumenzunahme der noch vorhandenen Zellen ausgeglichen. Die Ursache des allgemeinen Endothelzellverlust ist bislang noch nicht gänzlich geklärt (91). Einzelne Studien haben bislang zeigen können, dass bei Vorliegen von chronischen Erkrankungen wie Diabetes mellitus, Glaukom, Pseudoexfoliations-Syndrom, sowie repetitiver Kontaktlinsenabusus zu einer Reduktion von Endothelzell-dichten kommen kann (92-94).

In dieser Arbeit lag der Endothelzellverlust in der Gesamtgruppe bei 5,5 %. So betrug die präoperative Zahl durchschnittlich 1844 Zellen/mm<sup>2</sup> [1014-3787] und postoperativ 1743 Zellen/mm<sup>2</sup> [848-3610]. In der Gruppe jener Patienten unter 65 Jahre betrug der Endothelzellverlust 3,9 % und in der Gruppe der Patienten über 65 Jahre 8,4%.

In der Literatur wird der Endothelzellverlust in Augen nach Linsenimplantation und in Abhängigkeit des Implantationsortes 8-mal höher als in nicht operierten Augen beschrieben (95). Gicquel et al. zeigte, dass die präpupilläre IKL Implantation zu

einem höheren Endothelzellverlust führt, verglichen zu der retropupillären IKL Implantation (96).

Andere Arbeiten zeigten einen niedrigeren Verlust des Endothels. So zeigte Güell et al. in 128 aphaken Augen mit präpupillärer IKL Implantation ohne Vorliegen eines adäquaten Kapselsackhalteapparates im ersten postoperativen Jahr ein Verlust von 7,8%, im 2. Jahr ein Verlust von 17,7%, im 3. Jahr ein Verlust von 24,2 %, im 4. Jahr ein Verlust von 17,0% und im 5. Jahr ein Verlust von 12,3 % (68). In unseren Daten betrug in einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 33 Monaten der Gesamtverlust der durchschnittlichen Endothelzellzahl 5,5%. Werden diese Daten in Anlehnung an Güell et al. (68) verglichen, so zeigt sich in unserem Patientenkollektiv der retropupillären IKL Implantation nach 2 Jahren ein Endothelzellverlust von 6,2 % und nach 3 Jahren von 7,5 %, während im gleichen Zeitraum Güell et al. hingegen einen deutlich höheren Verlust an Endothelzellen von 17,7 % bzw. nach 3 Jahren von 24,2 % zeigten. Hier wurde die IKL in die Vorderkammer implantiert und es zeigte sich in deren Ergebnissen ein statistisch signifikanter Abfall der durchschnittlichen Endothelzellzahl ( $p < 0,05$ ) (68). Ob durch unsere Technik tatsächlich der Verlust des Endothels tendenziell weniger ist, als bei der präpupilläre IKL Implantation lässt sich anhand der verschiedenen Studienmodelle nicht belegen. Ein signifikanter Abfall der mittleren prä- und postoperativen Endothelzellendichte konnte statistisch jedoch nicht belegt werden. Das gleiche gilt für die Unterteilung der Patienten entsprechend ihres Alters. Auch hier konnte in der Gruppe  $< 65$  Jahre und  $\geq 65$  Jahre kein signifikanter Unterschied zwischen der Endothelzellendichte prä- zu postoperativ gezeigt werden ( $p > 0,05$ ).

Eine Mehrzahl an Arbeiten wie z.B. die von Toro et al. von 2019 oder Helvaci et al. von 2016 bestätigen, dass der Endothelzellverlust prä- und postoperativ sich nicht signifikant unterscheiden (97, 98), es gibt aber auch wenige Arbeiten, wie die von Tourino et al. von 2018 (8,7% Endothelzellverlust nach 1 Jahr) oder Anbari und Lake (12% Endothelzellverlust nach 2 Jahren) die einen postoperativen Abfall der Endothelzellzahl beschreiben (99, 100). In der Gesamtheit der aktuellen Veröffentlichungen wird die Meinung vertreten, dass der postoperative Abfall der Endothelzellzahl nicht signifikant ist.

### **5.10. Augeninnendruck**

Der Augeninnendruck (IOD) beträgt physiologisch zwischen 9 und 21 mmHg. Steigt der Druck deutlich über 21 mmHg können akute Druckschädigungen am Sehnerv mit Sehverlust auftreten.

In der vorliegenden Arbeit lag im Verlauf der Untersuchung weder ein deutlicher Anstieg, als auch kein deutlicher Abfall des Augeninnendruckes vor. In zwei Fällen trat postoperativ eine selbstlimitierende Hypotonie auf. So bestand präoperativ der mittlere Augeninnendruck bei 16,7 mmHg und postoperativ im Durchschnitt bei 15,2 mmHg. In der Literatur werden ähnliche Ergebnisse beschrieben. Toro et al. hatten in ihrer Arbeit in zwei Gruppen die Implantation der Irisklauenlinse miteinander verglichen (97). So wurde in einer Gruppe von 87 Patienten die IKL in die Vorderkammer und in 93 retropupillär implantiert. Die klinische Nachsorge erfolgte eine Woche, einen Monat und 5 Jahre postoperativ. Es zeigte sich hier, dass bei 16 Patienten nach Implantation der IKL in die Vorderkammer und bei 21 Patienten nach Implantation der IKL retropupillär, in der ersten postoperativen Woche aufgrund von einem erhöhten Augeninnendruck eine medikamentöse Behandlung benötigt wurde (97). Hierbei erfolgte in der Regel als Monotherapie die Gabe von Dorzolamide oder Timolol (97). Im weiteren Verlauf fiel kein erhöhter Augeninnendruck mehr auf und auch zwischen den beiden Gruppen gab es keinen statistischen Unterschied. Hier wurde eine komplette vordere Vitrektomie prophylaktisch zur Verhinderung einer dauerhafte Augendruckerrhöhung durchgeführt (97).

Zu einem ähnlichen Ergebnis kam die Gruppe um Jare et al. (101) Sie konnten einen IOD Anstieg in der ersten postoperativen Woche bei 3 von 108 Patienten nachweisen. Wie hoch der intraokulare Druck anstieg, wurde nicht beschrieben, dafür jedoch, dass für eine Drucksenkung eine Intervention mit einem Nd: YAG PI Laser notwendig wurde. Nach 6 Monaten war kein erhöhter IOD bei allen Patienten messbar (101, 102). Durch die inverse retropupilläre Implantation der Irisklauenlinse, wird durch Ihre gewölbte Form genügend Abstand zu der Rückseite der Iris gewährleistet, wodurch ein Pupillarblock vermieden werden kann (53). Daher kann die Durchführung einer prophylaktischen Iridektomie kontrovers diskutiert werden (98).

