

Aus der Augenklinik der
Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. Siegfried Priglinger

Evaluation der sekundären Linsenimplantation: Risikofaktoren, refraktives
Ergebnis und postoperative Komplikationen

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Humanmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Alexander Panagiotis Papadopoulos
aus
Trostberg
2023

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. Tina R. Herold

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Andreas Scheider

Prof. Dr. Daniel Kook

Prof. Dr. R. G. Schumann

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter:

PD Dr. Efstathios Vounotrypidis

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 20.04.2023

Widmung

Für Selina

Inhaltsverzeichnis

A. Die Katarakt, ihre Behandlung und sekundäre IOL-Implantation

1. Die Katarakt

1.1 Formen

1.1.1 Die altersbedingte Katarakt

1.1.2 Systemische Erkrankungen

1.1.3 Sekundäre Katarakt

1.2 Epidemiologie

1.3 Chirurgische Behandlung der Katarakt

1.3.1 Kataraktextraktion durch Phakoemulsifikation

1.3.2 Aufbau und Formen verschiedener Intraokularlinsen

2. Sekundäre Intraokularlinse

2.1 Definition

2.2 Epidemiologie

2.3 Risikofaktoren

2.3.1 Pseudoexfoliationssyndrom (PEX-Syndrom)

2.3.2 Traumata

2.3.3 Marfan-Syndrom

2.3.4 Vor-Operationen

2.4 Besondere Indikation: Ungenügendes refraktives Ergebnis

2.5 Komplikationen

2.5.1 Nachblutung

2.5.2 Postoperative Endophthalmitis

2.5.3 Schmerzen

3. Angewandte Techniken der IOL-Fixierung

3.1 Implantation in die Vorderkammer

3.2 Implantation in die Hinterkammer

3.2.1 Implantation in den Kapselsack

3.2.2 Sulcusfixiert

3.2.3 Irisfixiert

3.2.4 Sklerafixiert

B. Fragestellung der Arbeit

C. Patientenkollektiv, Methodik und Materialien

1. Patienten und Daten

1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

1.2 Erhobene Daten

1.2.1 Visusbestimmung

1.2.2 Objektive Refraktion

1.2.3 Hornhaut-Tomographie („Pentacam“)

1.2.4 Biometrie und Linsenbestimmung („IOLMaster700®“)

1.2.5 Anamnestische Daten prä- und post-OP

2. Verwendete Linsentypen

2.1 Vorderkammerlinsen

2.2 Verisyse VRSA54

2.3 Alcon SA60AT

2.4 Medicontur 677AB

3. Methoden der Auswertung

3.1 Erfassung

3.2 Statistik

D. Ergebnisse

1. Demographische Daten

1.1 Patientenzahl und Geschlechtsverteilung

1.2 Alter, nach Geschlechtern

1.3 Betroffenes Auge

2. Visus und Biometrie bei Erstvorstellung

3. Objektiv bestimmtes sphärisches Äquivalent vor OP in dpt

4. IOL-Stärke in dpt

5. Achslänge in mm

6. Hornhautradien K1 und K2

7. Vorderkammertiefe in mm

8. Risikofaktoren

8.1 Vitrektomie in der Vorgeschichte

8.2 Ablatio in der Vorgeschichte

8.3 PEX in der Vorgeschichte

8.4 Trauma in der Vorgeschichte

9. Komplikationen

9.1 Postoperative Nachblutung

9.2 Postoperative Hypotonie

9.3 Postoperatives cystoides Makulaödem

9.4 Andere, seltene Komplikationen innerhalb 3 Monate nach OP

9.5 Andere, seltene Komplikationen über 3 Monate nach OP

10. Indikation zur Sekundärimplantation

11. Fixierung der neuen IOL

12. Verwendete Linse

13. Refraktives Outcome

13.1 Sphärisches Äquivalent in Dioptrien nach der Operation

13.2 Abweichen des Absolute Error um ≥ 2 dpt

13.3 Postoperativer nichtkorrigierter und korrigierter Visus nach der Operation

14. Zusammenhang von Indikation des Linsenwechsels und absoluten Fehler des refraktiven Ergebnisses

15. Fixierung der Linse und absoluter Fehler des refraktiven Ergebnisses gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP

16. Die Vitrektomie in der Vorgeschichte als Einflussfaktor auf das refraktive Ergebnis gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP

17. Die postoperative Nachblutung als Einflussfaktor auf das refraktive Ergebnis gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP

18. „Scatterplot“ Diagramm: Verhältnis von absolutem Fehler zur präoperativ erhobenen Achslänge

19. Der Einfluss der präoperativ vermessenen Hornhautradien auf das refraktive Ergebnis

E. Diskussion

1. Vergleich des refraktiven Ergebnisses

2. Gründe sehr hoher Abweichungen von über 4 dpt

3. Vergleich des visuellen Ergebnisses

4. Ausgewählte Risikofaktoren

5. Wahl der präferierten Operationsmethode

6. Fehlerdiskussion

7. Ausblick

F. Zusammenfassung

G. Abkürzungsverzeichnis

H. Abbildungsverzeichnis

I. Tabellenverzeichnis

J. Literaturverzeichnis

K. Danksagung

L. Lebenslauf

M. Eidesstattliche Versicherung

A. Die Katarakt, ihre Behandlung und sekundäre IOL-Implantation

1. Die Katarakt

1.1 Formen

1.1.1 Die altersbedingte Katarakt

Die altersbedingte Katarakt ist eine häufige Erkrankung mit einer 10-Jahres-Inzidenz von 40,4% für Frauen und 35,3% für Männer im Alter von 43 bis 86 Jahren. (Klein et al. 2002) Sie kann anhand sowohl ihrer Lokalisation in der Linse als auch ihres Fortschritts unterschieden werden.

Bei der subkapsulären Katarakt wird die Trübung von einer bindegewebigen Metaplasie des Linsenepithels hervorgerufen, mögliche Lokalisationen sind anterior, also direkt hinter der vorderen Kapsel oder posterior, dementsprechend vor der hinteren Kapselbegrenzung. Bei einer Trübung des Linsenkernes spricht man von einer Kernkatarakt, einer *Cataracta nuclearis*. Diese Form ist durch eine Kernsklerose bedingt, welche zunächst gelblich und im späteren Stadium durch eine bräunliche Färbung imponiert. Durch eine Erhöhung des Refraktionsindex kann die Kernkatarakt myopisierend wirken und in manchen Fällen eine vorbestehende Altersweitsichtigkeit ganz oder zum Teil ausgleichen. Betrifft die Trübung dagegen die Linsenrinde ist eine Rindenkatarakt, *Cataracta corticalis*, zu beobachten, welche wiederum alle Anteile der Rinde miteinbeziehen kann. Die Ätiologie dieser Pathologie ist eine zunehmende Hydrierung des Linsenmaterials, welche die Bildung der für diese Form typischen Vakuolen und Speichen zur Folge hat. Durch Lichtstreuung an den Trübungen entstehen hierbei, vergleichbar auch bei der posterioren subkapsulären Katarakt, Blendungsphänomene, über die Patienten klagen. (Bowling 2017, S. 264)

Eine weitere Möglichkeit der Einteilung erfolgt nach der Vollständigkeit der Trübung der Linse sowie weiteren Spätfolgen der Pathologie für das Linsengewebe. Bei der immaturen Katarakt betrifft die Trübung die Linse nur teilweise, bei einer vollständigen Trübung bezeichnet man die Katarakt als matur. Ein weiteres Fortschreiten der Erkrankung geht mit einem Verlust von Wasser aus dem Linsengewebe einher, die umgebende Kapsel schrumpft und bildet zahlreiche Falten, es liegt eine hypermature Katarakt vor. Kommt es dabei schließlich zu einer Verflüssigung des Linsenkernes, sinkt dieser in der Kapsel ab und definiert die *Cataracta Morgagni*. (Bowling 2017, S. 265)

1.1.2 Systemische Erkrankungen

Eine Auswahl an systemischen Erkrankungen, welche mit einer Katarakt einhergehen, sind der Diabetes mellitus, die Myotone Dystrophie, die Atopische Dermatitis und die Neurofibromatose Typ 2. Eine globale Prävalenz von 435 Millionen Diabetespatienten (Ingelfinger und Jarcho 2017) verdeutlicht die Bedeutung des Diabetes mellitus als Systemerkrankung mit Risiko für die Ausbildung einer Katarakt. Dabei erfolgt die Schädigung des Linsengewebes durch eine osmotische Verschiebung von Wasser in die Linse unter der Anwesenheit von erhöhten Blutzuckerwerten der Patienten. Das Fortschreiten dieser Pathologie kann äußerst variabel sein, sowohl eine rasche Rückbildung als auch der Übergang in eine mature Katarakt sind möglich.

Eine deutliche Neigung zur Ausbildung einer Katarakt ist bei Patienten mit myotoner Dystrophie zu beobachten. Erste Trübungen sind bei 90% der Betroffenen schon im Alter vom 20-30 Jahren zu beobachten, ein bemerkbarer Visusverlust wird typischerweise ca. 20 Jahre später bemerkt.

Auch bei Patienten, welche an einer atopischen Dermatitis oder einer Neurofibromatose Typ 2 leiden, lassen sich Linsentrübungen im Sinne einer Katarakt im jungen Erwachsenenalter beobachten. Betroffen sind bei der atopischen Dermatitis etwa 10% der Erkrankten, bei der Neurofibromatose wird die Prävalenz einer Linsenbeteiligung mit über 60% beziffert. (Bowling 2017, S. 266)

1.1.3 Sekundäre Katarakt

Als sekundäre Katarakt wird diejenige Katarakt bezeichnet, welche sich in Folge anderer okulärer Erkrankungen entwickelt. So geht etwa eine chronische Uveitis anterior mit einem deutlich erhöhten Risiko für eine Kataraktentwicklung einher, welche maßgeblich von Dauer und Intensität der Entzündungsaktivität abzuhängen scheint. Im Speziellen identifizierten Blum-Hareuveni et al. bei Kindern eine Panuveitis als größten Risikofaktor für eine sekundäre Katarakt und beziffern die Inzidenz, eine solche zu entwickeln mit 69%. Auch hier zeigt sich eine Relation von Ausprägung der Entzündungsaktivität und Risiko für Kataraktentwicklung anhand der Identifikation von Hazards wie Uveitis-Flares pro Jahr, Vorhandensein eines zystischen Makulaödems, hinteren Synechien oder die Anwendung von intravitrealen Kortikosteroiden. (Blum-Hareuveni et al. 2017)

Auch bei einer Vielzahl von hereditären Erkrankungen wie der Retinitis pigmentosa, der kongenitalen Leber-Amaurose, der Atrophia gyrate und des Stickler-Syndroms wird eine Assoziation mit Linsentrübungen beobachtet, insbesondere posterioren Subkapsulären.

Während die Risikofaktoren für die Bildung einer Katarakt bei Patienten mit diesen genannten Erkrankungen zu großen Teilen unbekannt sind, konnten beispielsweise Fujiwara et al. eine Relation zwischen einem erhöhten Tyndall-Effekt und der Ausbildung einer posterioren subkapsulären Katarakt demonstrieren. (Fujiwara et al. 2017)

Eine weitere relevante Ursache für eine sekundäre Linsentrübung ist das Trauma, welches gleichzeitig die häufigste Ursache für die einseitige Katarakt junger Menschen darstellt. Sowohl penetrierende als auch stumpfe Traumen können dabei durch direkte oder indirekte Schädigung der Linse Trübungen auslösen, ebenso Einflüsse wie ionisierende Strahlung und infrarotes Licht. (Bowling 2017, S. 268)

1.2 Epidemiologie

Im Jahr 2010 war die Katarakt global betrachtet Ursache für 32,4 Millionen Erblindungen und 191 Millionen mäßigen bis starke Einschränkungen der Sehfähigkeit (MSVI – Moderate & Severe Visual Impairment). Dies entspricht 33,4% aller Erblindungen und 18,4% aller erfassten Sehbeeinträchtigungen. Dabei spielen regionale Unterschiede wie medizinische Versorgung, Einkommensstruktur der beobachteten Bevölkerung und Infrastruktur jedoch eine enorme Rolle. So wird die Katarakt als Ursache für Blindheit in einkommensstarken Bevölkerungsschichten Nordamerikas mit 12,7% beziffert, in Ozeanien dagegen mit 40,6%. Diese Werte schließen alle Altersklassen und Geschlechter mit ein. (Khairallah et al. 2015)

Inzidenzraten für die Entwicklung einer altersbedingten Katarakt einer westlichen Population werden, betrachtet über einen Zeitraum von 10 Jahren, mit 40,4% für Frauen und 35,3% für Männer angegeben. Dabei wurden Patienten im Alter von 43 bis 86 eingeschlossen. Deutlich wird auch eine signifikante Zunahme der Inzidenzen mit steigendem Alter. Frauen im Alter von 43-54 weisen eine 10-Jahres-Inzidenz von 18,3% auf, diese steigt in der Altersgruppe 75+ auf 89,7%. Männer zeigen vergleichbare Werte mit 10-Jahres-Inzidenzraten von 14,2% der Altersgruppe 43-54 und 84,8% bei den über 75-Jährigen. (Klein et al. 2002)

1.3 Chirurgische Behandlung der Katarakt

1.3.1 Kataraktextraktion durch Phakoemulsifikation

Den Grundstein für die heutige Technik der Phakoemulsifikation legte Charles D. Kelman 1965 und führte 1967 die erste Kataraktentfernung an einem menschlichen Auge in vivo mit dieser Methode durch. Einer der großen Vorteile der Phakoemulsifikation ist der Zugang zur Linse durch eine erheblich kleinere Inzision der Kornea als bei früheren Operationstechniken zur

Kataraktentfernung, wie den Intrakapsulären Kataraktextraktionen (ICCE, intracapsular cataract extraction). (Linebarger et al. 1999; Kelman 1967)

Das grundsätzliche Funktionsprinzip der Phakoemulsifikation ist die Zerkleinerung der Linse durch hochfrequente Ultraschallwellen, die gleichzeitige Spülung des Auges zur Aufrechterhaltung des Innendruckes und die Absaugung der Linsenreste nach der Zerkleinerung. Realisiert werden diese Funktionen in einem Handstück, bestehend aus einer Hohlnadel aus Titan, welche durch einen Überwurfschlauch bedeckt ist und über eine Flüssigkeitskühlung verfügt. Damit sollen thermische sowie mechanische Schädigungen der Kornea und ihres Endothels verhindert werden. Da die integrierte Pumpe konstant aspiriert, entsteht bei Verschluss der Hohlnadel ein Vakuum, welches genutzt werden kann, Linsenteile zu fassen. (Bowling 2017, S. 276–280)

Zur Kataraktoperation angewandte Anästhesieformen umfassen die Retro- oder Parabulbäranästhesie, Sub-Tenon-Anästhesie, topische Betäubung oder in sehr seltenen Fällen Vollnarkose. Letztere kommt vor allem bei Kindern zum Einsatz, oder in Fällen, bei denen eine intraoperative Compliance des Patienten nicht gewährleistet werden kann. (Alhassan et al. 2015; Guay und Sales 2015; Thevi und Godinho 2016; Moll und Kaufmann 2016)

Zusätzlich erfolgt eine medikamentöse Mydriasis durch topische Anwendung eines Parasympatholytikums wie Tropicamid oder eines Sympathomimetikums wie Phenylephrin beziehungsweise einer kombinierten Anwendung zur maximalen Pupillendilatation. (Grehn 2012, S. 456–458) Weitere vorbereitende Maßnahmen umfassen eine Desinfektion des Operationsgebietes mit beispielsweise Povidoniod oder Chlorhexidin, das sterile Abdecken des Operationsgebietes insbesondere unter Ausschluss der Wimpern und das Einsetzen eines Lidsperrers.

Der Zugang zur Vorderkammer erfolgt primär mittels Parazentese, welche als Nebenzugang und für das Einbringen eines Visokoelastikums vor dem Hauptschnitt dient. Hierzu wird die Kornea am Limbus etwa 1mm eröffnet. Das Visokoelastikum ist ein Biopolymer, welches zum Schutz intraokulärer Strukturen wie dem kornealen Endothel dient und intraokuläre Freiräume eröffnen und offenhalten kann.

Nun kann der Hauptzugang geschaffen werden, ein Schnitt von ca. 1,8 bis 2,75mm, abhängig von verwendeten Instrumenten. Der Ort ist hierfür variabel, sowohl ein konstanter Zugang am temporalen Limbus ist denkbar, als auch ein Zugang am steilsten Hornhautmeridian. Das vordere Blatt der Linsenkapsel wird mittels kreisrunder Kapsulorrhexis eröffnet und die Linse mittels Phakoemulsifikation zerteilt und entfernt. Danach wird der nun leere Kapselsack mit

Viskoelastikum gefüllt und die neue Intraokularlinse über eine Injektorkartusche eingebracht. (Davis 2016; Hashemi et al. 2016) (Bowling 2017, S. 277–280)

1.3.2 Aufbau und Formen verschiedener Intraokularlinsen

Intraokularlinsen (IOL) bestehen aus einer Optik und einer Haptik, welche die Linse als Ganzes am Implantationsort im Auge befestigt. Dieser Ort ist für gewöhnlich der bei der Katarakt-Operation erhaltene Kapselsack, jedoch sind auch alternative Implantationsorte möglich, zum Beispiel eine Einbringung in die Vorderkammer, eine Fixierung an der Iris, am Sulcus ciliaris oder eine Einnäherung an der Sklera. Die Einbringung der IOL erfolgt je nach Material. Flexible Linsen aus Akryl, Silikon oder Collamer können gefaltet oder aufgerollt mit einer Injektorkartusche implantiert werden und benötigen dafür einen kleineren Zugang als harte Linsen. Diese harten Materialien können nicht gefaltet werden, was für die Implantation einen größeren Schnitt erfordert. Zur Herstellung harter Linsen wird Polymethylmethacrylat (PMMA) verwendet.

Die Optiken der implantierbaren Linsen können sowohl eine sphärische als auch eine asphärische Linsenform aufweisen. Dabei entspricht die sphärische Form einer gleichmäßigen Oberflächenkrümmung über die gesamte Fläche der Optik, gleichsam einem Ausschnitt einer Kugeloberfläche. Bei asphärischem Design bleibt der Grad der Krümmung im Oberflächenverlauf nicht konstant und dient der Reduktion des Abbildungsfehlers der sphärischen Aberration. Bei diesem Abbildungsfehler kommt es zu einer stärkeren Brechung achsferner parallel verlaufender Strahlen, was zu einem etwas unscharfen Bild mit weichen Kontrasten führen kann. Durch eine entsprechende Anpassung der Brechkraft der Linse über den Oberflächenverlauf hinweg kann dieser Fehler vermieden werden. (Braunecker und Hentschel 2008, S. 12–13) (Zabel 2011, S. 167)

Ein weiterer Ansatz der Optikgestaltung wird durch ein multifokales Design verwirklicht. Durch eine konzentrische Anordnung verschieden stark brechender Oberflächen kann eine scharfe Abbildung unterschiedlich entfernter Objekte erreicht werden. Auch eine Kombination mit einem asphärischem Linsendesign ist hierbei möglich. (Jeffrey H. Roffman, Edgar V. Menezes 1995) Durch einen zusätzlichen, zylindrisch brechenden Linsenanteil können torische Linsen einen vorhandenen Hornhautastigmatismus ausgleichen. Dies macht jedoch die korrekte rotatorische Positionierung der Linse notwendig. Während geringe Fehlstellungen der Linsenachse noch unbemerkt bleiben, verschwindet der Effekt ab etwa 30° Fehlrotation. (Kessel et al. 2016) (Bowling 2017, S. 274)

2. Sekundäre Intraokularlinse

2.1 Definition

Eine Implantation einer künstlichen Intraokularlinse in ein zuvor linsenloses (aphakes) Auge oder in einer Situation, die einen Tausch einer bereits vorhandenen Intraokularlinse erforderlich macht, entspricht einer sekundären IOL-Implantation. Die Notwendigkeit zur Entfernung der primären IOL kann verschiedene Ursachen haben, welche noch besprochen werden. Aphakie besteht zum Beispiel nach Lensektomie bei hereditärem Glaukom oder kongenitaler Katarakt, nach komplizierter Katarakt-Operation, nach Trauma oder luxierter kristalliner Linse. (Duane et al. 2006, Kapitel 8) Oft findet sich hierbei ein Situs, bei dem eine Implantation in den Kapselsack nicht mehr in Frage kommt, durch Schädigung oder kompletten Verlust desselben. Es verbleibt die Möglichkeit zur Implantation in die Vorderkammer oder, in der Hinterkammer, eine Fixierung der Linse an der Iris, dem Sulcus ciliaris oder an der Sklera.