Eine prophylaktische Iridektomie haben wir daher nicht durchgeführt und haben in unserem Patientenkollektiv auch keinen Pupillarblock nachweisen können.

### **5.11. Mittlerer bestkorrigierter Fernvisus (BCVA)**

Ziel der IKL und anderen Kunstlinsen ist es, dass der Visus hierdurch verbessert wird. Verbessert sich der logMar um 0,3 steigt die Sehkraft um 50%. Insgesamt wurde in 50 von 62 (80,6%) der Augen ein Visusanstieg postoperativ nachgewiesen, wobei in 54,8% insgesamt eine Besserung des Visus von mindestens logMar 0,3 oder ein Anstieg der Sehkraft von mindestens 50% nachgewiesen werden konnte. Das in 2 Augen der BCVA postoperativ schlechter als präoperativ war, bzw. in 10 Augen sich der BCVA nicht verändert hat, liegt möglicherweise daran, dass die Augen bereits deutlich vorgeschädigt waren. So zeigte de Silva et al., dass eine fehlende Visusrehabilitation am ehesten daran liegt, dass die operativ versorgten Augen bereits deutlich vorgeschädigt sein könnten, bzw. die Linsen im Rahmen einer komplizierten Kataraktchirurgie eingebracht werden und dies das postoperative Ergebnis negativ beeinflussen kann (65).

Güell et al. zeigten in seiner Arbeit, dass ein BCVA  $\geq 20/40$  präoperativ bei 23,43% der Augen vorlagen und postoperativ ein BCVA  $\geq 20/40$  nach Implantation der IKL in die Vorderkammer bei 45,31% lag (68). Ähnliche Ergebnisse zeigten die Daten von Silva et al. So wurden hier in 116 Augen der postoperative BCVA verglichen und es zeigte sich, dass in 68,9% der Augen ein Wert von 6/12 oder besser vorlag (65). Allerdings ist die Verwertung des Ergebnisses eingeschränkt, da keine präoperative BCVA Dokumentation durchgeführt wurde.

In unseren Daten lag präoperative in 46,77 % der Augen ein BCVA  $\geq 20/40$  vor und postoperativ von 83,87%.

Insgesamt zeigen unsere Daten mit einem postoperativen BCVA von 20/40 (logMar 0,3, 6/12) oder besser in 83,87% der Augen ein zufriedenstellendes Ergebnis.

Damit können wir zeigen, dass durch die retropupilläre Fixation der IKL eine bessere postoperative Visusrehabilitation möglich erscheint.

Nach einer Kataraktoperation wird als weiteres Phänomen die Pseudophakoiridodonesis beschrieben. Hierunter versteht man, dass zum einen die Linse (Pseudophakodonesis), zum anderen die Iris (Iridodonesis) sich mitbewegen können. Dies ist bei allen Formen der IOL-Implantationen möglich und kann zu refraktiven Schwankungen führen. Solche Iris- und IOL-Bewegungen sind als Folge der Kammerwasserschwingungen, welche wiederum durch die Glaskörperbewegungen induziert werden, beschrieben worden. Schöpfer et al. zeigten, dass bereits bei Kopfbewegungen bei Patienten mit einer retropupillär fixierten IKL von einer

retroklinierten zur inklinierten Kopfhaltung, sich die Vorderkammertiefe um rund 0,155 mm ändert. Sie vermuten, dass diese Veränderung zum einem durch die Gravitationsenergie, zum anderem durch eine Pseudoakkommodation verursacht wird (103). Mönestam et al. berichten in ihrer retrospektiven Studie, dass das Auftreten einer Pseudophakodonesis im Allgemeinen 0,7% betragen kann (104). Das Auftreten einer moderaten Pseudophakodonesis trotz einer komplikationslosen Kataraktoperation mit IOL Implantation im Kapselsack kann hingegen in bis zu 1,4% der Fälle vorliegen (104).

Kumar et al. haben in Rahmen einer Studie eine höhere Pseudophakodonesis-Inzidenz in der Gruppe mit retropupilläre Irisklauenlinsenfixation, verglichen zu anderen IOL Gruppen beschrieben. Als Ursache sehen sie einen konstanten mechanischen Zug durch die IKL am Irisgewebe, was wiederum im Verlauf zu einer Schwäche des Irisstroma führen kann. Sie konnten auch einen signifikanten Unterschied in der BCVA in den Gruppen zeigen (105).

## **5.12. Subjektiver Zylinder**

Astigmatismus ist ein Phänomen im optischen System. Dabei können sich die einfallenden Lichtstrahlen durch Krümmungsvariationen der brechenden Medien nicht zu einem Punkt vereinigen. Hier erfolgt die Korrektur des Astigmatismus mit Hilfe eines Zylinderglases.

Insgesamt zeigte sich in den 62 untersuchten Augen aus unserer Arbeit ein postoperativ geringgradiger und statistisch nicht signifikanter Anstieg des subjektiven Zylinders von +1,46 dpt auf +1,61 dpt. In der Gruppe der unter und über 65-jährigen zeigt sich jeweils ein vergleichbares Ergebnis, welches ebenfalls statistisch gesehen keinen Unterschied zeigte.

Die Ursache für den leichtgradigen Astigmatismus Anstieges ist vermutlich der chirurgisch induzierte Astigmatismus (CIA) durch die operative Anlage eines größeren Tunnels. Das Risiko für das Auftreten eines chirurgisch induzierten Astigmatismus, welcher nach Kataraktoperation regelmäßig auftreten kann, ist von der Länge und Weite der Schnittführung, der Position der Hauptinzision, sowie dessen relativer Abstand zum Limbus abhängig (106).

Je kürzer die Schnittführung und je peripherer der Schnitt zur Hornhaut gewählt wird, desto geringer ist das Risiko eines induzierten Astigmatismus (107).

Ein Nachteil der Irisklauenlinse ist der große Zugang von 5,5 mm aufgrund des formstabilen Durchmessers der IKL, was einen chirurgisch induzierten Astigmatismus begünstigt. In unserer Studie haben alle Patienten einen sklero-kornealen Schnitt von 5,5 mm bei 12 Uhr erhalten, welches am Ende der Operation mit einer Nylon 10/0 Einzelknopfnahnt verschlossen wurde.

Sekundo et al. berichteten über einen geringeren chirurgisch induzierten Astigmatismus bei sklero-kornealen Schnitt (+0,75 dpt) im Vergleich zu kornealer Inzision (+1,2 dpt) (108).

In einer randomisierten Studie konnten Olsen et al. in der Gruppe mit skleralen Inzision eine geringere CIA zu der Kontrollgruppe mit kornealem Schnitt zeigen (109). Baykara et al. bevorzugten einen nahtlos skleralen Tunnel (64).

### **5.13. Sphärisches Äquivalent**

Das sphärische Äquivalent beschreibt den mittleren Wert der Refraktion. Je mehr sich der Wert an 0 nähert, desto mehr ist das Auge emmetrop und somit normalsichtig.

Vor Implantation zeigte sich in unseren Daten durchschnittlich ein sphärisches Äquivalent von  $+5,04 \pm 7,25$  dpt (Min: -10,25 dpt; Max: +16,00 dpt), nach der Irisklauenlinsen Implantation verbesserte sich das sphärische Äquivalent auf durchschnittlich  $-0,21 \pm 1,01$  dpt (Min: -4 dpt; Max: +3 dpt), was statistisch signifikant war ( $p < 0,0001$ ). Die retropupilläre Implantation der IKL zeigt somit einen hohen Anteil an nahezu postoperativen emmetropen Augen. Die Effekte konnten sowohl in der Gesamtzahl der untersuchten Augen als auch in Abhängigkeit der Altersstufen gezeigt werden.

Die Berechnung der Linsenstärke erfolgte durch die Verwendung von IOL-Formeln, unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie Achsenlänge, Hornhautbrechkraft, Vorderkammertiefe, sowie die sogenannte A-Konstante. Diese ist für jede Intraokularlinse spezifisch und ist international durch den „*User Group for Laser Interference Biometry*“ (ULIB) vorgegeben. Die verschiedenen Biometrieformeln werden in empirische Regressionsformeln und theoretische optische Formeln unterteilt. Die reinen empirischen Formeln zur Berechnung von Intraokularlinsen werden heutzutage nicht mehr verwendet, sondern eine Kombination von empirischen und theoretischen Formeln und zur Kalkulation der Linsenstärke können verschiedene Formeln verwendet werden. Alle Formeln berücksichtigen die Winkelgrade der Haptiken und das Linsenmaterial bzw. deren Position gleichwertig. Zu den

bekanntesten gehören hier die Haigis-Formel, die SRK/T, die Holladay I und II, Hoffer Q, sowie die Sanders Formel (110, 111).

In unsere Studie wurde mit der SRK/T-Formel unter Berücksichtigung der A-Konstante von 117.0 für die retropupilläre Implantation ausgewählt.

#### **5.14. Komplikationen**

Während in der Literatur Komplikationsraten von bis zu 44 - 66,7 % nach der Implantation von Irisklauenlinsen berichtet werden (65, 97), lag unsere Komplikationsrate mit 17,7% niedriger. Schwere Komplikationen wie z.B. Retinaablösung, revisionspflichtige Einblutungen, oder ein operativ behandlungspflichtiger Anstieg des intraokularen Druckes wurden nicht dokumentiert. In 2 Augen (3,2%) konnte eine querovale Pupillenverziehung beobachtet werden, die am ehesten durch eine mechanische Einklemmung der Pupille bedingt war.

In der Vergleichsliteratur liegt diese Zahl bei Baykara et al. mit 12,7% und Forlini et al. mit 5% zum Teil deutlich höher (53, 64).

Eine selbstlimitierende früh postoperativ aufgetretene passagere Hypotonie lag in unserem Patientenkollektiv bei 2 Augen (3,2%) vor. Mansoori et al. berichten hingegen von einer passageren postoperativen Hypertonie von über 7,4 % der Fälle, welche mit lokalen Steroiden behandelt werden mussten (112). Toro et al. beobachteten eine postoperative Hypotonie in 1,1% in ihrem Patientenkollektiv, welcher bedingt durch eine Wundleckage war und eine operative Nahtrevision benötigte (97).

Das zystoide Makulaödem (CMÖ) trat in unserer Gruppe viermal auf (6,4%), während Toro et al. in ihrer retropupillären Gruppe eine niedrige Inzidenz von 2,1% zeigte (97). 2 von 4 Patienten aus unserer Gruppe waren voroperiert (vitrektomiert) was evtl. hier einen Einfluss in der Entwicklung eines Makulaödems genommen haben könnte. In der Literatur werden bei der Verwendung anderer Techniken zur IOL Fixation z.T. deutlich höhere CMÖ Raten angegeben. So liegt das Risiko für das Auftreten einer CMÖ bei Linsen, die vorderkammerwinkel-gestützt implantiert werden bei 0-33% (113, 114) und bei sulkusfixierten IOL's bei rund 0-7,6% (115, 116). Irisnaht-fixierte Hinterkammer IOL's zeigen in 0-17,6% eine CMÖ. Wird die IOL hingegen skleral fixiert, beträgt das Risiko einer CMÖ zwischen 5,8 und 33 % (117, 118).

Im Allgemeinen wird das Risiko einer CMÖ bei der retropupillären IOL Fixation mit 4,1 – 4,8 % angegeben (52, 119).

Als weitere Komplikationen konnte in unsere Studie eine spontane Deenklavation einer Haptik in einem Auge (1,6%), sowie eine traumatische Deenklavation einer Haptik in 2 Augen (3,2%) beobachtet werden. Dies ist eine beachtliche Komplikation einer Irisklauenlinse was traumatisch bedingt oder evtl. durch Produktionsfehler, sowie durch einen mangelhaften Halt durch Gewebsschwäche an der Iris zustande kommen kann (120, 121). Daher empfiehlt Sekundo 2014 eine retropupilläre Sanierung der Glaskörper für eine bessere und sichere Enklavation der Irisklauenlinse (120). Eine weitere in der Literatur beschriebene These für eine postoperative Deenklavation ist eine intraoperativ aufgetretene und nicht bemerkte iatrogene Deformierung der Haptiken (122). Forlini et al. berichten in über 0,8% eine spontane Deenklavation einer Haptik (53). Schiedel et al. konnten in 3% der Augen eine spontane Deenklavation und in 2% der Fälle eine traumatische Deenklavation einer Haptik nach retropupillär fixierte Irisklauenlinse kombiniert mit Vitrektomie beobachten. Sie berichten, dass bei einem Patienten nach einer Refixation der Haptik direkt am ersten postoperativen Tag eine erneute Deenklavation aufgetreten sei und hier sich eine iatrogene mechanische Deformation der Klaue nach der Revision gezeigt habe. Die Linse wurde durch eine neue IKL anschließend ersetzt (123).