2.2 Epidemiologie

Anhand großer retrospektiver Studien können Inzidenzen für eine sekundäre IOL-Implantation berechnet werden. Bothun et al. untersuchten beispielsweise eine große Population in Olmsted County, Minnesota anhand einer medizinischen Datenbank. („REP medical records linkage system“) und konnten einerseits eine allgemeine Inzidenzrate mit 28,4 pro Million (CI, 22.1–34.7) beziffern, bezogen auf die untersuchte Bevölkerung. Eine kumulative 30-Jahres Wahrscheinlichkeit, nach Katarakt-Operation einen Linsenwechsel oder eine Linsenreposition zu benötigen wurde mit 1,5% (CI, 0.6%–2.4%) angegeben. (Bothun et al. 2018)

Eine vergleichbare Population wurde von Szigiato et al. beobachtet. Wie bei Bothun et al. wurden Inzidenzraten bezüglich Linsenwechsel oder Linsenreposition nach Kataraktoperation untersucht. Von 84 965 im Jahre 2000 registrierten operierten Augen konnten hierbei 789 sekundäre IOL-Implantationen innerhalb von 5 Jahren nach Operation identifiziert werden, was eine Rate von 0.93% ausmacht, von 139 605 im Jahre 2009 registrierten operierten Augen konnten wiederum 1084 sekundäre IOL-Implantationen innerhalb von 5 Jahren nach Operation identifiziert werden, der prozentuale Anteil hierbei entspricht 0.78%.

Weiterhin interessant ist die zusätzlich beobachtete asymmetrische Geschlechterverteilung, wobei in beiden beobachteten Zeiträumen Männer häufiger betroffen waren als Frauen. Männer, welche im Jahre 2000 operiert worden waren, waren von einer sekundären IOL-Implantation 1,47-mal häufiger betroffen als Frauen 95% CI, 1.28-1.69; $P < .001$, im Jahre 2009 1,56-mal so häufig (95% CI, 1.39-1.76; $P < .001$). (Szigiato et al. 2017)

2.3 Risikofaktoren

2.3.1 Pseudoexfoliationssyndrom (PEX-Syndrom)

Pseudoexfoliatives Material ist gräulich bis weiß und liegt in betroffenen Augen amyloidartig extrazellulär vor. Es bildet vernetzte Fibrillen und wird neben dem Auge auch in Herz, Gefäßen, Lungen und Meningen abgelagert. Die Prävalenz steigt bei über 50-Jährigen stark an, Frauen sind häufiger betroffen. Deutliche geographische Prävalenzunterschiede lassen eine sowohl genetische als auch umwelteinflussbedingte Genese vermuten. Während die genetische Komponente multifaktoriell zu sein scheint, lässt sich dennoch eine Assoziation zu Einzelnukleotid-Polymorphismen im LOXL1-Gen feststellen.

Diagnostiziert wird das PEX-Syndrom meist zufällig. Hauptsächlich finden sich Ablagerungen im vorderen Augenabschnitt. So können diffuse Ablagerungen auf dem Korneaendothel sichtbar sein, abgelöste Partikel in der Vorderkammer sich befinden und granuläre Ablagerungen am Pupillarsaum für ein mottenfraßartiges Bild sorgen. Auf dem vorderen Blatt der Linsenkapsel entsteht das charakteristische Ablagerungsbild einer zentralen Scheibe und peripherer Ablagerungen durch die konstante Bewegung der Iris. Von größter Bedeutung allerdings ist das Vorhandensein von pseudoexfoliativem Material im Kammerwinkel. Gonioskopisch sichtbar wird das Material hier als fleckige Hyperpigmentierung der Schwalbe-Linie und der Trabekel und als schuppige Ablagerungen. (Sangal und Chen 2014; Schweitzer 2018) (Bowling 2017, S. 361–363)

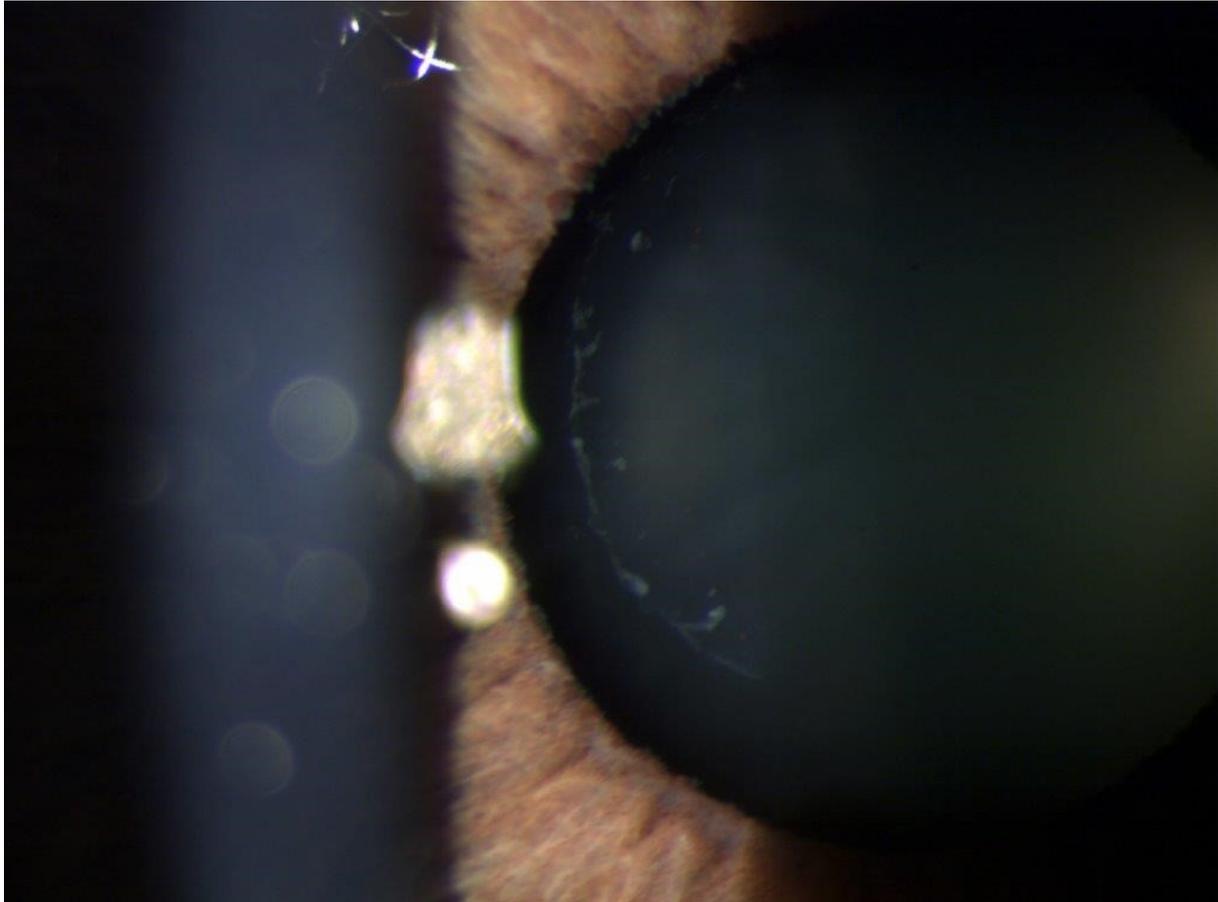


Abbildung 1: weißlich, schuppige Ablagerungen auf der Linsenvorderfläche: PEX im Spaltlampenbild, Bild aus eigener Anfertigung

Durch die Ablagerung im Kammerwinkel erhöht das PEX-Syndrom das Risiko für eine okuläre Hypertension oder ein PEX-assoziiertes Glaukom. Rao et al beziffern die Rate an Glaukomen in Augen mit PEX-Syndrom mit 25,1% und die von einer okulären Hypertension mit 13,1%. Dabei präsentierten sich 81% als Offenwinkelglaukom und 13% als Winkelblockglaukom. 3,7% seien auf ein Linsen-induziertes Glaukom im Sinne eines sekundären Winkelblocks zurückzuführen. (Rao et al. 2017)

Weiterhin bedeutend ist die assoziierte Instabilität der Zonulafasern und die daraus resultierende Phakopathie mit Phakodonesis durch Cyclo- und Zonulopathie. Aussprühendes PEX-Material aus der präequatorialen Zone der Linse können die Kapsel durchbrechen und Zonulafasern von der vorderen Kapsel trennen. Ein vergleichbarer Mechanismus destabilisiert die Fasern an ihrem Ansatzpunkt. Ergänzt wird die Zonulopathie durch die Anwesenheit von Proteasen wie Cathepsin B oder Metalloproteinasen in Bereichen mit pseudoexfoliativem Material. (Naumann et al. 1998)

Der Zonulopathie kommt bei der Kataraktoperation sowohl während der Operation selbst, als auch im postoperativen Verlauf eine besondere Bedeutung zu. Beobachtet wird ein erhöhtes

Risiko für intraoperative Komplikationen wie Zonuladialyse, anteriore oder posteriore Kapselruptur und Kernverlust in den Glaskörperraum. Postoperativ erhöht sich das Risiko für ein Hornhautödem, Augeninnendruckerhöhung, erneute Operationsnotwendigkeit, ausgeprägte Reizreaktion oder Uveitis und Kunstlinsen-Subluxation. Ong und Shalchi konnten in einer großen, retrospektiven Kohortenstudie zeigen, dass Patienten mit Pseudoexfoliationssyndrom trotz signifikant erhöhten Risiken für intra- und postoperative Komplikationen einen mit einer gesunden Population vergleichbaren bestkorrigierten Visusanstieg nach Kataraktoperation hatten, wenn auch der Visus in der Gruppe mit PEX-Syndrom prä- und postoperativ insgesamt niedriger war. Die Inzidenz im beobachteten Zeitraum von 10 Jahren für eine IOL-Subluxation betrug für die Gruppe mit PEX 1,4%, in der Vergleichsgruppe 0,1%. (Ong und Shalchi 2021)

2.3.2 Traumata

Eine Dislokation sowohl der natürlichen, kristallinen Linse als auch einer künstlichen IOL sind sowohl bei stumpfem als auch bei spitzem, penetrierendem Trauma denkbar. Im Computermodell konnten Liu et al. zeigen, dass bei stumpfem Trauma auf das Auge die hintere Linsenkapsel einer beinahe doppelt so hohen Belastung wie die Vorderkapsel ausgesetzt ist. Ursache hierfür sei eine Fortleitung der Schockwelle im Auge durch die direkte Kraffteinwirkung. Eine Veränderung der Belastungsintensität bei Veränderung der Eigenelastizität der Linse, zum Beispiel beim älteren Patienten, konnte nicht gezeigt werden. (Liu et al. 2015)

Auch Verletzungen des Ziliarkörpers und der Zonulafasern sind bei stumpfer Gewalteinwirkung gegen das Auge möglich. In einem ähnlichen Modell wie von Liu et al. konnten Stitzel et al. diese beschreiben. Zusätzlich konnte eine Veränderung der Belastungsspitzen in den einzelnen Geweben in Abhängigkeit der Verformbarkeit der Linse beobachtet werden. So erhöht die im Alter zunehmende Steifigkeit der Linse die Belastung des posterioren Ziliarkörpers, während bei elastischeren Linsen die höchste Belastung in den Zonulafasern nachgewiesen werden kann. Betrachtet man die Linse als isolierten, elastischen Körper steigt die Kraft, welche zur Verformung nötig ist proportional mit der Zunahme an Steifigkeit, der verursachte Stress auf das Gewebe jedoch steigt im Quadrat. Dieser Zusammenhang legt nahe, dass mit zunehmendem Alter und damit Zunahme der Steifigkeit der Linse das Risiko für Schäden sowohl des Linsenmaterials selbst als auch der umgebenden Strukturen zunimmt. (Stitzel et al. 2005; Fisher 1971)

Zahlen zu IOL-Dislokationen als langfristige Folge eines Traumas sind im Gegensatz zu Dislokationen durch ein akutes Trauma schwierig zu erlangen, da ein eindeutiger

Zusammenhang üblicherweise nicht beweisbar ist. Gross et al. assoziieren in einer Beobachtungsstudie mit 25 Augen mit IOL-Dislokation 16% der Fälle mit einem vorangegangenen Trauma. (Gross et al. 2004) Davis et al. konnten in einer ähnlichen Arbeit mit 86 Augen in 19% der Fälle von beobachteten Kunstlinsendislokationen ein vorangegangenes okuläres Trauma anamnestisch dokumentieren. Ein Zustand nach vorangegangener vitreoretinaler Chirurgie ist dabei explizit in dieser Zahl nicht enthalten. (Davis et al. 2009)

2.3.3 Marfan-Syndrom

Klassischerweise wird das Marfan-Syndrom durch eine Mutation im FBN1-Gen auf Chromosom 15q21.1 verursacht und zählt zu den am häufigsten vorkommenden hereditären Bindegewebserkrankungen. Der Erbgang ist autosomal-dominant, wobei etwa 25% der Neuerkrankungen sporadisch auftreten. Durch die fehlerhafte Expression des Fibrillin-1, dem Produkt des FBN1-Gens, treten eine Reihe bindegewebs-assoziiierter Pathologien bei Marfan-Patienten auf. Diese umfassen vor allem orthopädische Auffälligkeiten wie Skelettfehlstellungen- und Deformitäten, kardiovaskuläre und pulmonale Probleme wie Aortenwurzelektasien, Dissektionen oder Rupturen, Klappenvitien, Herzinsuffizienz und spontane Pneumothoraces. Weiterer bedeutsamer Manifestationsort des Marfan-Syndroms ist das Auge. Linsenluxationen, Myopie, Glaukom, Katarakt und Ablatio retinae können mit der Erkrankung assoziiert sein und stellen möglicherweise Erstmanifestationen eines Marfan-Syndroms dar. (Herold 2016, S. 208–209; Bitterman und Sponseller 2017) So leiden bis zu 80% der Patienten mit manifestem Marfan-Syndrom an einer bilateralen Ektopia lentis. Die Linse ist hierbei aus ihrer korrekten Position entweder vollständig verlagert, sodass eine funktionelle Aphakie besteht oder nur teilweise, wodurch ebenfalls erhebliche Refraktionsfehler entstehen. Frühzeichen dieser Subluxationen, bei denen Linsenanteile noch in der optischen Achse verbleiben kann eine Phakodonesis, ein Linsenschlottern sein. Bei nicht durch Brille ausgleichbaren Refraktionsfehlern, bei linseninduziertem Glaukom, Katarakt oder Uveitis oder einem Kontakt von (sub-)luxierter Linse mit dem Korneaendothel ist die operative Entfernung der Linse indiziert. (Bowling 2017, S. 294–297) Die Indikationsstellung sowie Methode der Linsenfixation bei primärer Kataraktoperation sollte eingedenk des erhöhten Risikos für postoperative IOL-Dislokationen bei Marfan-Patienten erfolgen und in der Patientenaufklärung spezielle Beachtung finden. Methoden wie Iris- oder Sklerafixationen der IOL können schon bei der primären Versorgung oder sekundär umgesetzt werden. (Lichtinger et al. 2013; Rabie et al. 2017)

2.3.4 Vor-Operationen

Beobachtet werden kann eine Assoziation von IOL-Luxationen und ausgedehnter peripherer Vitrektomie zum Beispiel bei der Behandlung einer rhegmatogenen Ablatio retinae. Vor allem bei skleraler Depression während der Vitrektomie kann es hierbei zu einer Verletzung der Zonulafasern im Bereich der Pars plana kommen. (Koike et al. 2017) Wie auch bei dem PEX-Syndrom und bei traumatischen Schäden scheint eine erworbene Insuffizienz der Zonulafasern Ursache der Linsendislokation zu sein. Nicht nur der direkte Kontakt mit dem Vitrektor sondern auch eingeführte Trokare bei der Pars plana Vitrektomie können die Zonulafasern besonders an ihrem Ursprung schädigen und destabilisieren. Dabei reicht eine punktuelle Schädigung aus, um durch die resultierende Mehr- und Fehlbelastung die übrigen Fasern dekomensieren zu lassen. (Davis et al. 2009; Fujikawa et al. 2018; Fenberg et al. 2016)

2.4 Besondere Indikation: Ungenügendes Ergebnis

Eine Explantation und sekundäre Implantation einer IOL kann notwendig sein, wenn nach der primären Versorgung mit einer IOL optische Phänomene wie Halos bestehen oder durch eine inkorrekte Brechkraft der Linse ein adäquates refraktives Ergebnis nicht erzielt worden ist. Dabei scheinen optische Störungen wie Halos, Kontrastverlust und Blendeffekte vor allem mit multifokalen IOLs assoziiert zu sein, wobei mit Weiterentwicklung der Implantate ein Rückgang dieser Komplikationen zu beobachten ist. (Mamalis et al. 2008)

Ein ungenügendes refraktives Ergebnis kann unterschiedliche Ursachen haben. Sowohl Fehler in der präoperativen Biometrie des Auges, fehlerhafte Berechnung, Auswahl oder Positionierung der IOL können dazu führen, dass eine adäquate Sehschärfe nicht erreicht wird. (Salerno et al. 2017) Optionen zur Korrektur verbliebener Refraktionsfehler umfassen Laserbasierte refraktive Chirurgie der Kornea (z.B. LASIK) und Linsenbasierte Methoden wie die Implantation einer zusätzlichen Linse (piggyback IOL) oder die Explantation und die sekundäre Implantation einer neuen IOL. (Alio et al. 2014)

2.5 Komplikationen

2.5.1 Nachblutung

Beispielsweise bei erhöhter Blutungsneigung im Rahmen einer therapeutischen Antikoagulation oder bei intraoperativen mechanischen Komplikationen kann es zu Nachblutungen kommen. Bei Blutungen in den Glaskörper oder in die Vorderkammer hängt die Symptomatik des Patienten vom Ausmaß der Blutung ab. So kann bei sehr geringen

Blutungen der Patient beschwerdefrei bleiben oder über dezentes Verschwommensehen berichten. Bei schwereren Verlaufsformen kann es dagegen zu einem deutlichen, einseitigen Visusverlust kommen. In diesem Fall kann der funduskopische Einblick soweit reduziert sein, dass sich eine Untersuchung mittels Ultraschalles anbietet. (Bowling 2017, S. 711)

Eine Blutansammlung in der Vorderkammer wird als Hyphäma bezeichnet. Durch Verlegung des Kammerwinkels kann es je nach Ausprägung zu signifikanten Erhöhungen des intraokularen Drucks kommen. Um Folgeschäden dadurch zu vermeiden sind IOD-Kontrollen bei bestehendem Hyphäma obligat. (Bowling 2017, S. 855–857)

Beim Uveitis-Glaukom-Hyphäma-Syndrom kommt es durch wiederholtes mechanisches Iristrauma durch Kontakt der Iris oder des Ziliarkörpers zu einer subluxierten oder anderweitig fehlpositionierten IOL zu rezidivierenden Vorderkammerblutungen mit Hyphäma. Zusätzlich beobachtet werden auch Pigmentdispersion, Augeninnendruckerhöhung, Neovaskularisationen und cystoides Makulaödem. (Zemba und Camburu 2017)

2.5.2 Postoperative Endophthalmitis

Eine postoperative Infektion des Auges kann sowohl akut als auch verzögert auftreten. Etwa 90% der Erreger einer akuten Entzündung sind gram-positiv, der häufigste unter diesen *S. epidermidis*. Das klinische Bild kann unterschiedlich schwerwiegend ausfallen, von Lidschwellung, konjunktivaler Injektion und Korneaödem bis hin zur eitrigen Vitritis. Begleitend klagt der Patient typischerweise über Schmerzen und Einschränkung der Sehfähigkeit am betroffenen Auge. Zum Erregernachweis empfiehlt sich die kulturelle Anzucht des Erregers aus Kammerwasser oder Glaskörperproben. Eine Behandlung sollte schon beim Verdacht mit einer kalkulierten intravitrealen Antibiotikatherapie erfolgen. Eine supportive Therapie mit oralen oder topischen Glukokortikoiden kann die entzündungsbedingte Zerstörung von Gewebe eindämmen. (Bowling 2017, S. 283–285) Als ultima ratio bei einem Visus von lediglich Lichtwahrnehmung kann eine Pars-Plana-Vitrektomie sinnvoll sein, wobei diese Daten nur für die Endophthalmitis nach Katarakt-OP existieren. (Harkins 1996) Eine individuelle Abwägung, eine ppV auch bei Patienten mit noch besserem Visus durchzuführen erscheint jedoch, auch wenn noch nicht evidenz-basiert, rational, was unter anderem auf eine drastische Verbesserung der OP-Technik der Pars-plana-Vitrektomie (ppV) in den vergangenen Jahren zurückzuführen ist. (Grzybowski et al. 2018)

Bei der verzögert auftretenden Form gelangen niedrig virulente Erreger in das Augeninnere und verursachen eine zunächst leichte, aber zunehmende Entzündung im Mittel 9 Monate nach

Chirurgie. Häufigste Erreger sind Propionibacterium acnes, aber auch Koagulase-negative Staphylokokken, gram-negative Erreger und Pilze können verantwortlich sein. Der Nachweis erfolgt analog zur akuten Endophthalmitis in der Blutkultur. Die Behandlung kann initial mit intravitrealen Antibiotika wie z.B. neueren Fluorchinolonen begonnen werden, wobei auch Berichte über erfolgreiche Behandlungen von P. acnes mit systemischer Antibiose existieren. Bei rezidivierenden Entzündungen jedoch muss auch die Möglichkeit einer chirurgischen Sanierung mittels ppV, teilweiser oder vollständiger Kapsulotomie mit oder ohne Entfernung der IOL bedacht werden. (Bowling 2017, S. 286; Shirodkar et al. 2012)