Die Reenklavation einer deenklavierten Irisklauenlinse ist allgemein sehr umstritten. So ist Sekundo der Ansicht, dass eine Deenklavation unbedenklich sei da es nie gleichzeitig zur eine beidseitige Deenklavation kommen kann und eine Reenklavation über 2 korneale Zugänge schnell, einfach und effektiv durchgeführt werden kann (120). Brockmann et al. sind im Rahmen ihrer Studie über die morphologische Abwandlung der Irisklauenlinse nach einer traumatische Deenklavation der Meinung, dass statt einer Reenklavation und möglicher Deformation der Haptik, die IOL durch eine neue IKL ersetzt werden sollte (127).

## **6. Zusammenfassung**

Die Implantation einer IOL bei fehlendem Kapselsackapparat stellt heutzutage weiterhin eine große Herausforderung dar. Der Linsenersatz sollte bereits in dieser anspruchsvollen Situation idealerweise komplikationsfrei sein und soweit wie möglich das beste visuelle Ergebnis erzielen. Fehlt der Kapselsackhalteapparat, dann müssen für die Implantation der IOL besondere Fixationstechniken angewendet werden. Zu unterscheiden sind Fixationstechniken in der Vorderkammer, wie die kammerwinkelgestützte VKL, die Irisfixierte Linse und die Irisklauenlinsen. Alternativ können die IOL's auch in der Hinterkammer des Auges platziert und fixiert werden. Hier gibt es sklerale Fixationstechniken (trans-/intrasklerale Fixation), Irisnahtfixation, oder die retropupilläre Fixation einer Irisklauenlinse.

Tendenziell scheinen Irisklauenlinsen gute postoperative Ergebnisse zu erzielen. Die Implantation der IKL in die Vorderkammer wird seit mehreren Jahren durchgeführt und sowohl die Techniken als auch die Linsen wurden bislang regelmäßig modifiziert. Neu ist jedoch nun die Platzierung der IKL in inverser Technik in die Hinterkammer und deren retropupilläre Fixation, welche 1980 erstmals durch Amar beschrieben wurde. Er führte allerdings die Linse in konvex-planem Strahlengang analog zur Implantation in der Vorderkammer ein und fixierte diese retropupillär. Aufgrund des geringen Abstandes der Linse zum Pigmentepithel sind jedoch zumindest chronische Reizungen zu erwarten und Langzeitergebnisse hierzu liegen nicht vor. Mohr et al. hat 2002 erstmal den *off-Label use* einer IKL Implantation in die Hinterkammer in inverser Technik beschrieben. So bieten die neuen Irisklauenlinsen zusätzlich abgewinkelte Haptiken, weshalb nach der Implantation ein genügend größerer Abstand der IKL zum Pigmentepithel zu erwarten ist.

Die Auswertung unserer retrospektiven Untersuchung der retropupillären IKL Fixation bei phaken, aphaken und pseudophaken von insgesamt 62 Augen zeigte einen Endothelzahlverlust von 5,5% postoperativ. Ein statistischer Unterschied konnte hier nicht gezeigt werden. In unserem Patientenkollektiv trat postoperativ kein behandlungspflichtiger Anstieg des intraokulären Druckes auf, gleichwohl wir auf eine prophylaktische Iridektomie verzichtet haben. Bei keinem Patienten trat ein postoperativer Pupillarblock auf. Ferner zeigte sich eine Besserung des sphärischen Äquivalents. Hier betrug das sphärische Äquivalent präoperativ  $5,04 \pm 7,25$  dpt und postoperativ  $-0,21 \pm 1,01$  dpt ( $p = 0,0009$ ). Eine durchschnittlich geringe Zunahme des

subjektiven Zylinders von 1,46 dpt auf 1,61 dpt haben wir verzeichnen können. Die Patienten waren soweit beschwerdefrei. Schwere, bzw. revisionspflichtige Komplikationen haben wir bei keinem unserer Patienten verzeichnet. Mit einer Komplikationsrate von 17,7% lagen unsere Komplikationen zudem niedriger als die in der Literatur angegebene Rate von 44 – 66,7%.

Somit folgern wir, dass die retropupilläre IKL Implantation eine zuverlässige, sichere, endothelzellschonende und zeitsparende Behandlungsmethode bei Patienten mit fehlendem Kapselsackapparat darstellen kann.

## **7. Literaturverzeichnis**

1. Bron AJ, Tripathi RC, Tripathi BJ. Wolff's anatomy of the eye and orbit. 1997; 8th ed. Chapman & Hall Medical. pp. 233-278.
2. Hart MW. Adler's physiology of the eye. 1992; St Louis, USA, 9th ed. p.29-65.
3. Yanoff M, Fine BS. Ocular Pathology. 2009; 6th ed. Mosby Elsevier p. 256.
4. Duke-Elder S, The Blood vessels of the orbit, system of ophthalmology: anatomy of the visual system. 1961. p.467.
5. Newsome DA, Gross J, Hassell JR. Human corneal stroma contains three distinct collagens. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1982;22(3):376-81.
6. Dua HS, Faraj LA, Said DG, Gray T, Lowe J. Human corneal anatomy redefined: a novel pre-Descemet's layer (Dua's layer). Ophthalmology. 2013;120(9):1778-85.
7. Bourne WM. Biology of the corneal endothelium in health and disease. Eye (Lond). 2003;17(8):912-8.
8. Shaaban YM, Badran TAF. Three-Year Effect of Phakic Intraocular Lenses on the Corneal Endothelial Cell Density. Clin Ophthalmol. 2020;14:149-55.
9. Rao SK, Ranjan Sen P, Fogla R, Gangadharan S, Padmanabhan P, Badrinath SS. Corneal endothelial cell density and morphology in normal Indian eyes. Cornea. 2000;19(6):820-3.
10. Zheng T, Le Q, Hong J, Xu J. Comparison of human corneal cell density by age and corneal location: an in vivo confocal microscopy study. BMC Ophthalmol. 2016;16:109.
11. Lens Disorders: A Clinical Manual of Cataract Diagnosis. Archives of Ophthalmology. 1998;116(2):263-4.
12. Charman WN. Optical modelling of the possible origins of transient refractive changes in diabetic patients. Ophthalmic Physiol Opt. 2012;32(6):485-91.
13. Glasser A, Kaufman PL. The mechanism of accommodation in primates. Ophthalmology. 1999;106(5):863-72.
14. Patterson JW. Characterization of the equatorial current of the lens. Ophthalmic Res. 1988;20(3):139-42.
15. Kuszak JR, Brown HG. Embryology and anatomy of the lens. DM Albert FA Jakobiec Principles and practice of ophthalmology. Basic sciences. 1994 WB Saunders Philadelphia pp.82-96.
16. Sasaki H, Giblin FJ, Winkler BS, Chakrapani B, Leverenz V, Shu CC. A protective role for glutathione-dependent reduction of dehydroascorbic acid in lens epithelium. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1995;36(9):1804-17.
17. Berman ER. Lens. C Blakemore Biochemistry of the eye. 1991 Plenum Press New York pp.201-290.
18. Liu YC, Wilkins M, Kim T, Malyugin B, Mehta JS. Cataracts. Lancet. 2017;390(10094):600-12.
19. Saude T. The internal ocular media. Ocular anatomy and physiology. 1993 Blackwell Scientific Oxford pp. 36-52.
20. Snell RS, Lemp MA. The eyeball. Clinical anatomy of the eye. 1989 Blackwell Scientific Oxford pp. 119-194.
21. Forrester J, Dick A, McMenamin P, et al.: Anatomy of the eye and orbit. JV Forrester AD Dick P McMenamin et al. The eye: basic sciences in practice. 1996 WB Saunders London pp. 1-86.

22. Zampighi GA, Eskandari S, Kreman M. Epithelial organization of the mammalian lens. *Exp Eye Res.* 2000;71(4):415-35.
23. Pierscionek B, Bahrami M, Hoshino M, Uesugi K, Regini J, Yagi N. The eye lens: age-related trends and individual variations in refractive index and shape parameters. *Oncotarget.* 2015;6(31):30532-44.
24. Grehn F. *Augenheilkunde.* 31. Auflage, 2012 Springer Heidelberg, S.155-161.
25. Jick SL, Beardsley TL, Brasington CR, Buznego C, Grostern RJ, Park L, Roberts TV. Lens and Cataract. In: 2019-2020 Basic and Clinical Science Course. 2019; American Academy of Ophthalmology. p. 28.
26. Lang GK. Trübungen der Linse (Katarake). In: *Augenheilkunde.* 6. Auflage. Georg Thieme Verlag KG; 2019 p.131-48.
27. Truscott RJ. Age-related nuclear cataract-oxidation is the key. *Exp Eye Res.* 2005;80(5):709-25.
28. Roper-Hall MJ: Intra-capsular cataract extraction. M Yanoff, JS Duker. *Ophthalmology.* 1st ed 1999 Mosby London. p. 384-87.e1.
29. Davis G. The Evolution of Cataract Surgery. 113:1 58-62. *Missouri Medicine.* 2016.
30. Grehn F. *Augenheilkunde.* 31. Auflage, 2012 Springer Heidelberg, S.161-169.
31. Kanski J: *Klinische Ophthalmologie, Lehrbuch und Atlas.* 8. Auflage, 2017. Urban & Fischer S. 273-4.
32. Kelman CD. Phaco-Emulsification and Aspiration: A New Technique of Cataract Removal: A Preliminary Report. *Am J Ophthalmol.* 2018;191:xxx-xl.
33. Kohnen T, Baumeister M, Kook D, Klaproth OK, Ohrloff C. Cataract surgery with implantation of an artificial lens. *Dtsch Arztebl Int.* 2009;106(43):695-702.
34. Streeten BW. Pathology of the lens. In: Albert DM, Jakobiec FA, eds. *Principles and Practice of Ophthalmology.* 2nd ed. Philadelphia: Saunders; 2000:3685-3749.
35. Jick SL, Beardsley TL, Brasington CR, Buznego C, Grostern RJ, Park L, Roberts TV. Lens and Cataract. In: 2019-2020 Basic and Clinical Science Course. 2019; American Academy of Ophthalmology. pp. 60.
36. Arbisser LB. Managing intraoperative complications in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol.* 2004;15(1):33-9.
37. Hong AR, Sheybani A, Huang AJ. Intraoperative management of posterior capsular rupture. *Curr Opin Ophthalmol.* 2015;26(1):16-21.
38. Kanski J. *Klinische Ophthalmologie, Lehrbuch und Atlas.* 8. Auflage, 2017. Urban & Fischer S. 291-4.
39. Grehn F. *Augenheilkunde.* 31. Auflage, 2012 Springer Heidelberg, S.169-171.
40. Jick SL, Beardsley TL, Brasington CR, Buznego C, Grostern RJ, Park L, Roberts TV. Lens and Cataract. In: 2019-2020 Basic and Clinical Science Course. 2019; American Academy of Ophthalmology. p. 90.
41. Jick SL, Beardsley TL, Brasington CR, Buznego C, Grostern RJ, Park L, Roberts TV. Lens and Cataract. In: 2019-2020 Basic and Clinical Science Course. 2019; American Academy of Ophthalmology. p. 208.
42. Fechner PU, Fechner MU, Reis H. [Tadini. Inventor of the artificial lens (author's transl)]. *Klin Monbl Augenheilkd.* 1980;176(6):1003-11.
43. Auffarth GU, Apple DJ. [History of the development of intraocular lenses]. *Ophthalmologie.* 2001;98(11):1017-28.
44. Epstein E. Modified Ridley lenses. *Br J Ophthalmol.* 1959;43(1):29-33.
45. Kelman CD. The history and development of phacoemulsification. *Int Ophthalmol Clin.* 1994;34(2):1-12.