2.5.3 Schmerzen

Postoperative Schmerzen können nach sekundärer IOL-Implantation abgesehen vom erwarteten Wundschmerz durch das Zugangstrauma noch anderweitig verursacht werden. Ein dumpfer Schmerz könne laut Forlini et al. auch durch das Eigengewicht der Linse verursacht werden, welche, speziell wenn sich der Patient nach vorne lehne, gegen das Gewebe von Iris und Kornea drücke. (Forlini et al. 2015)

Auch ein erhöhter Augeninnendruck kann Ursache von postoperativen Schmerzen sein. Die Ursachen für eine postoperative Druckerhöhung sind nicht vollständig erforscht, Trivedi et al. geben beispielsweise im Auge verbliebenes Viskoelastikum und ein vorbestehendes Aphakieglaukom an. (Trivedi et al. 2012)

3 Angewandte Techniken der IOL-Fixierung

3.1 Implantation in die Vorderkammer

In die Vorderkammer können kammerwinkelgestützte IOL implantiert werden. Da die kammerwinkelgestützten IOL üblicherweise aus nicht verformbarem PMMA bestehen, erfordern diese einen verhältnismäßig weiten Zugang von etwa 6 mm. Da die Vorderkammerlinsen eine im Vergleich zu den noch aufzuführenden Alternativen hohe Komplikationsrate aufweisen, wird diese Technik nach und nach verlassen. Komplikationen umfassen beispielsweise Glaukomanfälle durch akuten Winkelblock, Pupillenverziehungen, Iridodonesis und allen voran eine Hornhautendothel-Dekompensation mit bullöser Keratopathie. Um vor allem letztgenannter Komplikation vorzubeugen, hat sich die retropupillare Enklavation von Irisklauenlinsen etabliert, über die im Folgenden noch gesprochen werden wird. (Lang et al. 2016, S. 223–224)

3.2 Implantation in die Hinterkammer

3.2.1 Implantation in den Kapselsack

Hierbei handelt es sich um das Standard-Vorgehen bei primärer Katarakt-Operation. Die Zugangsgröße muss je nachdem gewählt werden, ob die zu implantierende IOL faltbar ist oder nicht. So erfordern nicht faltbare PMMA-IOL größere Zugänge als Linsen aus Acryl oder Silikon. Dies hat zur Folge, dass PMMA nur noch selten für die Kapselsackimplantation verwendet werden. (Henderson et al. 2014, S. 174) Die Implantation erfolgt dann, nach Entfernung entweder der natürlichen Linse oder einer anderen IOL und adäquater Präparation des Kapselsacks entweder direkt über einen erweiterten Zugang (bei PMMA/nicht faltbaren Linsen), nach Faltung der IOL und Einbringung mithilfe einer speziellen Zange bzw. Pinzette oder über ein vorgefertigtes Injektorsystem. (Henderson et al. 2014, S. 176–178)

3.2.2 Sulcusfixiert

Die häufigste Indikation zur Implantation in den Sulcus ciliaris ist die anteriore Kapselruptur oder die hintere Kapselruptur mit intaktem vorderem Blatt. Komplikationen entstehen häufig durch Iris-Linsen-Kontakt und umfassen Pigmentdispersion, Augeninnendruckentgleisungen, Blutungen und Transilluminationsdefekte des Irispigmentblattes. (Mehta und Aref 2019) Insgesamt betrachtet, stellt die Implantation einer IOL in den Sulcus die zweithäufigste Methode nach der Implantation in den Kapselsack dar. Auch hier ist wie bei den anderen sekundären Hinterkammerlinsen auf eine ausführliche vordere Vitrektomie Wert zu legen, um Traktion an der Retina durch bestehende Glaskörperstränge zu vermeiden. Weiterhin muss beachtet werden, dass die Implantation einer IOL in den Sulcus eine Verkürzung der Vorderkammertiefe mit konsekutiver Myopisierung von 0,5-1 dpt zur Folge hat, sodass die Stärke der IOL entsprechend angepasst werden muss. Um diesen Effekt zu minimieren, kann ein sog. „optic capture“ durchgeführt werden. (Lang et al. 2016, S. 223) Hierbei werden die Haptiken im Sulcus ciliaris positioniert und danach die Optik der IOL durch eine noch bestehende vordere oder hintere Rhexis geführt. Dies setzt allerdings voraus, dass die Rhexis kleiner als die Optik der Linse ist, vergleichbar mit einem Knopf und einem Knopfloch. (Henderson et al. 2014, S. 97)

3.2.3 Irisfixiert

Ist eine Implantation einer IOL in den Kapselsack oder in den Sulcus nicht möglich, beispielsweise durch einen unzureichend stabilen Zustand von Kapselapparat und/oder Zonulafasern, kann die Fixation der Linse an der Iris erwogen werden. Hierfür ist ein Mindestmaß an Stabilität der Iris erforderlich. Außerdem sollte die Pupille keine dauerhafte ausgeprägte Mydriasis aufweisen, wie z.B. bei schwerer traumatischer Sphinkterläsion, da in diesem Fall störende Effekte durch den zur Abbildung kommenden Rand der Optik entstehen können. Spezifische Komplikationen umfassen Fälle ausgeprägter Pseudophakodonesis, Disenklavation und Irisatrophie. (Drolsum und Kristianslund 2021) Linsen können entweder durch Klauen an der Iris fixiert werden (vgl. Verisyse IOL) oder an der Iris festgenäht werden. Der erforderliche Zugang bei der Implantation einer Irisklauenlinse ist mit 5,5 mm mit dem einer Vorderkammerlinse vergleichbar. Nach Eröffnung des Situs erfolgt zunächst die korrekte Positionierung der Linse in der Vorderkammer, dann ihre Verbringung hinter die Iris mittels einer spezialisierten Pinzette. Abschließend wird Irisgewebe von anterior durch Druck in die Klauen-Haptiken der IOL fixiert.

Bei der Nahtfixation einer IOL an der Iris werden analog zur Sulcusfixierung mit „optic capture“ die Haptiken im Sulcus platziert, während die Optik der IOL noch in der Vorderkammer zurückbleibt. Dieses Vorgehen macht eine dreiteilige IOL notwendig. Anschließend wird die IOL mit einem 10-0 Prolene Faden an der Iris fixiert. Dadurch ergibt sich folgendermaßen die Notwendigkeit einer intakten Iris, sowohl bei Irisklauenlinsen, als auch bei nahtfixierten Linsen.

Eine deutlich kürzere Operationszeit bei der Implantation von Irisklauenlinsen im Vergleich zu nahtfixierten Linsen konnte gezeigt werden. (Lang et al. 2016, S. 224–227)

3.2.4 Sklerafixiert

Die Fixation von IOL an der Sklera kann durch vielfältige Methoden erreicht werden. Diese werden anhand der Fadenführung (Ab-Interno-/Ab-Externo-Technik), Größe des Zugangs (nicht faltbare vs. Faltbare IOL) und zusätzlicher episkleraler Fixierung des verwendeten Nahtmaterials. (Lang et al. 2016, S. 227) Besondere Bedeutung kommt der skleralen Fixation zu, wenn am betroffenen Auge weder Iris noch Kapselsack intakt sind. Verwendet werden dreiteilige IOL mit eigens modifizierten Haptiken. (Lang et al. 2016, S. 237)

Komplikationen bei Nahtfixation entstehen oft durch die Nähte selbst, beispielsweise durch frei liegende Knoten oder Abriss der Fäden. (Jacob et al. 2020)

Eine nahtmaterialfreie Methode stellt die Sklerafixation nach Yamane dar, bei der die Haptiken einer dreistückigen IOL üblicherweise bei 3 und 9 Uhr im Bereich der Pars plana mittels einer Kanüle externalisiert. Mit einem Glühkauter wird dann das Material der Haptiken erhitzt, sodass sich eine knopfartige Verdickung formt und die IOL so fixiert. Über der Haptik wird die Bindehaut geschlossen. In der Originalpublikation berichtete Komplikationen umfassen Iris capture, Glaskörperblutungen und cystoides Makulaödem. (Yamane et al. 2017)

B. Fragestellung der Arbeit

Die Katarakt ist die häufigste Ursache für Blindheit weltweit und ihre chirurgische Behandlung, die weltweit am häufigsten durchgeführte Operation am Menschen. (World Health Organization; Kohlen et al. 2009) Wenn auch sich die Raten der Notwendigkeit einer sekundären IOL-Implantation nach Katarakt-Operation in den letzten Jahren verringert zu haben scheinen, steigen aufgrund der Zunahme der Katarakt-Operationen in absoluten Zahlen auch die sekundären Eingriffe. (Sziagiato et al. 2017) Und auch in Zusammenschau mit der Relevanz der sekundären IOL-Implantation bei anderen Indikationen wie der infantilen Katarakt (Wood et al. 2016), dem Marfan-Syndrom oder beispielsweise bei IOL-Tausch nach subjektiv nicht tolerierter Implantation einer multifokalen Linse, sowie IOL-Eintrübung bei Materialfehlern erscheint eine eingehende Evaluation der Risikofaktoren und Komplikationsraten sowie ein Vergleich der genutzten Implantate sinnvoll.

Erläutert werden sollen im Folgenden die Identifikation und die Einschlusskriterien der untersuchten Patienten, die akquirierten Daten und deren Auswertung sowie die Diskussion und Interpretation dieser im Kontext anderer Studien zum Thema. Anschließend soll sich noch eine Diskussion bezüglich möglicher Fehler, Stärken und Schwächen der Arbeit anschließen.

C. Patientenkollektiv, Methodik und Materialien

1. Patienten und Daten

1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden angewandt auf Patienten, bei denen eine sekundäre IOL-Implantation an mindesten einem Auge durchgeführt wurde.

Aus der elektronischen Datenbank (SMARTEYE Database) (Nasseh et al. 2015) der Augenklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München wurden Patienten mit nachfolgenden ICD10 Diagnose-codes exportiert und selektiert: Personen mit Diagnosen des Kapitels VII ICD-10-GM „Krankheiten des Auges und der Augenanhangsgebilde (H00-H59)“ (DIMDI - ICD-10-GM Version 2018 2018).

Weitere Einschlusskriterien waren ein Alter über 17 Jahre zum Zeitpunkt der OP und die Durchführung der OP in der Augenklinik der LMU, München im Zeitraum zwischen 1.1.2014 und 31.12.2016. Patienten mit vorausgegangener Hornhauttransplantation (OPS 5-125) (DIMDI - OPS Version 2018 2018) wurden ausgeschlossen. Näher betrachtet wurde ein gesamtes Kollektiv von 387 evaluierten Patienten.

1.2 Erhobene Daten

1.2.1 Visusbestimmung

Eine Visusbestimmung wurde bei allen Patienten sowohl prä- als auch post-OP durchgeführt. Zeitpunkte waren hierfür wenige Tage bis unmittelbar vor der OP und in unterschiedlichen Abständen nach dem Eingriff. Diese umfassten für gewöhnlich eine Testung der Sehkraft 1 Tag nach der OP und Nachkontrollen nach wenigen Wochen bis zu 2 Jahren. Der Visus wurde je nach Untersucher und Patient als UDVA (Uncorrected Distance Visual Acuity), also Fern-Sehschärfe ohne Korrektur, und als BCVA (Best Corrected Distance Visual Acuity), also Fern-Sehschärfe mit Korrektur in Form einer eigenen Brille oder einer vorgehaltenen Linse mithilfe eines Phoropters bestimmt. Zu erkennende Objekte werden Optotypen genannt. Beispiele hierfür sind Landolt-Ringe, E-Haken nach Pflüger, Zahlen und Buchstaben in standardisierten Strichstärken und Größen. Standardmäßig wurden Snellen-Optotypen verwendet. Hierbei verwendeten wir standardmäßig Zahlen, welche im Abstand von 5 Metern präsentiert werden. Als Visus von 1,0 wird das richtige Erkennen der jeweiligen Optotypen wie diese nach Snellen, Landolt-Ringen oder E-Haken definiert, deren „Strichstärke und Zwischenräume zwischen den Balken bzw. Lücke unter einem Sehwinkel von 1 Winkelminute erscheinen.“ (Grehn 2012, S.

35–36) Die ermittelten Werte wurden für die Dokumentation und die statistische Auswertung schließlich als LogMAR-Visus angegeben. Die Umrechnung erfolgt wie folgt:

Visus (Dezimal EN ISO 8596)	Metervisus	LogMAR
	Nulla Lux	+5
	Lux	+4
0,001	Handbewegung	+3
0,01	Finger zählen	+2
0,02	1/50	+1,7
0,025		+1,6
0,032	1/35	+1,5
0,04	1/25	+1,4
0,05	1/20	+1,3
0,06	1/15	+1,2
0,08		+1,1
0,1	1/10	+1,0
0,125		+0,9
0,16		+0,8
0,2		+0,7
0,25		+0,6
0,32		+0,5
0,4		+0,4
0,5		+0,3
0,63		+0,2
0,8		+0,1
1,0		0,0
1,125		-0,1
1,6		-0,2
2,0		-0,3
2,5		-0,4

(Ferris et al. 1982)

1.2.2 Objektive Refraktion

Wie die Bestimmung der Sehschärfe erfolgte auch die Messung der objektiven Refraktion des jeweils betroffenen Auges der Patienten sowohl vor als auch nach der Operation. Verwandt wurde hierfür ein automatisches Refraktometer. Da objektive Refraktionsmessungen sowohl im Haus mit dem Modell Nidek AR-1, aber auch beim niedergelassenen Augenarzt durchgeführt wurden, kann an dieser Stelle kein einheitliches Modell angegeben werden. Im Haus liegen die Ergebnisse der jeweiligen Untersuchung für gewöhnlich in gedruckter Form oder als Scan in der digitalen Patientenakte vor. Übliche Refraktometer basieren auf einer Infrarotquelle, die, in Verbindung mit einer Gitter- oder Schneideblende, Licht auf die Retina sendet und über die Reflexion mithilfe von Sensor-Chips oder CCD-Kameras die jeweilige Fehlsichtigkeit berechnet und in dpt getrennt nach Sphäre, Zylinder und Achsenlage des Zylinders angibt. Auch weitere Messverfahren wie Skiaskopieverfahren, Scheinerverfahren oder Bildschärfeverfahren sind möglich und je nach Hersteller angewandt. (Lachenmayr 2006; Spektrumverlag)

1.2.3 Hornhaut-Tomographie („Pentacam®“)

Im Rahmen der Voruntersuchungen vor der sekundären IOL-Implantation wird standardmäßig auch eine Topographie der Hornhautoberfläche der Patienten durchgeführt. Dabei wird eine dreidimensionale Darstellung sowohl der Hornhautoberfläche, der Vorderkammer als auch der Linse erstellt. Zusätzlich werden Höhendaten der Hornhautvorder- und Hornhauatrückfläche vermessen sowie ein eventuell vorhandener Astigmatismus, die Gesamtbrechkraft, Größe und Dicke (Pachymetrie) der Hornhaut, Vorderkammervolumen und -tiefe. Bei den hier untersuchten Patienten kam dafür die Pentacam® (OCULUS Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Germany) zum Einsatz. Das Gerät erfordert, wie alle verwendeten diagnostischen Geräte, einen Untersucher und besitzt die Möglichkeit Patientendaten wie Name, Vorname, Geburtsdatum und, falls vergeben, eine ID-Nummer zu speichern. Pro Patienten können mehrere Aufnahmen verschiedener Zeitpunkte gespeichert und wiedergegeben werden. Relevante erhobene Daten aus der Topographie waren die gemessenen Hornhautradien, angegeben in Millimeter, als spezifische Beschreibung des vorhandenen Astigmatismus.

1.2.4 Biometrie und Linsenbestimmung („IOLMaster700®“)

Zur Berechnung der zu implantierenden Linse wird standardmäßig der IOLMaster 700 (Fa. Zeiss, Carl-Zeiss-Meditec AG, Jena, Germany) am Haus verwendet. Wie die Pentacam® erfordert das Gerät einen Untersucher und besitzt die Möglichkeit Patientendaten wie Name, Vorname, Geburtsdatum und, falls vergeben, eine ID-Nummer zu speichern. Pro Patienten

können mehrere Aufnahmen verschiedener Zeitpunkte gespeichert und wiedergegeben werden. Größen der Vermessung sind die Achslänge des Auges, die Hornhautradien, die Vorderkammertiefe, die Linsendicke (falls eine Linse vorhanden ist), die zentrale Hornhautdicke und der horizontale Hornhaut-Durchmesser (Weiß zu Weiß Abstand). Fehlmessungen können durch das Tragen von Kontaktlinsen oder einer Brille entstehen, sodass dies vermieden werden sollte. Zur Berechnung der zu implantierenden Linsenstärke können eine Vielzahl von biometrischen Formeln genutzt werden. Für die Linsen der beobachteten Patienten wurden folgende Formeln benutzt: Haigis, HofferQ, SRK/T, SRK2, Holladay 1.

Diese Formeln berechnen die optimale IOL-Stärke für das gewünschte Ergebnis basierend auf biometrisch erhobenen Daten. Dabei hängt die Zuverlässigkeit der Formeln maßgeblich von der Achslänge des untersuchten Auges ab. Für durchschnittliche Achslängen von 22,5-24,5 mm sind bei allen verwendeten Formeln gute Berechnungen zu erwarten. Bei Achslängen unter 22 mm liefert die HofferQ-Formel die zuverlässigsten Ergebnisse, bei Achslängen über 26 mm die Formel SRK/T. (Hoffer 1993, 2000; Aristodemou et al. 2011)

Eine neuere Formel wie Haigis berücksichtigt neben Achslänge und K-Werte auch die Vorderkammertiefe, liefert sehr gute Ergebnisse auch bei hoch-myopen Augen. (Zhang et al. 2016)

1.2.5 Anamnestische Daten prä- und post-OP

Von den in der Anamnese sowohl vor als auch nach der Implantation der sekundären IOL erhobenen Daten wurden folgende für diese Arbeit aufgezeichnet und näher betrachtet: Name, Geschlecht und Geburtsdatum der jeweiligen Patienten, Seite des erkrankten Auges (rechts/links), relevante Vorerkrankungen (z.B. angeborene Erkrankungen, chronische Leiden) und bereits erfolgte Operationen oder akzidentielle Traumata am Auge. Spezielles Augenmerk lag des Weiteren auf Erkrankungen und Zuständen, die die Notwendigkeit einer sekundären IOL-Implantation begünstigt haben können. Im speziellen sind diese: Hinweise auf ein Pseudoexfoliationssyndrom, Zustand nach Chirurgie bei Ablatio retinae mit Plombe und/oder pars plana Vitrektomie und Zustand bei oder nach Uveitis.

Anamnestische Daten nach Operation umfassten subjektives Schmerzempfinden, Hypotonie des Auges, ein postoperatives zystoides Makulaödem und weitere individuelle Komplikationen wie eine erneute Luxation der Linse.

Die Untersuchungen führten jeweils Augenärzte der Universitätsaugenklinik der LMU durch, neben den oben aufgeführten Daten wurde bei jedem Besuch eine vollständige Augenärztliche

Untersuchung durchgeführt. Die Operationsaufklärung fand mit Hilfe von handschriftlich ergänzten „proCompliance“ Aufklärungsbögen des Thieme-Verlages statt.

2. Verwendete Linsentypen

2.1 Vorderkammerlinsen

Die Morcher 54A Vorderkammerlinse ist eine PMMA-Linse mit einem maximalen Durchmesser von 12,5 mm, einem Durchmesser der Optik von 5,5mm und einem Winkel der Haptiken von 14°. Sie ist in den Stärken von 10,0-30,0 dpt verfügbar. (MORCHER GmbH)

Die CT 13A der Firma Zeiss ist eine sphärische, equikonvexe IOL aus PMMA mit einem maximalen Durchmesser von 13,3 mm, einem Durchmesser der Optik von 5,5mm und einem Winkel der Haptiken von ebenfalls 14°. Sie ist in den Stärken von 0,0 bis 35,0 dpt verfügbar.