46. Werner L, Izak AM, Pandey AK, Apple DJ. Evolution of Intraocular Lens Implantation. In: Yannof M Duker JS. Ophthalmology 5th. ed. 2019. Elsevier. p. e13-e24.
47. Kulkarni K, Zarbin M, Del Priore LV, Tezel TH. Ab externo technique for accurate haptic placement of transscleral sutured posterior chamber intraocular lenses. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. 2007;38(1):72-5.
48. Guell JL, Morral M, Kook D, Kohnen T. Phakic intraocular lenses part 1: historical overview, current models, selection criteria, and surgical techniques. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36(11):1976-93.
49. Ozerturk Y, Kubaloglu A, Sari ES, Koytak A, Capkin M, Akcay L, et al. Foldable iris-fixated phakic intraocular lens implantation for the correction of myopia: two years of follow-up. *Indian J Ophthalmol*. 2012;60(1):23-8.
50. Sekundo W. New forceps and spatula for easy retropupillary implantation of iris claw lenses in aphakia: experience in 4 years of use. *Eur J Ophthalmol*. 2008;18(3):442-4.
51. Sekundo W. [Secondary lens implantation: Part 1: A continuously current topic]. *Ophthalmologe*. 2014;111(3):208-9.
52. Mohr A, Hengerer F, Eckardt C. [Retropupillary fixation of the iris claw lens in aphakia. 1 year outcome of a new implantation techniques]. *Ophthalmologe*. 2002;99(7):580-3.
53. Forlini M, Soliman W, Bratu A, Rossini P, Cavallini GM, Forlini C. Long-term follow-up of retropupillary iris-claw intraocular lens implantation: a retrospective analysis. *BMC Ophthalmol*. 2015;15:143.
54. Koss MJ, Kohnen T. Intraocular architecture of secondary implanted anterior chamber iris-claw lenses in aphakic eyes evaluated with anterior segment optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol*. 2009;93(10):1301-6.
55. Lifshitz T, Levy J, Klemperer I. Artisan aphakic intraocular lens in children with subluxated crystalline lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2004;30(9):1977-81.
56. Aspiotis M, Asproudis I, Stefaniotou M, Gorezis S, Psilas K. Artisan aphakic intraocular lens implantation in cases of subluxated crystalline lenses due to Marfan syndrome. *J Refract Surg*. 2006;22(1):99-101.
57. Auffarth GU. *Kataraktchirurgie*. 1. Auflage, 2008; UNI-Med Verlag AG, Bremen, S. 10-18; 93-96.
58. Yanoff M, Duker JS. *Ophthalmology*. 2019; 5th ed. Elsevier p. 125.
59. Asano-Kato N, Toda I, Hori-Komai Y, Sakai C, Fukumoto T, Arai H, et al. Experience with the Artisan phakic intraocular lens in Asian eyes. *J Cataract Refract Surg*. 2005;31(5):910-5.
60. Fechner PU. Die Irisklauen-Linse. *Klin Monatsbl Augenheilkunde*. 1987;191:26-9.
61. Holladay JT. Proper method for calculating average visual acuity. *J Refract Surg*. 1997;13(4):388-91.
62. Retzlaff JA, Sanders DR, Kraff MC. Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. *J Cataract Refract Surg*. 1990;16(3):333-40.
63. <https://de.ophtec.com/produkte/kataraktchirurgie/iols/artisan-aphakia> (aufgerufen am 11.11.2020)
64. Baykara M, Ozcetin H, Yilmaz S, Timucin OB. Posterior iris fixation of the iris-claw intraocular lens implantation through a scleral tunnel incision. *Am J Ophthalmol*. 2007;144(4):586-91.
65. De Silva SR, Arun K, Anandan M, Glover N, Patel CK, Rosen P. Iris-claw intraocular lenses to correct aphakia in the absence of capsule support. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37(9):1667-72.

66. Gonnermann J, Klamann MK, Maier AK, Rjasanow J, Jousseaume AM, Bertelmann E, et al. Visual outcome and complications after posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg.* 2012;38(12):2139-43.
67. Hara S, Borkenstein AF, Ehmer A, Auffarth GU. Retropupillary fixation of iris-claw intraocular lens versus transscleral suturing fixation for aphakic eyes without capsular support. *J Refract Surg.* 2011;27(10):729-35.
68. Guell JL, Verdaguier P, Elies D, Gris O, Manero F, Mateu-Figueras G, et al. Secondary iris-claw anterior chamber lens implantation in patients with aphakia without capsular support. *Br J Ophthalmol.* 2014;98(5):658-63.
69. Szurman P, Gekeler K. [Secondary intraocular lens implantation using scleral suture fixation]. *Ophthalmologe.* 2014;111(3):217-23.
70. Schulze S, Bertelmann T, Sekundo W. [Implantation of intraocular lenses in the ciliary sulcus]. *Ophthalmologe.* 2014;111(4):305-9.
71. Mehta R, Aref AA. Intraocular Lens Implantation In The Ciliary Sulcus: Challenges And Risks. *Clin Ophthalmol.* 2019;13:2317-23.
72. Finn AP, Feng HL, Kim T, Mahmoud TH. Outcomes of Anterior Chamber Intraocular Lens Implantation in Patients Undergoing Pars Plana Vitrectomy. *Ophthalmol Retina.* 2018;2(9):895-9.
73. Kohnen T, Hengerer FH. [Anterior chamber intraocular lenses for aphakia correction]. *Ophthalmologe.* 2014;111(4):310-4.
74. Gicquel JJ, Langman ME, Dua HS. Iris claw lenses in aphakia. *Br J Ophthalmol.* 2009;93(10):1273-5.
75. Gerstmeier K, Scholtz SK, Auffarth GU. [Sutured Posterior Chamber IOL Fixation in the Absence of Capsular Support, First Described in 1954]. *Klin Monbl Augenheilkd.* 2015;232(8):962-5.
76. Anand R, Bowman RW. Simplified technique for suturing dislocated posterior chamber intraocular lens to the ciliary sulcus. *Arch Ophthalmol.* 1990;108(9):1205-6.
77. Lewis JS. Sulcus fixation without flaps. *Ophthalmology.* 1993;100(9):1346-50.
78. Solomon K, Gussler JR, Gussler C, Van Meter WS. Incidence and management of complications of transsclerally sutured posterior chamber lenses. *J Cataract Refract Surg.* 1993;19(4):488-93.
79. Almashad GY, Abdelrahman AM, Khattab HA, Samir A. Four-point scleral fixation of posterior chamber intraocular lenses without scleral flaps. *Br J Ophthalmol.* 2010;94(6):693-5.
80. Szurman P, Petermeier K, Aisenbrey S, Spitzer MS, Jaissle GB. Z-suture: a new knotless technique for transscleral suture fixation of intraocular implants. *Br J Ophthalmol.* 2010;94(2):167-9.
81. Scharioth GB, Prasad S, Georgalas I, Tataru C, Pavlidis M. Intermediate results of sutureless intrascleral posterior chamber intraocular lens fixation. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(2):254-9.
82. Szurman P, Petermeier K, Jaissle GB, Spitzer MS, Bartz-Schmidt KU. [Injector implantation of a scleral-fixated intraocular lens]. *Ophthalmologe.* 2006;103(12):1020-6.
83. Gabor SG, Pavlidis MM. Sutureless intrascleral posterior chamber intraocular lens fixation. *J Cataract Refract Surg.* 2007;33(11):1851-4.
84. Agarwal A, Kumar DA, Jacob S, Baid C, Agarwal A, Srinivasan S. Fibrin glue-assisted sutureless posterior chamber intraocular lens implantation in eyes with deficient posterior capsules. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34(9):1433-8.