(zeiss_produktkatalog_neu2018)(zuletzt geprüft am 12.01.2019)

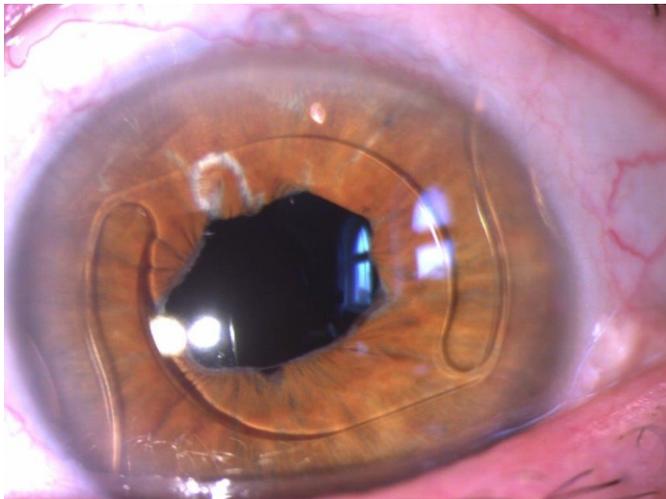


Abbildung 2: Vorderkammer-IOL, Bild aus eigener Anfertigung

2.2 Verisyse VRSA54

Die Verisyse VRSA54 Linse von Johnson & Johnson Vision ist eine Irisklauenlinse aus PMMA mit einem Gesamtdurchmesser von 8,5 mm und einem Optikdurchmesser von 5,0 – 6,0 mm. (Verisyse® Phakic IOL | Johnson & Johnson Vision) Sie ist verfügbar in den Stärken von 2,0 dpt bis 30.0 dpt. (Fouda et al. 2016)

Verisyse
PHAKIC INTRACAMERAL LENS

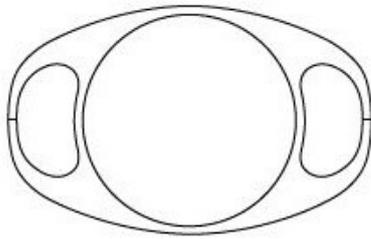


Abbildung 3: Verisyse VRSA54 modifiziert nach (BDSAdvice GmbH 2020)

2.3 Alcon SA60AT

Die SA60AT der Firma Alcon ist eine sphärisch monofokale Hinterkammerlinse aus hydrophobem Acryl mit einem Gesamtdurchmesser von 13,0 mm und einem Optikdurchmesser von 6,00 mm. Sie ist in den Stärken 6,0 dpt bis 40,0 dpt verfügbar. Der Winkel der Haptiken beträgt 0°. (Alcon Produktkatalog OC 2015 — Ophthalmochirurgie - ALCON Pharma GmbH)

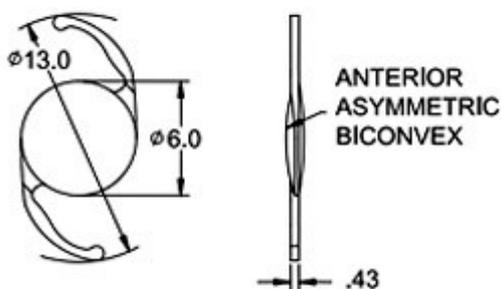


Abbildung 4: Alcon SA60AT modifiziert nach (SA60AT.jpg (292×375) 2016)

2.4 MediconTur 677AB

Die 677AB von MediconTur ist eine asphärische Hinterkammerlinse aus hydrophil-hydrophobem Copolymer mit einem Gesamtdurchmesser von 13,0 mm und einem Optikdurchmesser von 6,0 mm. Sie ist in den Stärken von -10,0 dpt bis +45,0 dpt verfügbar. Der Winkel der Haptiken beträgt 0° . (MediconTur Produktkatalog 677AB, 677ABY)

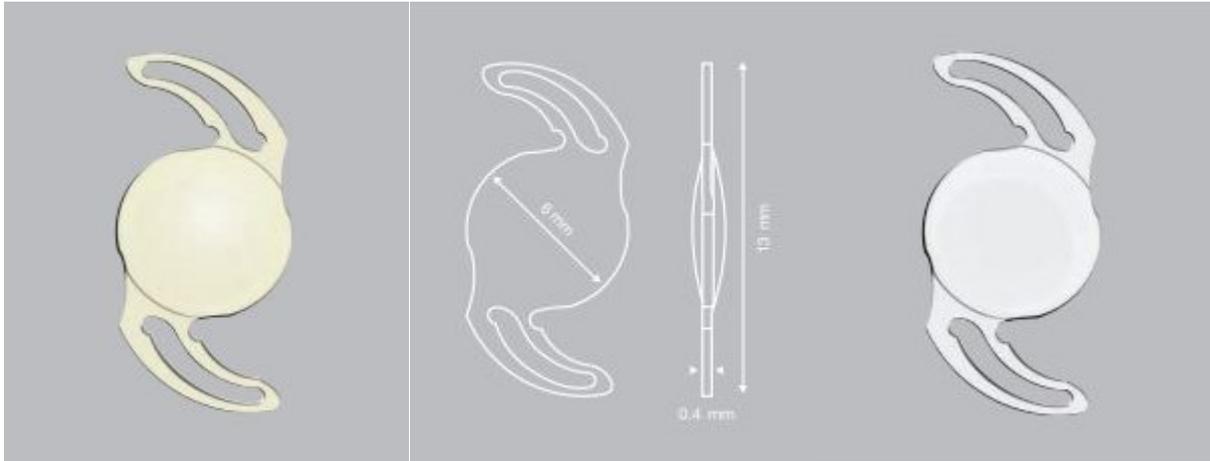


Abbildung 5: MediconTur 677AB modifiziert nach (MediconTur Produktkatalog 677AB, 677ABY)

3. Methoden der Auswertung

3.1 Erfassung

Präoperative Daten wurden im Rahmen der Anamnese und der präoperativen Diagnostik von Fach- und Assistenzärzten der Augenklinik der LMU erhoben und in der Digitalen Patientenakte vermerkt. Die Operationsaufklärung wurde mithilfe von proCompliance Aufklärungsbögen durchgeführt und dokumentiert. Eine Kopie derselben ist in der digitalen Patientenakte ebenfalls einsehbar. Die Anamnese wurde vor Operation dementsprechend mit Hinblick auf internistische und chronische Vorerkrankungen zum einen und zum anderen mit Hinblick auf ophthalmologische Vorerkrankungen, stattgehabte Operationen und Traumata geführt. Es folgte außerdem eine vollständige augenärztliche Untersuchung an der Spaltlampe und die Bestimmung des korrigierten bzw. nicht korrigierten Fernvisus, eine objektive Refraktionsbestimmung und eine Biometrie des Auges zur Bestimmung der zu implantierenden Linsenstärke. Postoperative Daten dagegen wurden nicht nur bei der Nachuntersuchung in der Augenklinik selbst erhoben, sondern konnten auch von niedergelassenen Augenärzten, welche in die postoperative Nachsorge mit eingebunden waren, festgestellt werden. Bei vollständiger Nachsorge außerhalb der Augenklinik wurden die fehlenden Daten telefonisch bei den jeweiligen niedergelassenen Augenärzten, soweit bekannt, erfragt.

3.2. Statistik

Die Datenauswertung wurde mithilfe von SPSS Statistics 24.0 von IBM durchgeführt. Für die deskriptive Statistik wurden Häufigkeiten, Mittelwerte, Minima, Maxima, der Median und Standardabweichungen der jeweils betrachteten Variablen berechnet. Das Signifikanzniveau lag bei $p < 0,05$.

Der Absolute Error (AE) beschreibt in der Mathematik den Unterschied zwischen dem tatsächlichen, wahren Wert einer Messgröße und dem gemessenen Wert. Bestimmt wird der AE mithilfe der Formel:

$$AE = \tilde{A} - A$$

wobei \tilde{A} den gemessenen Wert und A den wahren Wert der Messgröße darstellt. (Rabinovich 2006, S. 2)

Im vorliegenden Fall stellt \tilde{A} die tatsächlich erreichte und zuletzt objektiv gemessene Refraktion des operierten Auges dar, A den im IOL-Master 700 (Zeiss) vorhergesagten Wert der Refraktion bei Implantation der entsprechenden Linse.

Zur Evaluation von Zusammenhängen zwischen refraktivem Ergebnis und Risikofaktoren sowie postoperativen Komplikationen wurde ein Chi-Quadrat test angewandt. Für Unterschiede zwischen AE je nach Faktor (z.B. Ursache der Operation, Implantationsstelle, usw.) wurde eine einfaktorische Varianzanalyse (ANOVA) angewandt. Um Fehler durch multiples Testen zu minimieren, wurde die Bonferroni-Korrektur angewandt. Da es sich hier um eine selektive Stichprobe mit komplexer Struktur der erhobenen Daten handelt, wurden Testverfahren angewandt, welche keine Normalverteilung der Daten voraussetzen. Die statistische Signifikanz von Risikofaktoren und Komplikationen wurde anhand von Binominaltests untersucht.

D. Ergebnisse

1. Demographische Daten

1.1 Patientenzahl und Geschlechterverteilung

Tabelle 1: Patientenzahl und Geschlechterverteilung

	Anzahl	In Prozent
Männlich	175	51,6
Weiblich	164	48,4
Gesamt	339	100

Es zeigte sich keinerlei Auffälligkeit in der Geschlechterverteilung der Patienten. Insgesamt ausgewertet wurden 339 Patientenfälle ($p=0.587$, One Sample Binomial Test)

1.2 Alter, nach Geschlechtern

Tabelle 2 Alter der Patienten, nach Geschlechtern

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Männliche Patienten gesamt	70,05	13,23	25	94
Weibliche Patienten gesamt	74,57	12,35	17	94

In der Altersverteilung scheinen weibliche Patienten mit einem Durchschnittsalter von gerundet 75 Jahren bei OP etwas später einer sekundären IOL-Implantation zu benötigen als Männer mit einem Durchschnittsalter von 70 Jahren. ($P=0.043$, Chi-Quadrat-Test)

1.3 Betroffenes Auge

Tabelle 3: Betroffenes Auge

	Häufigkeit	In Prozent
Rechts	169	49,9
Links	170	50,1
Gesamt	339	100

Wie erwartet lässt sich kein Auge als mehr oder weniger Risikobehaftet als das andere identifizieren. ($p=1.000$, One Sample Binomial Test)

2. Visus und Biometrie bei Erstvorstellung

Tabelle 4: Visus korrigiert (CDVA) und unkorrigiert (UDVA) bei Erstvorstellung

	Mittelwert	Anzahl	Standard- Abweichung	Minimum	Maximum
CDVA	0,52	129	0,44	0,0	2,0
UDVA	1,19	254	0,88	0,0	4,0

Der durchschnittliche Visus vor OP ohne Korrektur war 1,19 LogMAR mit einer Standardabweichung von 0,88.

Erwartungsgemäß werden von den Patienten in der präoperativen Visusprüfung mit Korrektur bessere Werte (Mittelwert 0,52) als ohne Korrektur (Mittelwert 1,19) erreicht. Hierbei zu beachten ist die Angabe des Visus in LogMAR.

3. Objektiv bestimmtes sphärisches Äquivalent vor OP in dpt

Tabelle 5: Objektiv bestimmtes sphärisches Äquivalent vor OP in dpt

Mittelwert	5,01
Anzahl	190
Std-Abweichung	7,24
Minimum	-8,38
Maximum	24,88
Median	1,75

Von 339 ausgewerteten Fällen konnten in 190 Fällen ausreichend Daten erhoben werden, um das präoperative sphärische Äquivalent zu berechnen. Grund hierfür waren meist inkomplette Dokumentation. Im Mittel lag das sphärische Äquivalent bei 5,01D mit einer Standardabweichung von 7,24D. Der Median lag bei 1,75D.

4. IOL-Stärke in dpt

Tabelle 6: IOL-Stärke in dpt

Mittelwert	17,75
Anzahl	272
Std-Abweichung	4,21
Minimum	-6,50
Maximum	31,00
Median	18,50

Es wurden Linsen mit den Stärken von -6,5 bis +31,00D eingesetzt, dabei ergab sich ein Mittelwert der implantierten Linsenstärken von 17,75D. Der Median lag bei 18,50D.

5. Achslänge in mm

Tabelle 7: Achslänge in mm

Mittelwert	24,23
Anzahl	308
Std-Abweichung	2,03
Minimum	20,42
Maximum	37,81
Median	23,89

Die Achslänge der beobachteten Augen liegt im Mittel bei 24,23 mm mit einer Standardabweichung von 2,03 mm. Der Median der Achslängen lag bei 23,89 mm.

6. Hornhautradien K1 und K2

Tabelle 8: Hornhautradien K1 und K2

	K1	K2	Km	Kornealer Astigmatismus
Mittelwert	42,94	44,13	42,54	-1,14
Anzahl	305	305	305	301
Std-Abweichung	1,81	2,0	1,82	1,12
Minimum	37,40	39,90	39,45	-8,55
Maximum	48,40	54,79	50,52	4,39

Der Mittelwert für die berechneten Werte der Differenz von K1 und K2 beträgt -1.14 mm mit einer Standardabweichung von 1,12 mm.

Standardmäßig wurden hier Werte aus der Biometrie (Zeiss IOL Master 700) erhoben. War eine solche Messung nicht dokumentiert oder die entsprechenden Werte nicht verfügbar, wurden sie, wenn möglich durch Werte aus der Hornhauttopographie mittels Pentacam® (OCULUS) ergänzt.

7. Vorderkammertiefe in mm

Mittelwert	4,22
Anzahl	248
Std-Abweichung	0,91
Minimum	1,35
Maximum	7,88
Median	4,25

Die mittlere Vorderkammertiefe lag bei 4,22 mm mit einer Standardabweichung von 0,91 mm. Die niedrigste gemessene Vorderkammertiefe lag bei 1,35 mm, die höchste bei 7,88 mm. Der Median lag bei 4,25 mm.

8. Risikofaktoren

8.1 Vitrektomie in der Vorgeschichte

Tabelle 9: Vitrektomie in der Vorgeschichte

	Häufigkeit	In Prozent
Nein	236	69,62
Ja	98	28,91
Fehlend	5	1,47
Gesamt	339	100

Bei 98 der untersuchten Patienten konnte bei der Aktendurchsicht eine Vitrektomie am betroffenen Auge in der Vorgeschichte festgestellt werden. Dies entspricht 28,91% der gesamten Patientenzahl. ($p < 0,0001$, One Sample Binominal Test)

8.2 Ablatio in der Vorgeschichte

Tabelle 10: Ablatio in der Vorgeschichte

	Häufigkeit	In Prozent
Nein	319	95,51
Ja	15	4,49
Fehlend	5	1,47
Gesamt	339	100

Bei 15 der untersuchten Patienten konnte bei der Aktendurchsicht eine Ablatio retinae in der Patientengeschichte am betroffenen Auge festgestellt werden. Dies entspricht 4,49% der gesamten Patientenzahl. ($p < 0,0001$, One Sample Binominal Test)

8.3 PEX in der Vorgeschichte

Tabelle 11: PEX in der Vorgeschichte

	Häufigkeit	In Prozent
Nein	236	69,6
Ja	99	29,2
Fehlend	4	1,2
Gesamt	339	100

Ein Pseudoexfoliationssyndrom konnte bei 99 ausgewerteten Fällen als bestehend festgestellt werden, dies entspricht 29,2% der untersuchten Augen. ($p < 0,0001$, One Sample Binominal Test)

8.4 Trauma in der Vorgeschichte

Tabelle 12: Trauma in der Vorgeschichte

	Häufigkeit	In Prozent
Nein	308	90,9
Ja	26	7,7
Fehlend	5	1,5
Gesamt	339	100

Bei 26 ausgewerteten Fällen fanden sich Hinweise auf ein Trauma am betroffenen Auge in der Vorgeschichte. Dies entspricht 7,7% der ausgewerteten Fälle. ($p < 0,0001$, One Sample Binominal Test)

9. Komplikationen

9.1 Postoperative Nachblutung

Tabelle 13: Postoperative Nachblutung

	Häufigkeit	In Prozent
Nein	293	86,43
Ja	40	11,8
Fehlend	6	1,77
Gesamt	339	100

Eine postoperative Nachblutung wurde in 40 Fällen dokumentiert. Dies entspricht 11,8% aller ausgewerteten Fälle. ($p < 0,0001$, One Sample Binominal Test)

Dabei traten Nachblutungen am häufigsten bei den Vorderkammerlinsen mit in 8 der 53 Fälle auf (15,1%). Dicht folgend waren die irisfixierten Linsen (26 von 175 Fällen, 14,9%) und die sklerafixierten Linsen (2 von 24 Fällen, 8,3%). Am wenigsten Nachblutungen verursachten Linsen, welche in den Sulcus (2 von 37 Fälle, 5,4%) und in die Kapsel (2 von 41 Fällen, 4,9%) implantiert wurden.

9.2 Postoperative Hypotonie

Tabelle 14: Postoperative Hypotonie

	Häufigkeit	In Prozent
Nein	316	93,2
Ja	17	5,0
Fehlend	6	1,8
Gesamt	339	100

17-mal wurde eine postoperative intraokulare Hypotonie dokumentiert. Dies entspricht 5,0% aller ausgewerteten Fälle. ($p < 0,0001$, One Sample Binominal Test) Je acht Fälle wurden in den Gruppen der vorderkammer- und irisfixierten Linsen beobachtet, ein Fall bei den sklerafixierten Linsen. (Entspricht: Vorderkammerlinsen 15,1%, irisfixierte Linsen: 4,6%, sklerafixierte Linsen: 4,2%)

9.3 Postoperatives cystoides Makulaödem

Tabelle 15: Postoperatives cystoides Makulaödem

	Häufigkeit	In Prozent
Nein	323	95,3
Ja	8	2,4
Fehlend	8	2,4
Gesamt	339	100

8-mal fand sich in der vorliegenden Dokumentation ein Vermerk auf ein postoperativ entstandenes cystoides Makulaödem. Dies entspricht 2,4% aller ausgewerteten Fälle. ($p < 0,0001$, One Sample Binominal Test) In sieben der acht dokumentierten Fälle wurde eine irisfixierte Linse implantiert, in einem Fall eine Vorderkammerlinse. (Entspricht: Vorderkammerlinsen 1,9%, irisfixierte Linsen: 4,1%)

9.4 Andere, seltene Komplikationen innerhalb 3 Monate nach OP

Tabelle 16: Andere, seltene Komplikationen innerhalb 3 Monate nach OP

	Häufigkeit	In Prozent
Nein	300	88,5
Ja	34	10,0
Fehlend	5	1,5
Gesamt	339	100

Andere sowie seltene Komplikationen wurden in 34 der Fälle vermerkt. Dies entspricht 10,0% aller ausgewerteter Fälle. ($p < 0,0001$, One Sample Binominal Test)

Die häufigsten seltenen Komplikationen waren eine erneute Subluxation oder Luxation, davon 14 spontan, 2 durch erneutes Trauma, eine Ablatio retinae 5-mal, eine Glaskörperblutung 4-mal.

9.5 Andere, seltene Komplikationen über 3 Monate nach OP

Tabella 17: Andere, seltene Komplikationen über 3 Monate nach OP

	Häufigkeit	In Prozent
Nein	134	39,5
Ja	44	13,0
Fehlend	161	47,5
Gesamt	339	100

Insgesamt wurden 44 Komplikationen nach über 3 Monaten dokumentiert, welche keiner der Gruppen „Hypotonie, Nachblutung oder cystoides Makulaödem“ zugeordnet werden konnten. Hier zu beachten ist die große Gruppe von 161 Patienten, welche keine suffizienten Follow-up Daten aufweist.

Eine erneute Luxation bzw. Subluxation der sekundär implantierten Linse wurde insgesamt in 16 Fällen dokumentiert, 14 davon spontan, 2 durch erneutes Trauma. Bei nur 5 dieser Fälle führte die falsche Lage der IOL zu einer dokumentierten Abweichung des erwarteten sphärischen Äquivalents von über 2 Dioptrien. Überwiegend wurden in diesen Fällen Linsen-Repotionierungen durchgeführt, um die Lage des Implantates zu korrigieren.

Betrachtet man die Subgruppe der Verisyse-Linsen im Speziellen, wurde in 36 Fällen eine späte Komplikation (über 3 Monate nach OP) dokumentiert, in 11 Fällen handelte es sich um eine erneute Dislokation der implantierten Verisyse-Linse. Dies entspricht 30,6% aller dokumentierten späten Komplikationen nach Verisyse-Implantation und 6,3% aller untersuchten durchgeführten Verisyse-Implantationen.