85. Yamane S, Inoue M, Arakawa A, Kadonosono K. Sutureless 27-gauge needle-guided intrascleral intraocular lens implantation with lamellar scleral dissection. *Ophthalmology*. 2014;121(1):61-6.
86. Abela-Formanek C, Reumüller A. Sekundäre Linsenimplantation: chirurgische Techniken und Ergebnisse. *Spektrum der Augenheilkunde*. 2020;34(5):149-57.
87. Yazdani-Abyaneh A, Djalilian AR, Fard MA. Iris fixation of posterior chamber intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(12):1707-12.
88. Brunette I, Stulting RD, Rinne JR, Waring GO, 3rd, Gemmil M. Penetrating keratoplasty with anterior or posterior chamber intraocular lens implantation. *Arch Ophthalmol*. 1994;112(10):1311-9.
89. Stark WJ, Gottsch JD, Goodman DF, Goodman GL, Pratzner K. Posterior chamber intraocular lens implantation in the absence of capsular support. *Arch Ophthalmol*. 1989;107(7):1078-83.
90. Amar L. Posterior chamber iris claw lens. *American Intra-Ocular Implant Society Journal*. 1980;6(3):279.
91. Mergler S, Pleyer U. The human corneal endothelium: new insights into electrophysiology and ion channels. *Prog Retin Eye Res*. 2007;26(4):359-78.
92. Inoue K, Okugawa K, Oshika T, Amano S. Morphological study of corneal endothelium and corneal thickness in pseudoexfoliation syndrome. *Jpn J Ophthalmol*. 2003;47(3):235-9.
93. Sihota R, Lakshmaiah NC, Titiyal JS, Dada T, Agarwal HC. Corneal endothelial status in the subtypes of primary angle closure glaucoma. *Clin Exp Ophthalmol*. 2003;31(6):492-5.
94. Lee JS, Park WS, Lee SH, Oum BS, Cho BM. A comparative study of corneal endothelial changes induced by different durations of soft contact lens wear. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2001;239(1):1-4.
95. Dalby M, Kristianslund O, Ostern AE, Falk RS, Drolsum L. Longitudinal corneal endothelial cell loss after corrective surgery for late in-the-bag IOL dislocation: a randomized clinical trial. *J Cataract Refract Surg*. 2020;46(7):1030-6.
96. Gicquel JJ, Guigou S, Bejjani RA, Briat B, Ellies P, Dighiero P. Ultrasound biomicroscopy study of the Verisyse aphakic intraocular lens combined with penetrating keratoplasty in pseudophakic bullous keratopathy. *J Cataract Refract Surg*. 2007;33(3):455-64.
97. Toro MD, Longo A, Avitabile T, Nowomiejska K, Gagliano C, Tripodi S, et al. Five-year follow-up of secondary iris-claw intraocular lens implantation for the treatment of aphakia: Anterior chamber versus retropupillary implantation. *PLoS One*. 2019;14(4):e0214140.
98. Helvaci S, Demirduzen S, Oksuz H. Iris-claw intraocular lens implantation: Anterior chamber versus retropupillary implantation. *Indian J Ophthalmol*. 2016;64(1):45-9.
99. Tourino Peralba R, Lamas-Francis D, Sarandeses-Diez T, Martinez-Perez L, Rodriguez-Ares T. Iris-claw intraocular lens for aphakia: Can location influence the final outcomes? *J Cataract Refract Surg*. 2018;44(7):818-26.
100. Anbari A, Lake DB. Posteriorly enclavated iris claw intraocular lens for aphakia: long-term corneal endothelial safety study. *Eur J Ophthalmol*. 2015;25(3):208-13.
101. Jare NM, Kesari AG, Gadkari SS, Deshpande MD. The posterior iris-claw lens outcome study: 6-month follow-up. *Indian J Ophthalmol*. 2016;64(12):878-83.
102. Sumitha CV, Pai V, Thulasidas M. Retropupillary iris-claw intraocular lens implantation in aphakic patients. *Indian J Ophthalmol*. 2020;68(4):597-602.