10. Indikation zur Sekundärimplantation

Tabella 18: Indikation zur Sekundärimplantation

	Häufigkeit	In Prozent
Luxation	126	37,17
Subluxation	118	34,80
Aphakie	11	3,24
Eingetrübte IOL	65	19,17
Andere	19	5,60
Gesamt	339	100

Bei der Auswertung der Indikation des Linsenwechsels nehmen Luxation mit 37,17% und Subluxation mit 34,80% aller ausgewerteten Fälle den höchsten Stellenwert ein. Folgend als Ursache für einen Linsenwechsel lässt sich die Linsentrübung mit 19,17% identifizieren. Bei 3,24% bestand vor der sekundären IOL-Implantation eine Aphakie, die in der beobachteten Gruppe seltenste Indikation. ($p < 0.0001$, Chi-Quadrat-Test)

11. Fixierung der neuen IOL

Tabelle 19: Fixierung der neuen IOL

	Häufigkeit	In Prozent
VKL	54	16,07
Irisfixiert (retropupillar)	176	51,92
Sulcus	38	11,21
Kapselsack	43	12,68
Sklerafixiert	25	7,44
Fehlend	3	0,88
Gesamt	339	100

Die mit 51,92% favorisierte Fixationstechnik war in der beobachteten Gruppe die Irisfixation, gefolgt von der Implantation in die Vorderkammer ($p < 0.0001$, Chi-Quadrat-Test)

12. Verwendete Linse

Tabelle 20: Verwendete Linse

	Häufigkeit	In Prozent
VKL (CT13A, Morcher 54A)	44	13,0
Verisyse	176	51,9
SA60AT	25	7,4
AMO60DL	2	0,6
677AB	4	1,2
Sonstige	49	14,5
Fehlend	39	11,5
Gesamt	339	100

Kongruent zur favorisierten Fixationstechnik wurde mit 51,9% am häufigsten die Verisyse Irisklauenlinse verwendet, gefolgt von der Gruppe der Sonstigen mit 14,5% und den

Vorderkammerlinsen mit 13,0%. Unter „Sonstige“ fallen eine Vielzahl von Linsen, welche jeweils nicht öfter als in 5 Fällen implantiert wurden und zuvor nicht als speziell zu evaluierende Linsen definiert wurden. Hierunter fallen auch refixierte Linsen, deren Typ durch Vorlage des Linsenpasses identifiziert wurde. In 39 Fällen konnte die implantierte Linse nicht mehr nachverfolgt werden. ($P < 0.0001$, Chi-Quadrat-Test).

13. Refraktives Ergebnis

13.1 Sphärisches Äquivalent in Dioptrien nach der Operation

Tabelle 21: Sphärisches Äquivalent nach Operation

Postoperatives Zeitfenster	Anzahl	Mittelwert	Std.-Abweichung	Spannweite	Minimum	Maximum
0-3 Monaten	119	-0,22	2,59	18,50	-5,63	12,88
>3 Monaten	42	-0,83	2,05	10,25	-7,25	3,00

Von 339 ausgewerteten Fällen konnten in 161 Fällen ausreichend Daten erhoben werden, um das postoperative sphärische Äquivalent zu berechnen. Grund hierfür waren meist inkomplette Dokumentation. Mehr Daten existieren in der Follow-up-Gruppe im kürzeren post-Operations-Zeitraum von 0-3 Monaten nach Operation. Hier konnte ein Mittelwert für das sphärische Äquivalent von -0,22 dpt errechnet werden. Eine Standardabweichung von 2,59 dpt korreliert hier mit einer Spannweite der beobachteten Werte von 18,50 dpt.

In der kleineren Follow-up-Gruppe im Zeitraum länger als 3 Monate nach Operation zeigte sich ein Mittelwert von -0,83 dpt, eine Standardabweichung von 2,05 dpt mit einer Spannweite von 10,25 dpt.

13.2 Abweichen des Absolute Error um ≥ 2 dpt

Bei 12 beobachteten Fällen konnte ein Abweichen des Absolute Error um ≥ 2 dpt beim letzten Follow-up beobachtet werden. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die vermuteten Ursachen und Auffälligkeiten. Bei den angegebenen Häufigkeiten ist zu beachten, dass mehrere Auffälligkeiten pro Fall aufgelistet wurden.

Auffälligkeit	Häufigkeit
Z.n. Ablatio-Chirurgie, ppV	8
Re-Luxation der IOL	5
Postoperative Ablatio retinae	2
Postoperative Nachblutung	2
Pseudoexfoliationssyndrom	1
Postoperatives zystoides Makulaödem	1
Postoperative Hypotonie	1

Insgesamt bei vier Patienten kam es zu Abweichungen von über 4 dpt zum letzten ausgewerteten Follow-up. Bei dreien der Patienten lag eine erneut aufgetretene Luxation bzw. Subluxation der sekundären IOL vor. Dabei handelte es sich in zwei Fällen um erneut komplett luxierte Verisyse-Irisklauenlinsen und einmal um eine subluxierte kapselfixierte 677AB Linse.

13.3 Postoperativer nichtkorrigierter und korrigierter Visus nach der Operation

Tabelle 22: Visus nach OP, 0-3 Monate nach Operation und über 3 Monate nach Operation

	Anzahl	Mittelwert	Bester Visus	Schlechtester Visus	Std-Abweichung
Vcc 0-3 Monate	112	0,51	0,00	3,0	0,59
Vsc 0-3 Monate	268	0,82	0,00	4,0	0,66
Vcc über 3 Monate	33	0,41	0,00	1,70	0,44
Vsc über 3 Monate	42	0,82	0,00	4,0	0,94

In der Auswertung des Visus mit und ohne beste Korrektur nach 0-3 Monaten sowie nach über 3 Monaten Follow-up fällt auf, dass jeweils ein Visus von 0.00 Log-MAR erreicht werden konnte. Bei den jeweils ermittelten schlechtesten Ergebnissen liefert die Messung mit bestmöglicher Korrektur jeweils bessere Werte mit 3,0 Log-MAR nach 0-3 Monaten und 1,7 Log-MAR nach über 3 Monaten.

14. Zusammenhang von Indikation des Linsenwechsels und absoluten Fehler des refraktiven Ergebnisses

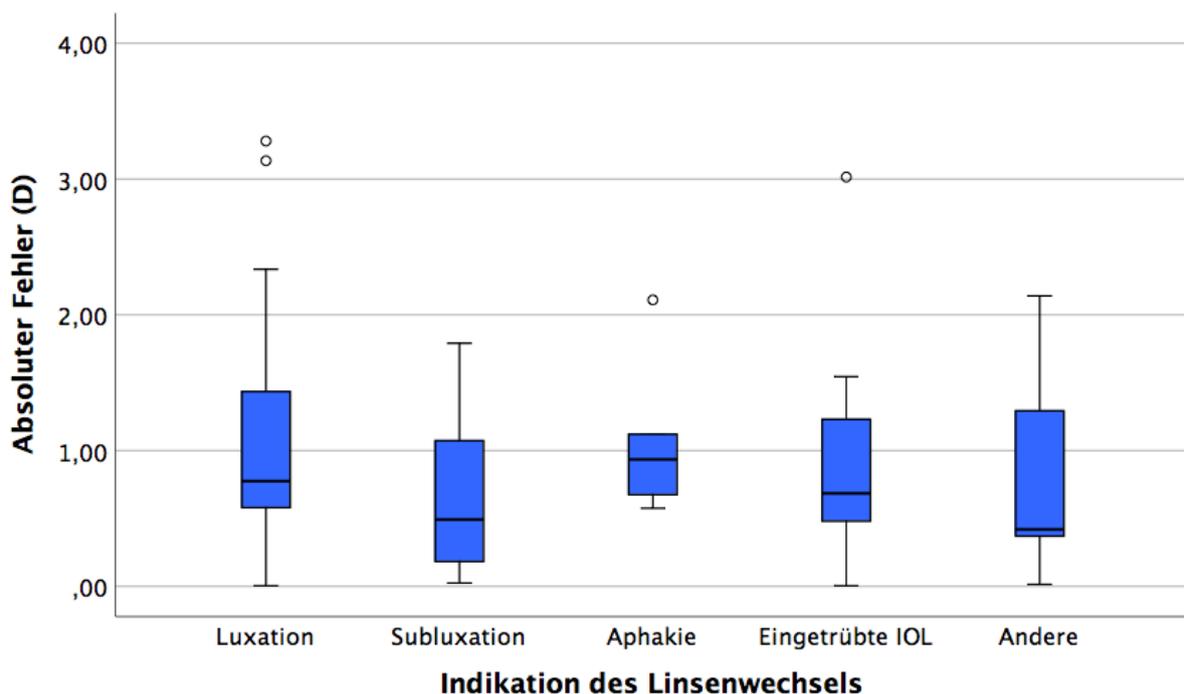


Abbildung 6: Zusammenhang von Indikation des Linsenwechsels und absoluten Fehler des refraktiven Ergebnisses

Die höchste Streuung kann bei Augen beobachtet werden, bei welchen die Linse vollständig luxiert war. Die besten Ergebnisse wurden unter den spezifisch betrachteten Indikationen bei den lediglich subluxierten Linsen beobachtet. Unter „Andere“ fallen zum Vergleich insbesondere refixierte Linsen. Bei den sekundären IOL-Implantationen aphaker Augen zeigt sich dagegen die höchste Abweichung des Absolute Errors mit jedoch geringer Streuung. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ließen sich jedoch nicht nachweisen. ($p=0,128$; ANOVA)

15. Fixierung der Linse und absoluter Fehler des refraktiven Ergebnisses gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP

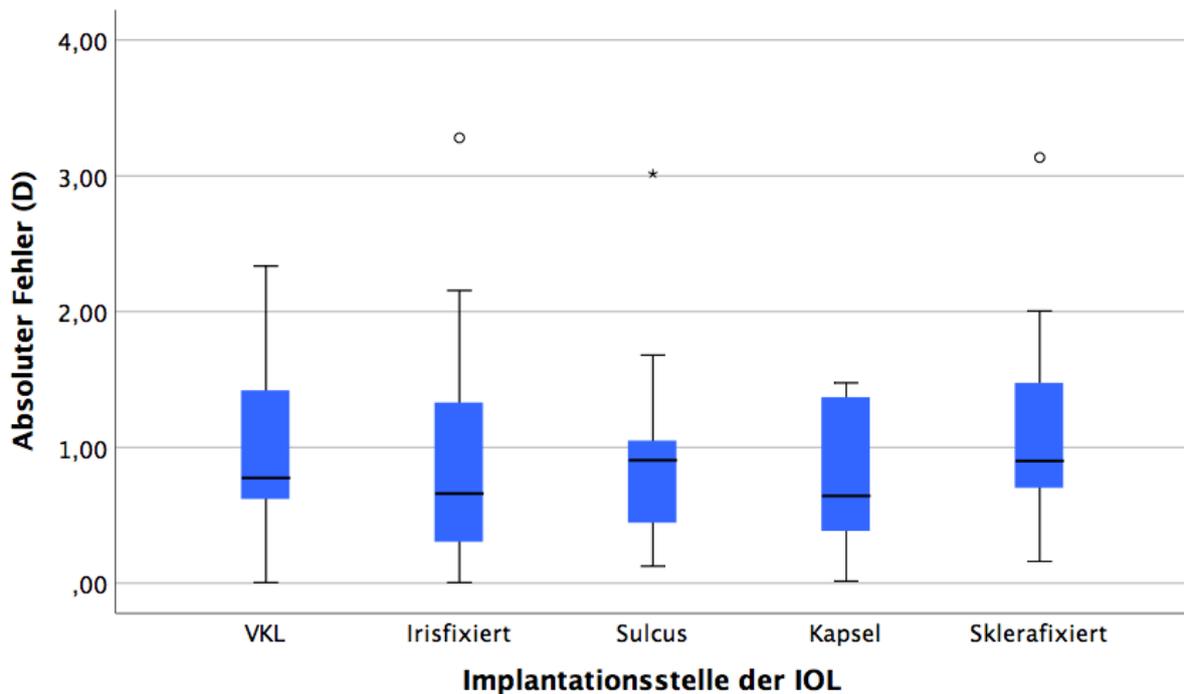


Abbildung 7: Fixierung der Linse und absolute Error des refraktiven Ergebnisses gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP

Hier kann die höchste Streuung der Ergebnisse bei den implantierten Vorderkammerlinsen beobachtet werden, die Mittelwerte der Outcomes jedoch unterscheiden sich nur marginal. Während die Ergebnisse der sulcus- und kapselfixierten IOL die geringste Streuung zeigen, erzielten iris- und kapselfixierte IOL im Mittel die besten Ergebnisse bezüglich des refraktiven Outcomes. Auch hier konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden ($p=0,180$; ANOVA)

16. Die Vitrektomie in der Vorgeschichte als Einflussfaktor auf das refraktive Ergebnis gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP

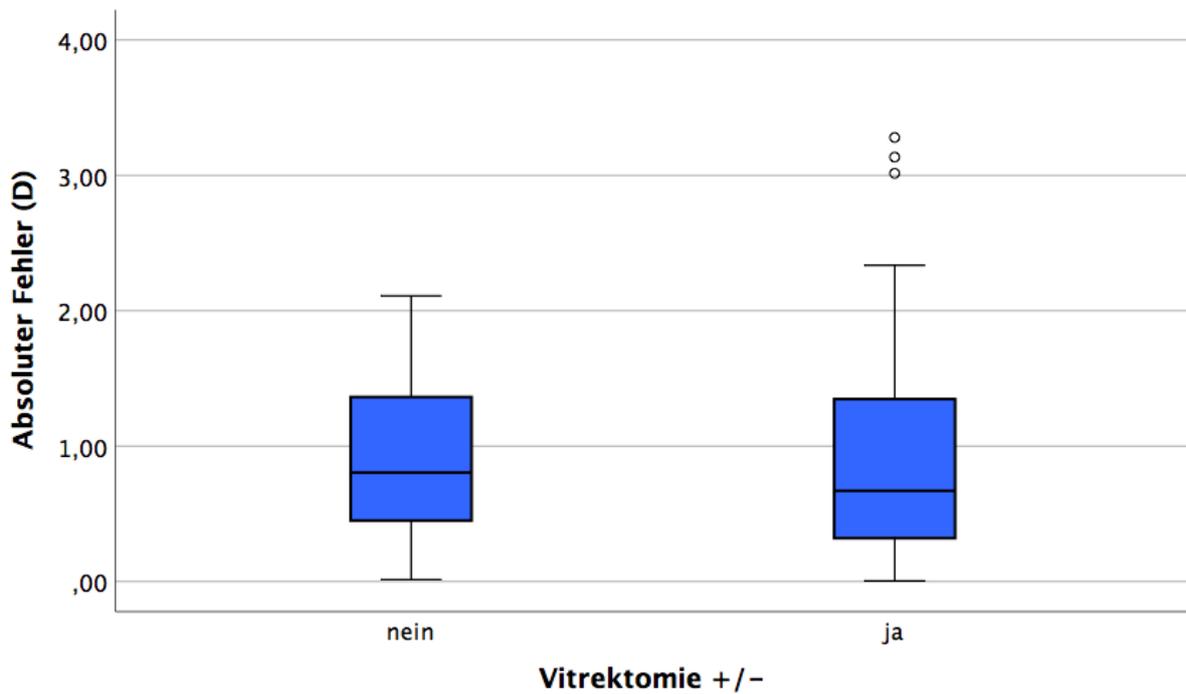


Abbildung 8: Die Vitrektomie in der Vorgeschichte als Einflussfaktor auf das refraktive Ergebnis gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP

Während bei Patienten mit Vitrektomie in der Vorgeschichte eine höhere Streuung der Outcomes hier sichtbar erscheint, kann kein signifikanter Unterschied der beiden Gruppen errechnet werden ($p=0,213$; Chi-Quadrat-Test)

17. Die postoperative Nachblutung als Einflussfaktor auf das refraktive Ergebnis gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP

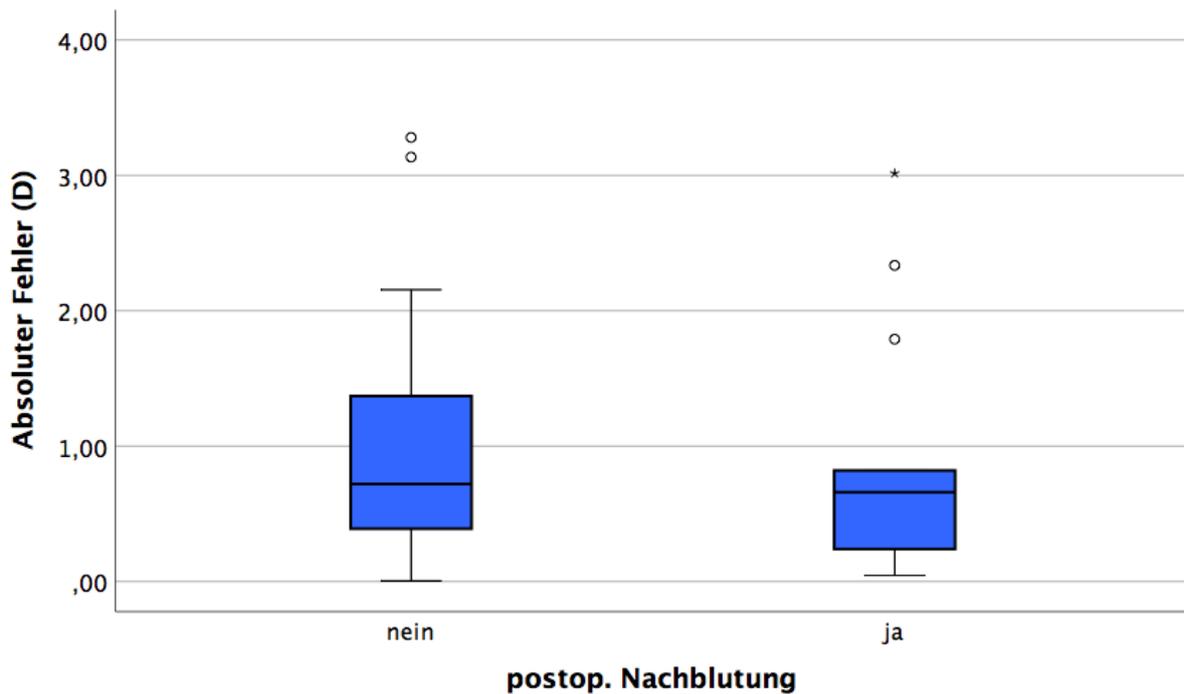


Abbildung 9: Die postoperative Nachblutung als Einflussfaktor auf das refraktive Ergebnis gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP

Eine deutlich höhere Streuung der Ergebnisse in der Gruppe der Patienten ohne postoperative Nachblutung kann hier festgestellt werden. Dabei kann kein signifikanter Unterschied der beiden Gruppen als Einflussfaktoren auf das refraktive Outcome errechnet werden ($p=0,507$; Chi-Quadrat-Test).

18. „Scatterplot“ Diagramm: Verhältnis von absolutem Fehler zur präoperativ erhobenen Achslänge

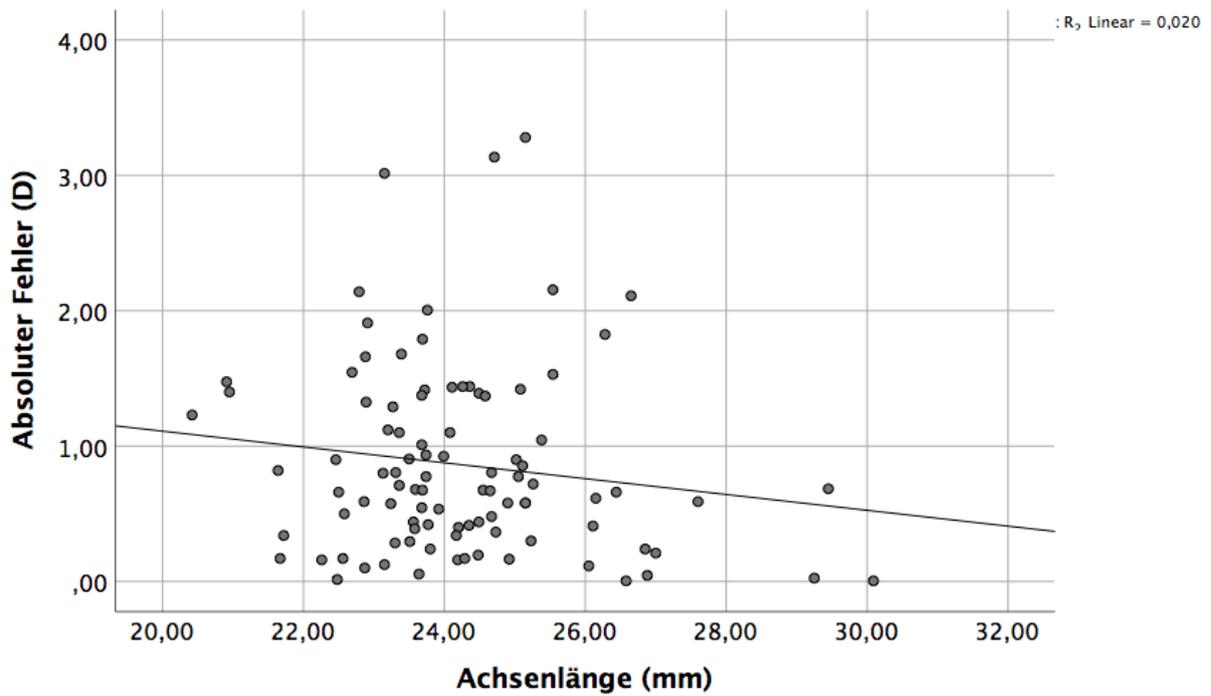


Abbildung 10: „Scatterplot“ Diagramm: Verhältnis von absolutem Fehler zur präoperativ erhobenen Achslänge

$$Y=2.28 + (-0.06*x)$$

Hohe Abweichungen, (sprich ein hoher absoluter Fehler), zeigen sich im Scatterplot vor allem bei den mittleren Achslängen.

19. Der Einfluss der präoperativ vermessenen Hornhautradien auf das refraktive Ergebnis

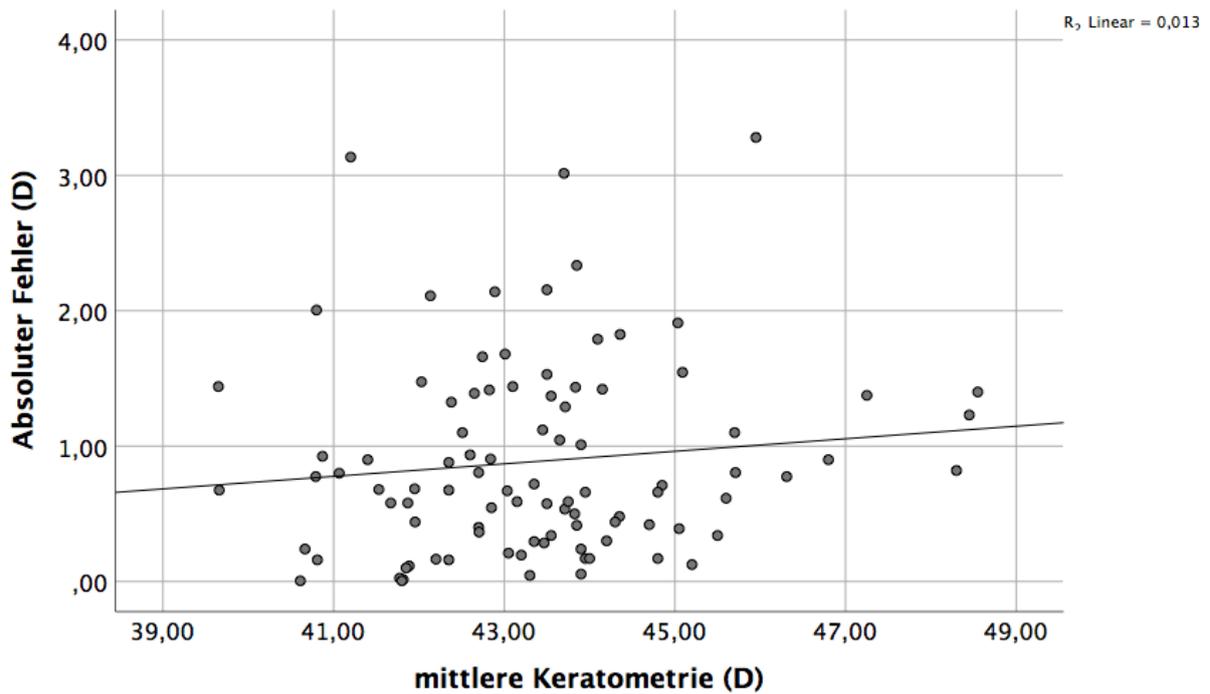


Abbildung 11: Der Einfluss der präoperativ vermessenen Hornhautradien auf das refraktive Ergebnis

$$Y = -1.12 + (0.05 * x)$$

Ähnlich wie bei der Achslänge, zeigt sich ein hoher absoluter Fehler bei mittleren Werten der mittleren Keratometrie.

E. Diskussion

1. Vergleich des refraktiven Ergebnisses

In der Follow-Up Gruppe zwischen 0 und 3 Monaten war das durchschnittliche sphärische Äquivalent $-0,22 \pm 2,59(\text{SD})$ dpt, in der Gruppe mit einem letzten Follow-up nach über 3 Monaten bei $-0,83 \pm 2,05(\text{SD})$ dpt. Schmidt et al erzielten in einer ähnlichen Studie 2015 sehr vergleichbare Ergebnisse ($1,1 \pm 0,94(\text{SD})$ dpt) mit einer etwas höheren mittleren Abweichung von der Zielrefraktion, jedoch geringerer Streuung. Das Follow-up betrug hier zwischen 2 und 180 Tage, im Mittel 5 Wochen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass ausschließlich retropupillare Irisklauenlinsen implantiert wurden. (Schmidt et al. 2015)

Gonnermann et al. erzielten hier 2012 mit $0,00 \pm 1,21(\text{SD})$ dpt dagegen bessere refraktive Ergebnisse, jedoch waren auch hier nur Patienten miteingeschlossen, welche für eine Implantation einer irisfixierten Hinterkammerlinse in Frage gekommen waren. (Gonnermann et al. 2012) Ein Erklärungsansatz für das etwas schlechtere Ergebnis in der Gruppe mit dem späteren letzten Follow-up können etwaige schwere Komplikationen und die damit verbundenen häufigeren und späteren Wiedervorstellungen in unserer Klinik nach erfolgter Operation sein. Im Vergleich dazu kann angenommen werden, dass Patienten mit einem sehr guten, komplikationslosen postoperativen Verlauf die Nachsorgetermine bei heimatnahen niedergelassenen Augenärzten wahrgenommen haben, wodurch sich solche Patienten der Dokumentation im Langzeit-Follow-up der Klinik entzogen. Die höhere Streuung der Ergebnisse unserer Gruppe kann durch teils sehr unterschiedliche OP-Voraussetzungen und -Methoden erklärbar sein. Miteingeschlossen waren auch Patienten mit Zustand nach schweren okulären Traumata und Patienten, bei denen Vorderkammerlinsen implantiert wurden. Sehr gute Ergebnisse erzielte auch Tian et al 2018 ($0,12 \pm 1,35\text{SD}$ dpt 6 Monate post-OP), allerdings wurden hier nur 20 Augen ausgewertet, bei denen ausschließlich IOL in den Sulcus mithilfe der Optic-Capture Technik implantiert wurden.

Interessant ist auch der Zusammenhang zwischen der Indikation des Linsenwechsels und dem refraktiven Ergebnis. Leider konnten durch die vorliegenden Daten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden, Trends lassen sich jedoch vermuten. Von den spezifisch untersuchten Indikationen schneidet die Gruppe mit lediglich subluxierter Linse am besten ab, insgesamt aber die heterogene Gruppe der „Anderen“. Diese Gruppe beinhaltet neben Refixationen auch vor allem Patienten, welche sich für einen Linsentausch entschieden, weil zuvor eine multifokale Linse implantiert worden war, die nun Dysphotopsien und andere störende visuelle Phänomene verursachte. Der Operateur traf in diesen Fällen nicht nur auf einen vergleichsweise komplikationsarmen Situs, sondern hatte zudem eine unter

idealen Bedingungen erstellte Biometrie und Linsenberechnung zur Verfügung. Dass ein geplanter Linsentausch bei Nicht-Toleranz einer multifokalen Linse sicher und mit gutem sowohl refraktiven, als auch visuellen Ergebnis durchführbar ist, ist hinreichend belegt (Kim et al. 2017; Kamiya et al. 2014; Goemaere et al. 2020). Das unterstützt die Vermutung, dass die kontrollierteren Ausgangsbedingungen für das gute Operationsergebnis mit verantwortlich sind. Die Unzufriedenheit des Patienten mit dem Seheindruck nach Implantation einer Bi- oder Multifokalen Linse ist nicht häufig, aber sicher nicht unerhört. Goemaere et al. untersuchten in einer ähnlichen, retrospektiven Studie die Indikationen, Ergebnisse und Komplikationen des Linsentauschs. Von 492 eingeschlossenen Augen wurde bei 75 (15%) die Intoleranz der Multi, Bi- oder Trifokallinse als Indikation zum Linsentausch angegeben. (Goemaere et al. 2020) Da in dieser Patientengruppe die Problematik nicht durch einen Refraktionsfehler und auch nicht zwangsläufig durch den bestkorrigierten Visus entsteht, sondern viel mehr durch Dysphotopsien oder verminderte Kontraste, wurden entsprechende Patienten im Kontext dieser Arbeit nicht spezifisch untersucht, sondern nur innerhalb einer gemischten Gruppe „Andere“ miteingeschlossen. Kamiya et al. lösen dieses Auswertungsproblem beispielsweise, indem sie den Erfolg eines Linsentausches einer multifokalen IOL anhand eines Fragebogens zur Patientenzufriedenheit messen. Sie konnten signifikant eine Verbesserung der Zufriedenheit nach Tausch belegen. (Kamiya et al. 2014).

2. Gründe sehr hoher Abweichungen von über 4 dpt

Extreme Abweichungen von über 4 dpt werden häufig durch erneute Dislokation der zuvor implantierten Linse verursacht. Genauer betrachtet sollen die im vorliegenden Patientenkollektiv häufig implantierten Verisyse-Linsen werden. Hier konnte eine erneute Dislokationsrate von 6,3% nach über 3 Monaten beobachtet werden. Dong et al. zeigten in einer Analyse der Komplikationsraten von retropupillaren Verisyse-Linsen im Jahr 2012 eine sehr ähnliche Dislokationsrate von 6,78%. (Dong et al. 2012)

Ursachen für die Dislokation waren kaum zu eruieren, die nahtlose Enklavation der Linse an der Rückseite der Iris jedoch legt eine traumatische, bzw. bagatell-traumatische Genese jedoch nahe. Nur in einem der 11 Fälle (9,1%) konnten anamnestisch Hinweise auf ein der Dislokation vorausgegangenes Trauma dokumentiert werden. Titiyal et al. beschrieben 2010 in einer jedoch sehr kleinen Studie (n=9) eine Rate von 33,3% für traumatische und 66,6% für spontane Dislokationen retropupillarer Verisyse-Linsen. (Titiyal et al. 2010)

Bei einem weiteren Patienten in der vorliegenden Auswertung kam es nach der sekundären IOL-Implantation einer Vorderkammerlinse im Verlauf zu einer Ablatio retinae, welche mit

Silikonöl tamponiert wurde. Die durchgeführte Operation darf als Ursache für die Abweichung der erwarteten Refraktion angesehen werden.

3. Vergleich des visuellen Ergebnisses

Der durchschnittliche korrigierte Visus in der Follow-up Gruppe von 0-3 Monate war $0,51 \pm 0,59$ LogMAR, in der Gruppe über 3 Monate $0,41 \pm 0,44$ LogMAR. Gonnermann et al. erzielten 2012 bei einem Follow-up nach durchschnittlich 5 Monaten mit $0,38 \pm 0,31$ LogMAR geringfügig bessere Ergebnisse, hier wurden jedoch ausschließlich Patienten miteingeschlossen, welche für eine Implantation einer Irisfixierten Hinterkammerlinse in Frage gekommen waren. (Gonnermann et al. 2012) Rojas et al. erzielten 2019 ebenfalls mit $0,63 \pm 0,69$ LogMAR vergleichbare Ergebnisse bei einem durchschnittlichem Follow-up nach 11,19 Monaten. (Rojas et al. 2019)

Vor allem in der Follow-up-Gruppe über 3 Monate zeigt sich eine deutliche Verbesserung des Visus. Der mittlere korrigierte Fernvisus verbesserte sich von 0,52 LogMAR auf 0,41 LogMAR. Noch evidenter ist die Veränderung des nicht korrigierten Visus von 1,19 LogMAR auf 0,82 LogMAR im Mittel nach 3 Monaten. Anders verhält sich der Vergleich der beiden Follow-up-Gruppen zwar bei dem objektiv gemessenen refraktiven Outcome, doch ist der subjektive Visus des Patienten nicht nur von der objektiven Refraktion abhängig. Denkbar ist beispielsweise eine Verbesserung des Visus durch eine Verminderung des intraokularen Reizes bei Messungen nach einem längeren Zeitabstand nach OP.

4. Ausgewählte Risikofaktoren

In der untersuchten Gruppe von 339 Augen war bei 98 Fällen (28,91%) ein Vermerk über eine vorangegangene Vitrektomie aus den Akten zu erheben. Die Vitrektomie als Risikofaktor für eine sekundäre IOL-Implantation wird kongruent zu der hier untersuchten Gruppe im Literaturvergleich vielfach bestätigt. Fenberg et al. untersuchten 2016 eine Gruppe von 98 Patienten nach komplizierter Kataraktoperation und konnten bei 9 Patienten, sprich 9,2%, eine vorangegangene Vitrektomie feststellen. (Fenberg et al. 2016)

Lichtinger et al. untersuchten 2012 eine Gruppe von 183 sekundären IOL-Implantationen und konnten in 11,4% der Fälle eine vorangegangene Vitrektomie identifizieren. (Lichtinger et al. 2013) In beiden Studien war der Anteil an ausgewerteten Fällen mit vorangegangener Vitrektomie geringer als in unserer Gruppe.

In 99 der 339 vorliegenden Fälle (29,2%) bestand zum Zeitpunkt der Operation ein Pseudoexfoliationssyndrom. Lichtinger et al. konnten dagegen in ihrer Gruppe von 183

Interventionen mit Bezug zu einer Implantation einer sekundären IOL 2012 nur in 4,9% ein Pseudoexfoliationssyndrom feststellen. (Lichtinger et al. 2013) Es finden sich allerdings in der Literatur sehr variable Anteile der Patienten im PEX-Syndrom bei sekundärer IOL-Implantation. So identifizierten Bande et al. 2017 das PEX-Syndrom als bedeutendsten Risikofaktor für eine Dislokation einer IOL nach Katarakt-Operation mit 47,2% der von ihnen untersuchten 36 Patienten. (Bande et al. 2017) Auch Hayashi et al. fanden 2007 vergleichbare Werte mit 44,7% von 38 untersuchten Augen mit Dislokation einer IOL nach Katarakt-OP. (Hayashi et al. 2007) In einer Studie von Rojas et al. bezüglich der Explantation von IOL konnte ein Vorhandensein eines PEX sogar in 51,06% der betrachteten Fälle nachgewiesen werden. (Rojas et al. 2019)

In 26 der 339 erfassten Fälle wurde in der Anamnese ein okuläres Trauma vor der sekundären Linsenimplantation dokumentiert. Dies entspricht 7,7% der Fälle. Hayashi et al identifizierten in 5,3% der von ihnen ausgewerteten Fälle ein traumatisches Ereignis in der Patientengeschichte (Hayashi et al. 2007) und liefern damit sehr vergleichbare Werte. Eine detaillierte Diskussion zur Bedeutung des okulären Traumas bieten Lee et al 2020 in ihrer retrospektiven Kohortenstudie, bei denen 15.170 Fälle von IOL-Dislokationen ausgewertet wurden. Dabei betrachteten die Autoren im Speziellen IOL-Dislokationen bei vorbeschriebener traumatischer Katarakt, Iris- und Ziliarkörperverletzungen. Während das okuläre Trauma als bekannter Risikofaktor für IOL-Dislokationen schon bekannt sei, haben die Autoren auch die speziellen Vorbefunde einer traumatischen Katarakt, Iris- und Ziliarkörperverletzungen als signifikante Risikofaktoren identifiziert. (Lee et al. 2020)

In 40 der beobachteten 339 Fälle wurde im postoperativen Verlauf eine Nachblutung variablen Ausmaßes dokumentiert, was 11,8% der Fälle darstellt. Mitbeinbezogen wurden sowohl konservativ als auch operativ versorgte intraokulare, Blutungen (Hyphäma und Glaskörperblutungen). Daten zu Häufigkeiten von postoperativen Nachblutungen finden sich nur wenige in der aktuellen Literatur, Kristianslund et al berichten beispielsweise von 4 Fällen postoperativer Blutungen bei 54 durchgeführten Linsen-Repositionierungen (7,4%) (Kristianslund et al. 2017). Todorich et al untersuchten 2018 122 Fälle von sklerafixierten sekundären Linsen von denen bei 27 (22,1%) eine intravitreale Blutung auftrat. (Todorich et al. 2018)

Brunin et al berichteten in einer Arbeit 2017, welche 167 Fälle unterschiedlicher sekundärer IOL-Implantationen miteinschließt, von 3 Patienten mit erneuter Luxation/Subluxation. (Brunin et al. 2017). Eine Studie von Mora et al berichtet bei insgesamt 60 operierten

Patientenaugen von 14 Fällen von IOL Verkippung oder Dezentrierung, jedoch von keinem Fall einer erneuten Dislokation. Betrachtet wurden Vorderkammerlinsen und Irisklauenlinsen. Nicht erwähnt wird jedoch, ob bei Auftreten dieser Komplikationen eine erneute Operation durchgeführt wurde. (Mora et al. 2018) Insgesamt scheint die aktuelle Datenlage zu Re-Operationen nach sekundärer IOL-Implantation gering zu sein. Ein Ausschließen genau dieser Fälle in Studien zum visuellen und refraktiven Outcome sekundärer IOL-Implantationen kann eine Ursache hierfür sein.

5. Wahl der präferierten Operationsmethode

In der vorliegenden Patientengruppe wurde in über 50% der Fälle eine Irisklauenlinse implantiert. Die Entscheidung zur Implantation einer irisfixierten Linse basiert auf der Indikation. Besteht kein ausreichender Zonulafaser- oder Kapselapparat fällt die Entscheidung zwischen Vorderkammer-, Iris- oder Sklerafixation. Hier spielt sowohl Erfahrung als auch letztendlich die Präferenz des Operateurs eine entscheidende Rolle, da die fachliche Kompetenz einer spezifischen Operationsmethode maßgeblich das Ergebnis mitbestimmt. Da bereits Mitte der 1980er Jahre bekannt wurde, dass Vorderkammerlinsen mit einer Vielzahl an Komplikationen wie kornealem Endothelzellverlust, Fibrose und Synechierungen im Bereich des Kammerwinkels, Blutungen und Druckentgleisungen einhergehen können, gewannen Fixationsmethoden an der Sklera oder Iris jedoch an Popularität. (Dick und Augustin 2001)

Das visuelle Ergebnis beider Methoden scheint vergleichbar, wenn auch Hinweise bestehen, dass die Visusrehabilitation bei den retropupillaren Irisklauenlinsen länger dauert als bei den sklerafixierten Linsen. Für die Irisklauenlinsen spricht jedoch, dass deren Implantation deutlich einfacher und auch weniger zeitaufwendig ist. (Madhivanan et al. 2019; Rashad et al. 2015; Drolsum und Kristianslund 2021; Thulasidas 2021) Raten postoperativer Komplikationen für beide Methoden sind niedrig. Sowohl cystoide Makulaödeme als auch Bulbushypotonie nach OP traten in beiden Gruppen ähnlich häufig mit 4-5% auf, lediglich Nachblutungen wurden mit 14,9% bei den Irisklauenlinsen und 8,3% bei den Sulcuslinsen vermehrt beobachtet, wobei hier milde, nicht visusrelevante Nachblutungen miteinbezogen sind. Thulasidas nennt in einem großen Review von 2021 Raten von 4-15% für postoperative Makulaödeme nach Verisyse-Implantation (Thulasidas 2021), Drolsum et al. 0-25% für Verisyse und retropupillare Artisan Irisklauenlinsen. (Drolsum und Kristianslund 2021) Für sklerafixierte Hinterkammerlinsen finden sich Daten von Yamane mit 5% Glaskörperblutungen und 2% postoperativer Hypotonie, durchaus also etwas niedrigere Raten als für die irisfixierten Linsen, sowohl im Vergleich mit den vorliegenden, als auch mit den Daten aus der Literatur. (Yamane et al. 2017) Abbey et al.

berichten in einer kleinen, retrospektiven Studie von 8,7% postoperativen Blutungen und ebenso viele Fälle cystoider Makulaödeme und postoperativer Hypotonien (jeweils 2 von 23) (Abbey et al. 2015). Zusammengefasst betrachtet weist die untersuchte Patientengruppe nach Verisyse-Implantation Komplikationsraten auf, die niedriger oder vergleichbar mit den Werten vergleichbarer OP-Techniken aus der Literatur sind. Insbesondere Nachblutungen scheinen bei den irisfixierten Linsen jedoch häufiger als bei sklerafixierten Linsen aufzutreten. Forlini und Bedi veröffentlichten 2021 einen der umfangreichsten Reviews zum Thema sklerafixierte IOLs vs. retropupillare Irisklauenlinsen mit insgesamt 87 ausgewerteten Arbeiten. Sie kommen zum Ergebnis, dass die visuellen und refraktiven Ergebnisse vergleichbar sind. Auch Komplikationsraten sind mit Ausnahme von postoperativen Druckerhöhungen, postoperativer Reiz und Uveitis sowie Endophthalmitis ähnlich. Alle genannten Ausnahmen wurden bei retropupillar fixierten Linsen etwas seltener beobachtet. Erklärungsansätze für das etwas bessere Abschneiden bezüglich der Komplikationsraten der Irisklauenlinsen umfassen vor allem eine kürzere OP-Dauer mit weniger Manipulation durch den geringeren technischen Anspruch sowie, damit im Zusammenhang stehend, die einfachere Erlernbarkeit der OP-Technik als die Implantation einer sklerafixierten Linse. (Forlini und Bedi 2021)

6. Fehlerdiskussion

Im Folgenden sollen mögliche Fehlerquellen und Limitationen der Arbeit näher betrachtet und bewertet werden. Dabei werden sowohl subjektive, personenabhängige Fehlerquellen, als auch objektive Limitationen miteingeschlossen. Fehler in der Erhebung der Daten können sich durch fehlerhafte oder unvollständige Dokumentation ergeben. Denkbar ist, dass durch mangelnde Compliance oder erschwerte Kommunikation die Bestimmung subjektiver Werte wie Visus nicht verlässlich erhoben werden konnten. Auch eine fehlerhafte Dokumentation korrekt erhobener Werte kann nicht ausgeschlossen werden.