103. Schopfer K, Berger A, Korb C, Stoffelns BM, Pfeiffer N, Sekundo W. Position-dependent accommodative shift of retropupillary fixated iris-claw lenses. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2012;250(12):1827-34.
104. Monestam EI. Incidence of dislocation of intraocular lenses and pseudophakodonesis 10 years after cataract surgery. *Ophthalmology*. 2009;116(12):2315-20.
105. Kumar DA, Agarwal A, Madhivanan N, Sivagnanam S, Chandrasekar R, Venugopal S. Dynamic tracking of Purkinje images for the comparison of pseudophakodonesis between in-the-bag and secondary fixated intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2018;44(4):479-86.
106. Theodoulidou S, Asproudis I, Athanasiadis A, Kokkinos M, Aspiotis M. Comparison of surgically induced astigmatism among different surgeons performing the same incision. *Int J Ophthalmol*. 2017;10(6):1004-7.
107. Lee Y-C. Astigmatism considerations in cataract surgery. *Tzu Chi Medical Journal*. 2013;25(1):19-22.
108. Sekundo W, Schneider M, Tietjen A. [Influence of incision parameters on astigmatism during implantation of phakic-6-mm-iris-claw intraocular lenses]. *Ophthalmologie*. 2004;101(3):246-50.
109. Olsen T, Dam-Johansen M, Bek T, Hjortdal JO. Corneal versus scleral tunnel incision in cataract surgery: a randomized study. *J Cataract Refract Surg*. 1997;23(3):337-41.
110. Sahin A, Hamrah P. Clinically relevant biometry. *Curr Opin Ophthalmol*. 2012;23(1):47-53.
111. Haigis W, Trier HG. Linsenberechnungsformel. In: Buschmann W, Trier HG, eds. *Ophthalmologische Ultraschalldiagnostik*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1989: 75ff.
112. Mansoori T, Agraharam SG, Sannapuri S, Manwani S, Balakrishna N. Surgical Outcomes of Retropupillary-Fixated Iris-Claw Intraocular Lens. *J Curr Ophthalmol*. 2020;32(2):149-53.
113. Drolsum L, Haaskjold E. Secondary implantation of flexible open loop anterior chamber IOLs. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1993;71(4):482-6.
114. Malinowski SM, Mieler WF, Koenig SB, Han DP, Pulido JS. Combined pars plana vitrectomy-lensectomy and open-loop anterior chamber lens implantation. *Ophthalmology*. 1995;102(2):211-6.
115. Menezo JL, Martinez MC, Cisneros AL. Iris-fixated Worst claw versus sulcus-fixated posterior chamber lenses in the absence of capsular support. *J Cataract Refract Surg*. 1996;22(10):1476-84.
116. McCluskey P, Harrisberg B. Long-term results using scleral-fixated posterior chamber intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 1994;20(1):34-9.
117. Uthoff D, Teichmann KD. Secondary implantation of scleral-fixated intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 1998;24(7):945-50.
118. Mittelviehhaus H. A modified technique of transscleral suture fixation of posterior chamber lenses. *Ophthalmic Surg*. 1992;23(7):496-8.
119. Wolter-Roessler M, Kuchle M. [Correction of aphakia with retroiridally fixated IOL]. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2008;225(12):1041-4.
120. Sekundo W, Bertelmann T, Schulze S. [Retropupillary iris claw intraocular lens implantation technique for aphakia]. *Ophthalmologie*. 2014;111(4):315-9.
121. Haberle H, Schiedel S, Pham DT. [Retroiridal iris claw lens as routine procedure]. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2014;231(10):995-8.

122. Brockmann T, Gonnermann J, Brockmann C, Torun N, Jousen AM, Bertelmann E. Morphologic alterations on posterior iris-claw intraocular lenses after traumatic disenclavation. *Br J Ophthalmol.* 2014;98(9):1303-7.
123. Schiedel S, Aurich H, Häberle H, Pham DT. Langzeitergebnisse und Komplikationen nach Implantation einer retroiridalen Irisklauenlinse (Verisyse™). *Klin Monbl Augenheilkunde.* 2011; 228 - V9.

## **8. Eidesstattliche Versicherung / Anteilserklärung**

„Ich, Shaghayegh Khalili Amiri, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

„Endothelzellzahlverlust nach retropupillärer Fixation der Irisklauenlinse und Vergleich mit der Literatur“

„Endothelial cell loss after retropupillary iris-claw intraocular lens implantation and comparison with the literature“

selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Erstbetreuer, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

## **Anteilserklärung an etwaigen erfolgten Publikationen**

Frau Shaghayegh Khalili Amiri hatte folgenden Anteil an der folgenden Publikation:

Gonnermann J, Amiri S, Klamann M, Maier AK, Joussem AM, Rieck PW, Torun N, Bertelmann E. Endothelzellverlust nach retropupillar fixierter Irisklauen-Linse [Endothelial cell loss after retropupillary iris-claw intraocular lens implantation]. Klin Monbl Augenheilkd. 2014 Aug;231(8):784-7. German. doi: 10.1055/s-0034-1368453. Epub 2014 Jul 3. PMID: 24992236.

Beitrag im Einzelnen:

- Die Ausarbeitung der Studie erfolgte gemeinsam mit PD Dr. Johannes Gonnermann
- Einbindung von Frau Shaghayegh Khalili Amiri in der praktischen Umsetzung und Erhebung der Daten und die Durchführung von Telefonscreening, sowie Organisation und Koordination der Vor- und Nachuntersuchungen
- Durchführung der Erstgespräche und Studienaufklärung
- Wesentlicher Anteil an der Auswertung der erhobenen Daten
- Zur Bearbeitung der Fragestellung erfolgte durch Frau Shaghayegh Khalili Amiri die nachfolgende Untersuchung und Bestimmung:
  - I) Endothelzelldichtemessung
  - II) Visusbestimmung
  - III) Bestimmung der Refraktion
  - IV) Bestimmung des Augeninnendruckes
  - V) Durchführung der Spaltlampenuntersuchung
  - VI) Durchführung der Funduskopie

Die nachfolgenden Abbildungen und Tabellen wurden ferner durch Frau Shaghayegh Khalili Amiri erstellt: Abb.2,7-20, Tab. 1-4.

---

Unterschrift, Datum und Stempel der betreuenden Hochschullehrerin

---

Unterschrift, Datum und Stempel des erstbetreuenden Hochschullehrers

---

Unterschrift der Doktorandin

## **9. Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## **10. Publikationsliste**

Gonnermann J, Amiri S, Klamann M, Maier AK, Joussem AM, Rieck PW, Torun N, Bertelmann E. Endothelzellverlust nach retropupillar fixierter Irisklauen-Linse [Endothelial cell loss after retropupillary iris-claw intraocular lens implantation]. Klin Monbl Augenheilkd. 2014 Aug;231(8):784-7. German. doi: 10.1055/s-0034-1368453. Epub 2014 Jul 3. PMID: 24992236.

## **11. Danksagung**

Meinen besonderen Dank gilt meinem Betreuer PD Dr. med. Johannes Gonnermann für seine Anregungen und für seine sehr konstruktiven Kritik. Für die bis zuletzt sehr gute Beziehung und unermüdliche Unterstützung bin ich ebenfalls sehr dankbar.

Ferner möchte ich mich bei Frau Professor Joussem für die Möglichkeit an Ihrer Klinik promovieren zu dürfen bedanken. Hier habe ich für die Durchführung meiner Arbeit sehr gute Voraussetzungen vorgefunden.

Desweiteren Danke ich Dr. med. Ramin Ipaktchi für die Durchsicht meiner Arbeit und für seine Korrekturvorschläge, insbesondere bei der Datenverarbeitung.

Meinen Eltern möchte ich für ihre stets motivierenden Worte und Unterstützung ebenfalls sehr danken.