Die objektive Refraktionsbestimmung erfolgte im Haus mithilfe des Modells Nidek AR-1 der Firma Oculus. Die Verlässlichkeit der Messwerte hängt von der korrekten Funktionsweise des Gerätes und dessen korrekter Benutzung ab. Nicht viele Studien existieren, die die Verlässlichkeit verschiedener Autorefraktoren mit subjektiven Messmethoden vergleichen und bewerten. Jedoch konnten Wesemann und Rassow zeigen, dass bei den von ihnen verwendeten Geräten in 80% der Fälle das objektiv gemessene sphärische Äquivalent um maximal 0,51 dpt vom subjektiv gemessenen Wert abwich. (Wesemann und Rassow 1987)

Die Benutzung des Gerätes erfolgt generell durch verschiedene Mitarbeiter der Augenklinik, durch ärztliches und nicht-ärztliches Personal sowie Famulanten und PJ-Studierende. Die

Einführung in die Gerätebenutzung erfolgt jeweils durch schon in der Benutzung erfahrene Mitarbeiter.

Die Biometrie wurde in der Augenklinik der LMU mit dem IOL-Master 700 der Firma Zeiss durchgeführt. Hier erfolgte die Durchführung der Messung standardmäßig durch geschulte Mitarbeiter. Die Verlässlichkeit der Messungen ist, analog zum Autorefraktor, auch von der korrekten Funktionsweise des Gerätes abhängig, welche durch regelmäßige Wartung gewährleistet wird.

Eine weitere Fehlerquelle stellt die Anwendung der in der Biometrie erhobenen Daten zur Berechnung der zu implantierenden IOL. Wie oben beschrieben, unterscheiden sich die hierzu verwendeten Formeln in ihren Anwendungsgebieten und Vorhersagesicherheit. Eine besondere Herausforderung ergibt sich dadurch, dass ein wichtiger Parameter der Formeln zur Linsenberechnung die Vorderkammertiefe ist. Probleme bei der Bestimmung ergeben sich hierbei vor allem bei aphaken Patienten oder (sub-)luxierten IOLs. Dies erschwert eine exakte Bestimmung der Vorderkammertiefe durch die drastische Veränderung der intraokularen anatomischen Verhältnisse.

Von den 339 individuell eingeschlossenen Augen konnten in vielen Fällen keine vollständigen Patientendaten erhoben werden. Dies ist dem retrospektiven Charakter der Studie zu schulden. Da kein für diese Studie angepasster Nachsorgeplan existiert, variieren die Zeitpunkte der Nachsorgeuntersuchungen stark. Außerdem bevorzugten es viele Patienten bei komplikationslosen Verläufen, zur Nachsorge ihren jeweiligen niedergelassenen Augenarzt aufzusuchen, anstatt potentiell lange Wege bis ins Universitätsklinikum zurückzulegen.

Dadurch muss bedacht werden, dass schwere Komplikationen potentiell überrepräsentiert werden, wenn betroffene Patienten sich dadurch eher entscheiden, die Universitätsklinik aufzusuchen. Aber selbst, wenn Untersuchungsbefunde von niedergelassenen Augenärzten vorlagen (beispielsweise als Scan von Arztbriefen, welche von Patienten zu späteren Vorstellungen mitgebracht wurden), können diese Werte fehlerbehaftet sein. Besonders bei Messwerten von objektiven Refraktionsbestimmungen ist dann die Durchführung an einem standardisierten Gerät nicht gegeben.

7. Ausblick

Viele komplexe und teils sehr unterschiedliche Situationen machen eine sekundäre Linsenimplantation bei Patienten notwendig. Oftmals sind nicht nur einer, sondern gleich mehrere Risikofaktoren wie Trauma, Voroperationen, oder auch eine Pseudoexfoliatio lentis vorhanden, welche das Outcome einer Operation beeinflussen können. Nichtsdestotrotz werden durch aktuell angewandte Operationsmethoden in Verbindung mit neuen Implantaten sehr gute Ergebnisse erzielt. In dieser Arbeit wurden sehr viele Patienten ausgewertet, welche mit retropupillaren Irisklauenlinsen versorgt wurden. Insgesamt ist eine Tendenz der Abnahme der Vorderkammerlinsen und Zunahme der irisfixierten Linsen über die letzten Jahrzehnte zu beobachten. Erklärt werden kann dies durch die Sicherheit der Irisklauenlinsen in Verbindung mit besseren objektiven Ergebnissen, was die Implantation einer retropupillaren Irisklauenlinse inzwischen zur präferierten Operationsmethode gemacht hat. Insbesondere die immer weiter steigende Anzahl und Bedeutung dieser OP machen weitere Studien zur prospektiven Analyse nötig.

F. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden von 339 individuellen Augen nach sekundärer IOL-Implantation Daten zu prä- und postoperativer objektiver Refraktion, Visus sowie Risikofaktoren und postoperativer Komplikationen ausgewertet.

Grundlage der Patientenselektion stellte hierbei die SMART EYE DATA Datenbank dar, eine große, dynamische Datenbank mit Patientendaten der Augenklinik der Ludwig-Maximilians-Universität in München.

Die gewonnenen Daten wurden analysiert, um das refraktive Outcome der Operation zu bewerten. Dazu wurde der Absolute Error des erreichten vom erwarteten postoperativen sphärischen Äquivalent auf ausgewählte Risikofaktoren, Komplikationen und biometrische Daten bezogen, um deren Auswirkung auf das Outcome zu eruieren. Diese Ergebnisse wurden mit aktueller Literatur verglichen und insbesondere hohe Abweichungen des Absolute Error wurden diskutiert. Anschließend wurden Fehlerquellen und Limitationen der Arbeit näher betrachtet. Hauptsächliche Limitation der untersuchten Gruppe stellt das retrospektive Studiendesign ohne einheitliches Follow-up Schema dar.

Die sekundäre Implantation von intraokularen Linsen ist eine immer häufige angewendete Prozedur. Zwar zeigt die Literatur, dass die primäre Kataraktoperation zunehmend sicherer wird, sodass sekundäre IOL-Implantationen relativ gesehen leicht abnehmen, in absoluten Zahlen steigt jedoch sowohl die Zahl der primären als auch der sekundären IOL-Implantationen. Die retropupillare Implantation einer Verisyse®-Linse zeigte in unseren Daten sehr gute Ergebnisse nach den sulcus- und kapsel fixierten Linsen. Vorteile stellen vor allem die geringe Rate an Aberrationen und die Positionierung der IOL hinter der Iris dar, wodurch Komplikationen einer Vorderkammerlinse vermieden werden. Nichtsdestotrotz waren immer wieder Komplikationen wie Nachblutungen und erneute Linsenluxationen zu beobachten. Insgesamt kann die sekundäre IOL-Implantation in allen betrachteten Methoden jedoch als sicheres Verfahren betrachtet werden. Vorteile bieten immer neuere Biometrie- und Berechnungsmethoden, welche die Auswahl der korrekten IOL immer präziser werden lassen, sowie konstante Neuerungen bei den OP-Methoden und den zu implantierenden Linsen.

Abschließend muss erwähnt werden, dass vergleichbare Literatur teils widersprüchliche Daten und Ergebnisse lieferte und oft ähnliche Studienlimitationen (Retrospektives Design, uneinheitliches Follow-up etc.) aufwies. Dies unterstreicht den derzeitigen Mangel an Studien zum Thema der sekundären IOL-Implantation mit höherem Evidenzniveau und damit stärkerer Aussagekraft.

Conclusion

In this study the data of 339 individual eyes that underwent secondary IOL change was accumulated and evaluated. The data consisted of pre- and postsurgical values of objective refraction, corrected and uncorrected distance visual acuity, as well as risk factors and postoperative complications.

The basis of the primary patient selection process was the SMART EYE DATA databank, a large, dynamic databank including patient data of the eye clinic of the Ludwig-Maximilians-University in Munich.

The acquired data was analysed to assess the refractive outcome of the surgical procedure. For this purpose, the absolute error between the achieved and the preoperatively estimated spherical equivalent was evaluated in regards to select risk factors, complications and biometric data to measure their impact on the postoperative refractive outcome. Once findings were compared to contemporary literature and similar studies, notable differences, especially of the absolute error, were discussed. Subsequently, the limitations of the study as well as sources of possible error were debated. The main limitation of this study was the retrospective study design lacking a consistent follow up.

The secondary implantation of an intraocular lens is a procedure performed more and more frequently. Although studies suggest cataract surgery became even safer in the past years, making the relative numbers of secondary IOL implantations per cataract surgery drop slightly, due to the absolute numbers of cataract surgery increasing, so do the numbers of secondary IOL implantation. The in our data mostly evaluated and implanted Verisyse® retro pupillary lens showed very good results, only bested by lenses implanted in the ciliary sulcus and the capsular bag. Advantages lie especially in the lower rates of optical aberrations and the positioning of the IOL behind the lens, avoiding complications common to the implantation of an IOL in the anterior chamber. Nevertheless, complications like postoperative haemorrhage or a renewed luxation of the IOL occurred from time to time. Overall, the evaluated secondary IOL implantation procedures can be deemed safe to perform. Modern possibilities in the biometry of the eye and the calculations of the right IOL provide significant advantages in picking the right implant for the patient. Furthermore, modern advances in the surgery techniques contribute to better outcomes. In conclusion it should be noted, that comparable literature partly produced contradictory results and suffered from similar limitations as this study (i.e. retrospective study design, lack of consistent follow up etc.). This underlines the necessity for further studies on secondary IOL implantation with a higher level of evidence.

G. Abkürzungsverzeichnis

AE	Absolute Error
BDVA	Best Corrected Distance Visual Acuity
HKL	Hinterkammerlinse
IOD	Intraokularer Druck
IOL	Intraokularlinse/ intraocular lens
IOP	intraocular pressure
LASIK	Laser-in-situ-Keratomileusis
OP	Operation
OR	objektive Refraktion
PEX	Pseudoexfoliatio lentis
ppV	pars-plana-Vitrektomie
SE	sphärisches Äquivalent
UDVA	Uncorrected Distance Visual Acuity
Vcc	Visus cum correctione
VKL	Vorderkammerlinse
Vsc	Visus sine correctione

H. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: weißlich, schuppige Ablagerungen auf der Linsenvorderfläche: PEX im Spaltlampenbild, Bild aus eigener Anfertigung	12
Abbildung 2: Vorderkammer-IOL, Bild aus eigener Anfertigung	25
Abbildung 3: Verisyse VRSA54 modifiziert nach (BDSAdvice GmbH 2020).....	26
Abbildung 4: Alcon SA60AT modifiziert nach (SA60AT.jpg (292x375) 2016)	26
Abbildung 5: Medicontur 677AB modifiziert nach (Medicontur Produktkatalog 677AB, 677ABY)	27
Abbildung 6: Zusammenhang von Indikation des Linsenwechsels und absoluten Fehler des refraktiven Ergebnisses.....	41
Abbildung 7: Fixierung der Linse und absolute Error des refraktiven Ergebnisses gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP	42
Abbildung 8: Die Vitrektomie in der Vorgeschichte als Einflussfaktor auf das refraktive Ergebnis gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP	43
Abbildung 9:Die postoperative Nachblutung als Einflussfaktor auf das refraktive Ergebnis gemessen am sphärischen Äquivalent nach OP	44
Abbildung 10: „Scatterplot“ Diagramm: Verhältnis von absolutem Fehler zur präoperativ erhobenen Achslänge	45
Abbildung 11: Der Einfluss der präoperativ vermessenen Hornhautradien auf das refraktive Ergebnis	46

I. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patientenzahl und Geschlechterverteilung	29
Tabelle 2 Alter der Patienten, nach Geschlechtern	29
Tabelle 3: Betroffenes Auge	29
Tabelle 4: Visus korrigiert (CDVA) und unkorrigiert (UDVA) bei Erstvorstellung	30
Tabelle 5: Objektiv bestimmtes sphärisches Äquivalent vor OP in dpt	30
Tabelle 6: IOL-Stärke in dpt	31
Tabelle 7: Achslänge in mm.....	31
Tabelle 8: Hornhautradien K1 und K2.....	32
Tabelle 9: Vitrektomie in der Vorgeschichte	33
Tabelle 10: Ablatio in der Vorgeschichte	33
Tabelle 11: PEX in der Vorgeschichte.....	34
Tabelle 12: Trauma in der Vorgeschichte	34
Tabelle 13: Postoperative Nachblutung.....	35
Tabelle 14: Postoperative Hypotonie	35
Tabelle 15: Postoperatives cystoides Makulaödem	36
Tabelle 16: Andere, seltene Komplikationen innerhalb 3 Monate nach OP	36
Tabelle 17: Andere, seltene Komplikationen über 3 Monate nach OP	37
Tabelle 18: Indikation zur Sekundärimplantation	37
Tabelle 19: Fixierung der neuen IOL	38
Tabelle 20: Verwendete Linse	38
Tabelle 21: Sphärisches Äquivalent nach Operation	39
Tabelle 22: Visus nach OP, 0-3 Monate nach Operation und über 3 Monate nach Operation	40

J. Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

Abbey, Ashkan M.; Hussain, Rehan M.; Shah, Ankoor R.; Faia, Lisa J.; Wolfe, Jeremy D.; Williams, George A. (2015): Sutureless scleral fixation of intraocular lenses: outcomes of two approaches. The 2014 Yasuo Tano Memorial Lecture. In: *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie* 253 (1), S. 1–5. DOI: 10.1007/s00417-014-2834-9.

Alcon Produktkatalog OC 2015 — Ophthalmochirurgie - ALCON Pharma GmbH. Online verfügbar unter <https://www.alcon-pharma.de/downloads/Alcon%20Produktübersicht%202011-2012.pdf/view>, zuletzt geprüft am 13.01.2019.

Alhassan, Mahmoud B.; Kyari, Fatima; Ejere, Henry O. D. (2015): Peribulbar versus retrobulbar anaesthesia for cataract surgery. In: *Cochrane Database of Systematic Reviews* (7). DOI: 10.1002/14651858.CD004083.pub3.

Alio, Jorge L.; Abdelghany, Ahmed A.; Fernández-Buenaga, Roberto (2014): Management of residual refractive error after cataract surgery. In: *Current opinion in ophthalmology* 25 (4), S. 291–297. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000067.

Aristodemou, Petros; Knox Cartwright, Nathaniel E.; Sparrow, John M.; Johnston, Robert L. (2011): Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by partial coherence interferometry. In: *Journal of cataract and refractive surgery* 37 (1), S. 63–71. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.07.032.

Bande, Manuel F.; García-Garcés, Irina; Paniagua, Laura; Ruiz-Oliva, Francisco; Piñeiro, Antonio; Blanco-Teijeiro, Maria Jose (2017): EVALUATION OF VITRECTOMY AND REIMPLANTATION FOLLOWING LATE DISLOCATION OF THE INTRAOCULAR LENS-CAPSULAR BAG COMPLEX: A 3-Year Follow-up Study. In: *Retina (Philadelphia, Pa.)* 37 (5), S. 925–929. DOI: 10.1097/IAE.0000000000001300.

BDSAdvice GmbH (2020): VERISYSE VRSA54 | OPHTEC GmbH | Hinterkammerlinse PMMA. Online verfügbar unter <https://www.eyefox.com/iol/111/verisyse-aphakie-iol-vrsa54.html>, zuletzt aktualisiert am 12.03.2020, zuletzt geprüft am 12.03.2020.

Bitterman, Adam D.; Sponseller, Paul D. (2017): Marfan Syndrome: A Clinical Update. In: *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 25 (9), S. 603–609. DOI: 10.5435/JAAOS-D-16-00143.

Blum-Hareuveni, Tamar; Seguin-Greenstein, Sophie; Kramer, Michal; Hareuveni, Guy; Sharon, Yael; Friling, Ronit et al. (2017): Risk Factors for the Development of Cataract in Children with Uveitis. In: *American journal of ophthalmology* 177, S. 139–143. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.02.023.

Bothun, Erick D.; Cavalcante, Lilian C. B.; Hodge, David O.; Patel, Sanjay V. (2018): Population-based Incidence of Intraocular Lens Exchange in Olmsted County, Minnesota. In: *American journal of ophthalmology* 187, S. 80–86. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.12.016.

Bowling, Brad (2017): *Kanskis Klinische Ophthalmologie. Ein systematischer Ansatz.* 8. Auflage. München: Urban & Fischer in Elsevier.

Braunecker, Bernhard; Hentschel, Rüdiger (2008): *Advanced optics using aspherical elements.* Bellingham, Wash.: SPIE Press (SPIE PM, 173).

- Brunin, Greg; Sajjad, Ahmar; Kim, Eric J.; Montes de Oca, Ildamaris; Weikert, Mitchell P.; Wang, Li et al. (2017): Secondary intraocular lens implantation: Complication rates, visual acuity, and refractive outcomes. In: *Journal of cataract and refractive surgery* 43 (3), S. 369–376. DOI: 10.1016/j.jcrs.2016.12.024.
- Davis, Don; Brubaker, Jacob; Espandar, Ladan; Stringham, Jack; Crandall, Alan; Werner, Liliana; Mamalis, Nick (2009): Late In-the-Bag Spontaneous Intraocular Lens Dislocation: Evaluation of 86 Consecutive Cases. In: *Ophthalmology* 116 (4), S. 664–670. DOI: 10.1016/j.ophtha.2008.11.018.
- Davis, Geetha (2016): The Evolution of Cataract Surgery. In: *Missouri Medicine* 113 (1), S. 58–62.
- Dick, H. B.; Augustin, A. J. (2001): Lens implant selection with absence of capsular support. In: *Current opinion in ophthalmology* 12 (1), S. 47–57. DOI: 10.1097/00055735-200102000-00009.
- DIMDI - ICD-10-GM Version 2018 (2018). Online verfügbar unter <https://www.dimdi.de/static/de/klassi/icd-10-gm/kodesuche/onlinefassungen/htmlgm2018/>, zuletzt aktualisiert am 23.05.2018, zuletzt geprüft am 29.06.2018.
- DIMDI - OPS Version 2018 (2018). Online verfügbar unter <https://www.dimdi.de/static/de/klassi/ops/kodesuche/onlinefassungen/opshtml2018/block-5-08...5-16.htm#code5-12>, zuletzt aktualisiert am 29.06.2018, zuletzt geprüft am 29.06.2018.
- Drolsum, Liv; Kristianslund, Olav (2021): Implantation of retropupillary iris-claw lenses: A review on surgical management and outcomes. In: *Acta Ophthalmologica* 99 (8), S. 826–836. DOI: 10.1111/aos.14824.
- Duane, Thomas David; Tasman, William; Jaeger, Edward A.; Anderson, Douglas R.; Glaser, Joel S.; Grajewski, Alana L. et al. (2006): Duane's ophthalmology on CD-ROM. 2006 ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. Online verfügbar unter <http://www.oculist.net/downaton502/prof/ebook/duanes/>, zuletzt geprüft am 07.05.2019.
- Fenberg, Moss J.; Hainsworth, Kenneth J.; Rieger, Frank G.; Hainsworth, Dean P. (2016): Vitrectomy as a Risk Factor for Complicated Cataract Surgery. In: *Missouri Medicine* 113 (1), S. 44–47.
- Ferris, F. L.; Kassoff, A.; Bresnick, G. H.; Bailey, I. (1982): New visual acuity charts for clinical research. In: *American journal of ophthalmology* 94 (1), S. 91–96.
- Fisher, R. F. (1971): The elastic constants of the human lens. In: *The Journal of Physiology* 212 (1), S. 147–180.
- Forlini, Matteo; Bedi, Raman (2021): Intraocular lens implantation in the absence of capsular support: scleral-fixated vs retropupillary iris-claw intraocular lenses. In: *Journal of cataract and refractive surgery* 47 (6), S. 792–801. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000529.
- Forlini, Matteo; Soliman, Wael; Bratu, Adriana; Rossini, Paolo; Cavallini, Gian Maria; Forlini, Cesare (2015): Long-term follow-up of retropupillary iris-claw intraocular lens implantation: a retrospective analysis. In: *BMC ophthalmology* 15, S. 143. DOI: 10.1186/s12886-015-0146-4.
- Fouda, Sameh Mosaad; Al Aswad, Mahmoud A.; Ibrahim, Basem M.; Bori, Ashraf; Mattout, Hala K. (2016): Retropupillary iris-claw intraocular lens for the surgical correction of aphakia in cases with microspherophakia. In: *Indian journal of ophthalmology* 64 (12), S. 884–887. DOI: 10.4103/0301-4738.198844.
- Fujikawa, Azusa; Mohamed, Yasser Helmy; Kinoshita, Hirofumi; Tsuiki, Eiko; Kitaoka, Takashi (2018): Spontaneous dislocation of the posterior chamber intraocular lens. In: *International Ophthalmology* 38 (3), S. 1111–1117. DOI: 10.1007/s10792-017-0567-6.

- Fujiwara, Kohta; Ikeda, Yasuhiro; Murakami, Yusuke; Funatsu, Jun; Nakatake, Shunji; Tachibana, Takashi et al. (2017): Risk Factors for Posterior Subcapsular Cataract in Retinitis Pigmentosa. In: *Investigative ophthalmology & visual science* 58 (5), S. 2534–2537. DOI: 10.1167/iovs.17-21612.
- Goemaere, Jordy; Trigaux, Céline; Denissen, Laurens; Dragnea, Diana; Hua, Minh-Tri; Tassignon, Marie-José; Dhubhghaill, Sorcha Ní (2020): Fifteen years of IOL exchange: indications, outcomes, and complications. In: *Journal of cataract and refractive surgery* 46 (12), S. 1596–1603. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000349.
- Gonnermann, Johannes; Klamann, Matthias K. J.; Maier, Anna-Karina; Rjasanow, Julia; Jousen, Antonia M.; Bertelmann, Eckart et al. (2012): Visual outcome and complications after posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation. In: *Journal of cataract and refractive surgery* 38 (12), S. 2139–2143. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.07.035.
- Grehn, Franz (2012): *Augenheilkunde*. 31. Aufl. Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Gross, J. G.; Kokame, G. T.; Weinberg, D. V. (2004): In-the-bag intraocular lens dislocation. In: *American journal of ophthalmology* 137 (4). DOI: 10.1016/j.ajo.2003.10.037.
- Grzybowski, Andrzej; Turczynowska, Magdalena; Kuhn, Ferenc (2018): The treatment of postoperative endophthalmitis: should we still follow the endophthalmitis vitrectomy study more than two decades after its publication? In: *Acta Ophthalmologica* 96 (5), e651-e654. DOI: 10.1111/aos.13623.
- Guay, Joanne; Sales, Karl (2015): Sub-Tenon's anaesthesia versus topical anaesthesia for cataract surgery. In: *The Cochrane database of systematic reviews* (8), CD006291. DOI: 10.1002/14651858.CD006291.pub3.
- Harkins, Timothy (1996): The endophthalmitis vitrectomy study. In: *Clinical Eye and Vision Care* 8 (3), S. 193–196. DOI: 10.1016/0953-4431(96)00181-6.
- Hashemi, Hassan; Khabazkhoob, Mehdi; Soroush, Sara; Shariati, Reyhane; Mirafteb, Mohammad; Yekta, Abbasali (2016): The location of incision in cataract surgery and its impact on induced astigmatism. In: *Current opinion in ophthalmology* 27 (1), S. 58–64. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000223.
- Hayashi, Ken; Hirata, Akira; Hayashi, Hideyuki (2007): Possible predisposing factors for in-the-bag and out-of-the-bag intraocular lens dislocation and outcomes of intraocular lens exchange surgery. In: *Ophthalmology* 114 (5), S. 969–975. DOI: 10.1016/j.optha.2006.09.017.
- Henderson, Bonnie An; Chen, Sherleen H.; Pineda, Roberto (Hg.) (2014): *Essentials of cataract surgery*. Second edition. Thorofare, NJ: SLACK Incorporated. Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=942722>.
- Herold, Gerd (Hg.) (2016): *Innere Medizin 2016*. Eine vorlesungsorientierte Darstellung ; unter Berücksichtigung des Gegenstandskataloges für die Ärztliche Prüfung ; mit ICD 10-Schlüssel im Text und Stichwortverzeichnis. Köln: Selbstverlag.
- Hoffer, Kenneth J. (1993): The Hoffer Q formula: A comparison of theoretic and regression formulas. In: *Journal of Cataract & Refractive Surgery* 19 (6), S. 700–712. DOI: 10.1016/S0886-3350(13)80338-0.
- Hoffer, Kenneth J. (2000): Clinical results using the Holladay 2 intraocular lens power formula. In: *Journal of Cataract & Refractive Surgery* 26 (8), S. 1233–1237. DOI: 10.1016/S0886-3350(00)00376-X.
- Ingelfinger, Julie R.; Jarcho, John A. (2017): Increase in the Incidence of Diabetes and Its Implications. In: *The New England journal of medicine* 376 (15), S. 1473–1474. DOI: 10.1056/NEJMe1616575.

- Jacob, Soosan; Kumar, Dhivya A.; Rao, Naveen K. (2020): Scleral fixation of intraocular lenses. In: *Current opinion in ophthalmology* 31 (1), S. 50–60. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000632.
- Jeffrey H. Roffman, Edgar V. Menezes (1995): Concentric aspheric multifocal lens designs. Angemeldet durch JOHNSON & JOHNSON VISION PRODUCTS, INC. am 04.05.1995. Veröffentlichungsnr: US5715031A.
- Kamiya, Kazutaka; Hayashi, Ken; Shimizu, Kimiya; Negishi, Kazuno; Sato, Masaki; Bissen-Miyajima, Hiroko (2014): Multifocal intraocular lens explantation: a case series of 50 eyes. In: *American journal of ophthalmology* 158 (2), 215-220.e1. DOI: 10.1016/j.ajo.2014.04.010.
- Kelman, Charles d. (1967): Phaco-Emulsification and Aspiration. In: *American journal of ophthalmology* 64 (1), S. 23–35. DOI: 10.1016/0002-9394(67)93340-5.
- Kessel, Line; Andresen, Jens; Tendal, Britta; Erngaard, Ditte; Flesner, Per; Hjortdal, Jesper (2016): Toric Intraocular Lenses in the Correction of Astigmatism During Cataract Surgery. In: *Ophthalmology* 123 (2), S. 275–286. DOI: 10.1016/j.ophtha.2015.10.002.
- Khairallah, Moncef; Kahloun, Rim; Bourne, Rupert; Limburg, Hans; Flaxman, Seth R.; Jonas, Jost B. et al. (2015): Number of People Blind or Visually Impaired by Cataract Worldwide and in World Regions, 1990 to 2010. In: *Investigative ophthalmology & visual science* 56 (11), S. 6762–6769. DOI: 10.1167/iovs.15-17201.
- Kim, E. J.; Sajjad, A.; Montes, de Oca I.; Koch, D. D.; Wang, L.; Weikert, M. P.; Al-Mohtaseb, Z. N. (2017): Refractive outcomes after multifocal intraocular lens exchange. In: *Journal of cataract and refractive surgery* 43 (6). DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.03.034.
- Klein, Barbara E.K.; Klein, Ronald; Lee, Kristine E. (2002): Incidence of age-related cataract over a 10-year interval: the Beaver Dam Eye Study. In: *Ophthalmology* 109 (11), S. 2052–2057. DOI: 10.1016/S0161-6420(02)01249-6.
- Kohnen, Thomas; Baumeister, Martin; Kook, Daniel; Klaproth, Oliver K.; Ohrloff, Christian (2009): Cataract surgery with implantation of an artificial lens. In: *Deutsches Arzteblatt international* 106 (43), S. 695–702. DOI: 10.3238/arztebl.2009.0695.
- Koike, Takayuki; Baba, Takayuki; Nizawa, Tomohiro; Oshitari, Toshiyuki; Yamamoto, Shuichi (2017): Characteristics of patients with spontaneous dislocation of in-the-bag intraocular lens after pars plana vitrectomy. In: *Japanese Journal of Ophthalmology* 61 (3), S. 267–270. DOI: 10.1007/s10384-017-0507-z.
- Kristianslund, Olav; Råen, Marianne; Østern, Atle E.; Drolsum, Liv (2017): Late In-the-Bag Intraocular Lens Dislocation: A Randomized Clinical Trial Comparing Lens Repositioning and Lens Exchange. In: *Ophthalmology* 124 (2), S. 151–159. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.10.024.
- Lachenmayr, Bernhard (2006): Auge - Brille - Refraktion. Schober-Kurs: verstehen - lernen - anwenden ; 24 Tabellen. 4., überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme.
- Lang, Gerhard K.; Lang, Gabriele E.; Kohnen, Thomas (Hg.) (2016): Schlaglicht Augenheilkunde. Linse, Katarakt und refraktive Chirurgie. Unter Mitarbeit von R. Al Dwairi. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Lee, Ga-In; Lim, Dong Hui; Chi, Sang Ah; Kim, Seon Woo; Shin, Dong Wook; Chung, Tae-Young (2020): Risk Factors for Intraocular Lens Dislocation After Phacoemulsification: A Nationwide Population-Based Cohort Study. In: *American journal of ophthalmology* 214, S. 86–96. DOI: 10.1016/j.ajo.2020.03.012.

Lichtinger, Alejandro; Kim, Peter; Yeung, Sonia N.; Amiran, Maoz D.; Alangh, Manreet; Rootman, David S. (2013): Secondary intraocular lens interventions: predisposing factors, indications and coincident procedures. In: *International Ophthalmology* 33 (2), S. 111–115. DOI: 10.1007/s10792-012-9635-0.

Linebarger, Eric J.; Hardten, David R.; Shah, Gaurav K.; Lindstrom, Richard L. (1999): Phacoemulsification and Modern Cataract Surgery. In: *Survey of Ophthalmology* 44 (2), S. 123–147. DOI: 10.1016/S0039-6257(99)00085-5.

Liu, Xiaoyu; Wang, Lizhen; Du, Chengfei; Li, Deyu; Fan, Yubo (2015): Mechanism of lens capsular rupture following blunt trauma: a finite element study. In: *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering* 18 (8), S. 914–921. DOI: 10.1080/10255842.2014.975798.

Madhivanan, Nivean; Sengupta, Sabyasachi; Sindal, Manavi; Nivean, Pratheeba Devi; Kumar, Maitri Arun; Ariga, Murali (2019): Comparative analysis of retropupillary iris claw versus scleral-fixated intraocular lens in the management of post-cataract aphakia. In: *Indian journal of ophthalmology* 67 (1), S. 59–63. DOI: 10.4103/ijo.IJO_326_18.

Mamalis, Nick; Brubaker, Jacob; Davis, Don; Espandar, Ladan; Werner, Liliana (2008): Complications of foldable intraocular lenses requiring explantation or secondary intervention—2007 survey update. In: *Journal of Cataract & Refractive Surgery* 34 (9), S. 1584–1591. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.05.046.

Medicontur Produktkatalog 677AB, 677ABY. Online verfügbar unter http://www.medicontur.com/files/Distributors/Infosheet/Lowres/Info%20BiFlex%2018%20GB%23001_lowres.pdf, zuletzt geprüft am 13.01.2019.

Mehta, Rajvi; Aref, Ahmad A. (2019): Intraocular Lens Implantation In The Ciliary Sulcus: Challenges And Risks. In: *Clinical Ophthalmology (Auckland, N.Z.)* 13, S. 2317–2323. DOI: 10.2147/OPHTH.S205148.

Moll, Jens; Kaufmann, Mark (2016): Anästhesie bei ophthalmologischen Operationen - eine Standortbestimmung. In: *Therapeutische Umschau. Revue thérapeutique* 73 (2), S. 61–66. DOI: 10.1024/0040-5930/a000757.

Mora, Paolo; Calzetti, Giacomo; Favilla, Stefania; Forlini, Matteo; Tedesco, Salvatore; Date, Purva et al. (2018): Comparative Analysis of the Safety and Functional Outcomes of Anterior versus Retropupillary Iris-Claw IOL Fixation. In: *Journal of ophthalmology* 2018, S. 8463569. DOI: 10.1155/2018/8463569.

MORCHER GmbH: MORCHER IMPLANTS. Online verfügbar unter <http://dfv.com.au/resources/product-brochures/surgical/Morcher-catalog-aniridia.pdf>, zuletzt geprüft am 12.01.2019.

Nasseh, Daniel; Müller, Michael; Ahlborn, Bernd; Kortüm, Karsten; Kampik, Amseln; Mansmann, Ulrich; Kreuzer, Thomas (2015): SMEYEDAT (Smart-Eye-Data): Zusammenführung und Nutzbarmachung ophthalmologischer Daten. Unter Mitarbeit von Deutsche Gesellschaft Für Medizinische Informatik, Biometrie Und Epidemiologie.

Naumann, Gottfried O.H; Schlötzer-Schrehardt, Ursula; Küchle, Michael (1998): Pseudoexfoliation syndrome for the comprehensive ophthalmologist: Intraocular and systemic manifestations. In: *Ophthalmology* 105 (6), S. 951–968. DOI: 10.1016/S0161-6420(98)96020-1.

Ong, Ariel Y.; Shalchi, Zaid (2021): Outcomes of cataract surgery in pseudoexfoliation syndrome in England: 10-year retrospective cohort study. In: *Journal of cataract and refractive surgery* 47 (2), S. 165–171. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000397.

Rabie, Hossein Mohammad; Malekifar, Parviz; Javadi, Mohammad Ali; Roshandel, Danial; Esfandiari, Hamed (2017): Visual outcomes after lensectomy and iris claw artisan intraocular lens implantation in patients with Marfan syndrome. In: *International Ophthalmology* 37 (4), S. 1025–1030. DOI: 10.1007/s10792-016-0366-5.

Rabinovich, Semyon G. (2006): *Measurement Errors and Uncertainties. Theory and Practice*. Third Edition. New York, NY: Springer Science and Media Inc. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=324040>.

Rao, Aparna; Padhy, Debananda; Sahay, Prity; Pradhan, Amiya; Sarangi, Sarada; Das, Gopinath; Raj, Niranjana (2017): Clinical spectrum of pseudoexfoliation syndrome-An electronic records audit. In: *PloS one* 12 (10), e0185373. DOI: 10.1371/journal.pone.0185373.

Rashad, DinaMohammad; Afifi, Omar-MohammadM; Elmotie, GamalA.M.; Khattab, HatemAmin (2015): Retropupillary fixation of iris-claw intraocular lens versus trans-scleral suturing fixation for aphakic eyes without capsular support. In: *J Egypt Ophthalmol Soc* 108 (4), S. 157. DOI: 10.4103/2090-0686.174638.

Rojas, M^a Victoria de; Viña, Sara; Gestoso, Antía; Simón, Patricia; Álvarez, Marcelino (2019): Intraocular lens explantation in Spain: indications and outcomes at a tertiary referral center from 2010 to 2018. In: *International Ophthalmology*. DOI: 10.1007/s10792-019-01181-x.

SA60AT.jpg (292×375) (2016), zuletzt aktualisiert am 06.04.2016, zuletzt geprüft am 12.03.2020.

Salerno, Liberdade C.; Tiveron, Mauro C.; Alió, Jorge L. (2017): Multifocal intraocular lenses: Types, outcomes, complications and how to solve them. In: *Taiwan Journal of Ophthalmology* 7 (4), S. 179–184. DOI: 10.4103/tjo.tjo_19_17.

Sangal, Neha; Chen, Teresa C. (2014): Cataract surgery in pseudoexfoliation syndrome. In: *Seminars in ophthalmology* 29 (5-6), S. 403–408. DOI: 10.3109/08820538.2014.959189.

Schmidt, I.; Langenbucher, A.; Moussa, S.; Schirra, F.; Seitz, B.; Eppig, T. (2015): Retroiridale Implantation einer Verisyse(TM) Irisklauenlinse : Refraktive Treffsicherheit und Anpassung der Kunstlinsenkonstanten. In: *Der Ophthalmologe : Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft* 112 (3), S. 261–265. DOI: 10.1007/s00347-014-3121-1.

Schweitzer, C. (2018): Syndrome pseudo-exfoliatif et glaucome exfoliatif. In: *Journal francais d'ophtalmologie* 41 (1), S. 78–90. DOI: 10.1016/j.jfo.2017.09.003.

Shirodkar, Anita R.; Pathengay, Avinash; Flynn, Harry W.; Albini, Thomas A.; Berrocal, Audina M.; Davis, Janet L. et al. (2012): Delayed Versus Acute-Onset Endophthalmitis after Cataract Surgery. In: *American journal of ophthalmology* 153 (3), 391-398.e2. DOI: 10.1016/j.ajo.2011.08.029.

Spektrumverlag: Augenrefraktometer. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/optik/augenrefraktometer/271>, zuletzt geprüft am 06.07.2018.

Stitzel, Joel D.; Hansen, Gail A.; Herring, Ian P.; Duma, Stefan M. (2005): Blunt trauma of the aging eye: injury mechanisms and increasing lens stiffness. In: *Archives of ophthalmology (Chicago, Ill. : 1960)* 123 (6), S. 789–794. DOI: 10.1001/archophth.123.6.789.

Sziगतo, Andrei-Alexandru; Schlenker, Matthew B.; Ahmed, Iqbal Ike K. (2017): Population-based analysis of intraocular lens exchange and repositioning. In: *Journal of Cataract & Refractive Surgery* 43 (6), S. 754–760. DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.03.040.

Thevi, Thanigasalam; Godinho, Myron Anthony (2016): Trends and complications of local anaesthesia in cataract surgery: an 8-year analysis of 12 992 patients. In: *The British journal of ophthalmology* 100 (12), S. 1708–1713. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2015-307785.

- Thulasidas, Mithun (2021): Retropupillary Iris-Claw Intraocular Lenses: A Literature Review. In: *Clinical Ophthalmology (Auckland, N.Z.)* 15, S. 2727–2739. DOI: 10.2147/OPHTH.S321344.
- Todorich, Bozho; Stem, Maxwell S.; Kooragayala, Keshav; Thanos, Aristomenis; Faia, Lisa J.; Williams, George A. et al. (2018): STRUCTURAL ANALYSIS AND COMPREHENSIVE SURGICAL OUTCOMES OF THE SUTURELESS INTRASCLERAL FIXATION OF SECONDARY INTRAOCULAR LENSES IN HUMAN EYES. In: *Retina (Philadelphia, Pa.)* 38 Suppl 1, S31-S40. DOI: 10.1097/IAE.0000000000001941.
- Trivedi, Rupal H.; Boden, John H.; Mickler, Casey; Wilson, M. Edward (2012): Intraocular pressure elevation during early postoperative period after secondary intraocular lens implantation in children and adolescents. In: *Journal of Cataract & Refractive Surgery* 38 (9), S. 1633–1636. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.07.009.
- Verisyse® Phakic IOL | Johnson & Johnson Vision. Online verfügbar unter <https://surgical.jnjvision.com/iols/other/verisyse-phakic-iol#high-quality-vision-correction>, zuletzt geprüft am 12.01.2019.
- Wesemann, W.; Rassow, B. (1987): Automatic infrared refractors--a comparative study. In: *American journal of optometry and physiological optics* 64 (8), S. 627–638. DOI: 10.1097/00006324-198708000-00011.
- Wood, K. S.; Tadros, D.; Trivedi, R. H.; Wilson, M. E. (2016): Secondary intraocular lens implantation following infantile cataract surgery: intraoperative indications, postoperative outcomes. In: *Eye (London, England)* 30 (9), S. 1182–1186. DOI: 10.1038/eye.2016.131.
- World Health Organization: Priority eye diseases. Online verfügbar unter <https://www.who.int/blindness/causes/priority/en/index1.html>, zuletzt geprüft am 19.05.2019.
- Yamane, S.; Sato, S.; Maruyama-Inoue, M.; Kadonosono, K. (2017): Flanged Intrascleral Intraocular Lens Fixation with Double-Needle Technique. In: *Ophthalmology* 124 (8). DOI: 10.1016/j.ophtha.2017.03.036.
- Zabel, Hartmut (2011): *Kurzlehrbuch Physik*. 42 Tabellen. Stuttgart: Thieme.
- zeiss_produktkatalog_neu2018. Online verfügbar unter https://www.zeiss.de/content/dam/Meditec/ref_master/events/doc/documents/zeiss_produktkatalog_neu2018.pdf, zuletzt geprüft am 12.01.2019.
- Zemba, Mihail; Camburu, Georgiana (2017): Uveitis-Glaucoma-Hyphaema Syndrome. General review. In: *Romanian journal of ophthalmology* 61 (1), S. 11–17. DOI: 10.22336/rjo.2017.3.
- Zhang, Yichi; Liang, Xiao Ying; Liu, Shu; Lee, Jacky W. Y.; Bhaskar, Srinivasan; Lam, Dennis S. C. (2016): Accuracy of Intraocular Lens Power Calculation Formulas for Highly Myopic Eyes. In: *Journal of ophthalmology* 2016, S. 1917268. DOI: 10.1155/2016/1917268.

K. Danksagung

Besonderen Dank schulde ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Armin Wolf für die Ermöglichung dieser Dissertation. Unterstützend mit wissenschaftlichem und fachlichem Rat zur Seite stand mir Herr Dr. med. Efstathios Vounotrypidis vom Beginn bis zur Korrektur dieser Arbeit. Unermüdlich und für alle Fragen zu jeder Zeit erreichbar ist er nicht nur mein wissenschaftlicher Berater für diese Arbeit, sondern ein Lehrer, der mit ein bleibendes Wissen vermittelt hat. Außerdem danke ich meiner Frau Selina, für die Kraft und Unterstützung immerzu.

M. Eidesstattliche Versicherung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 23.04.2023

Alexander Panagiotes Papadopoulos