

Aus dem  
CharitéCentrum für Audiologie / Phoniatrie, Augen- und HNO-Heilkunde  
Klinik für Augenheilkunde  
Direktorin: Professor Dr. med. Antonia Jousen

## **Habilitationsschrift**

# **Die retropupillar fixierte Irisklauenlinse - von der Idee zur breiten Anwendung -**

zur Erlangung der Lehrbefähigung  
für das Fach Augenheilkunde

vorgelegt dem Fakultätsrat der Medizinischen Fakultät  
Charité-Universitätsmedizin Berlin

von

**Dr. med. Johannes Gonnermann**

geboren in Hamburg

Eingereicht: November 2014  
Dekanin: Professor Dr. med. Anette Grütters-Kieslich  
1. Gutachter: Professor Dr. med. Berthold Seitz  
2. Gutachter: Professor Dr. med. Thomas Dietlein

# **Inhaltsverzeichnis**

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>3</b>
<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>4</b>
1.1. Kammerwinkelgestützte Vorderkammerlinsen	4
1.2. Irisgestützte Vorderkammerlinsen	5
1.3. Intra-/Transskleral-fixierte Hinterkammerlinsen	6
1.4. Irisgestützte Hinterkammerlinsen	8
1.5. Wissenschaftliche Fragestellungen	10
<b>2. ORIGINALARBEITEN</b>	<b>11</b>
2.1. Visusergebnisse und Komplikationen nach retropupillar fixierter Irisklauenlinse	11
2.2. Primär-Implantation einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse bei Ektopia lentis in Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat beim Marfan Syndrom	18
2.3. Endothelzellverlust nach retropupillar fixierter Irisklauenlinse	26
2.4. Morphologische Veränderungen an Irisklauenlinsen nach traumatischer und spontaner Desenklavation	32
2.5. Retropupillar fixierte Irisklauenlinse bei Kindern	39
2.6. Visusergebnisse und Komplikationen nach Kombination einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse mit einer perforierenden Keratoplastik	45
2.7. Retropupillar fixierte Irisklauenlinse und Descemet membrane endothelial keratoplasty	53
<b>3. DISKUSSION</b>	<b>60</b>
3.1. Retropupillar fixierte Irisklauenlinse bei Augen ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Komplex	61
3.2. Retropupillar fixierte Irisklauenlinse bei Augen ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Apparat bei Kindern	64
3.2 Retropupillar fixierte Irisklauenlinse in Kombination mit Keratoplastik bei Augen ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Komplex	66
<b>4. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>70</b>
<b>5. LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>72</b>
<b>DANKSAGUNG</b>	<b>77</b>
<b>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG</b>	<b>78</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

BCVA:	best-corrected visual acuity
D:	Dioptrien
DMEK:	Descemet membrane endothelial keratoplasty
DS(A)EK:	Descemet stripping (automated) endothelial keratoplasty
FDA:	Food and Drug Administration
HKL:	Hinterkammerlinse
IOL:	Intraokularlinse
PMMA:	Polymethylmethacrylat
u.a.:	unter anderem
UBM:	Ultraschall-Biomikroskopie
UGH:	Uveitis-Glaukom-Hyphäma(-Syndrom)
v.a.:	vor allem
VKL:	Vorderkammerlinse
z.B.:	zum Beispiel

## 1. Einleitung

Die Kapselsackfixation von Intraokularlinsen (IOL) stellt bei intaktem Zonula-Kapsel-Komplex heutzutage den Goldstandard bei der Operation einer Katarakt dar.

Die operative Korrektur von Aphakien und Linsen(sub-)luxationen in Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat bei Kontaktlinsen- bzw. Brillenunverträglichkeit gestaltet sich hingegen als schwierig.<sup>1</sup> Die Faktoren, welche die Integrität des Kapselsack-Zonula-Apparates beeinflussen können, sind z.B. Pseudoexfoliations-Syndrom, Marfan-Syndrom, Ehlers-Danlos-Syndrom, Weill-Marchesani-Syndrom, Homozystinurie, Myopia magna aber auch Uveitiden und Traumata.<sup>2</sup>

Die Möglichkeiten der chirurgischen Versorgung bestehen in kammerwinkel- und iris-gestützten Vorderkammerlinsen (VKL), sowie intra-/transskleral- und iris-fixierten Hinterkammerlinsen (HKL).<sup>3-9</sup> Alle Verfahren haben je nach anatomischer Ausgangssituation und Beschaffenheit des Kapselsackhalteapparates sowie der benachbarten Strukturen wie Iris, Hornhautendothel und Sklera unter Berücksichtigung der Lebenserwartung und okularen Komorbiditäten des Patienten ihre Berechtigung und sind mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen vergesellschaftet.

### 1.1. Kammerwinkelgestützte Vorderkammerlinsen

Bei ausreichend tiefer Vorderkammer mit genügend Abstand zum intakten Hornhautendothel sowie regelrechter Iris- und Kammerwinkelkonfiguration stellen kammerwinkelgestützte Vorderkammerlinsen eine schnelle und einfache Operationstechnik dar.<sup>3,10,11</sup> Jedoch werden v.a. geschlossene (z.B. Stableflex-, Azar-, Leiske-IOL) aber auch offene (z.B. Dubroff-IOL) kammerwinkelgestützte Vorderkammerlinsen, in der Regel aus Polymethylmethacrylat (PMMA) mit Schlaufenhaptiken, mit Nachteilen wie hohem Endothelzellverlust und daraus

möglicherweise resultierender bullöser Keratopathie, Makulaödem, Sekundärglaukom, peripheren anterioren Synechien, chronischer Uveitis und Hyphäma assoziiert.<sup>3,10,11</sup> Diese Komplikationen treten bei kammerwinkelgestützten Vorderkammerlinsen mit Fußplattenhaptiken bzw. doppelten Schlaufenhaptiken (z.B. Kelman Z Typ Multiflex) etwas seltener auf. Bei allen Vorderkammerlinsen wird zur Prophylaxe eines akuten Winkelblockglaukoms eine basale Iridektomie bzw. YAG-Iridotomie empfohlen. Den Vorteilen der schnellen und einfachen Operationstechnik stehen neben den oben erwähnten Komplikationen zusätzlich der höhere chirurgisch induzierte Astigmatismus bei formstabiler, nicht-faltbarer PMMA-IOL, eine Pupillenverziehung und eine eingeschränkte Mydriasis gegenüber.

## **1.2. Irisgestützte Vorderkammerlinsen**

Die Irisklauenlinse ist eine rigide PMMA-IOL mit einer Gesamtlänge von 8,5 mm, einer Gesamtbreite von 5,4mm, einer Höhe von 1,04 mm und einer Optik von 5,0 mm mit zwei randständigen klauenartigen Haptiken, welche im mittleren anterioren Irisstroma mit Hilfe einer speziellen Enklavationsnadel oder eines langen Spatels enklaviert werden. Im angloamerikanischen Sprachraum wurde die Vorderkammerlinse nach ihrem niederländischen Erfinder Jan G.F. Worst als „worst irisclaw“ oder auch „lobster claw“ IOL bekannt. Erstmals von Prof. Worst 1971 bei einem Kongress in Paris als bikonvexe Irisklauenlinse zur anterioren Aphakiekorrektur präsentiert, wurde 1986 eine modulierte phake Version mit bikonkaver Optik durch Prof. Paul U. Fechner in der phaken refraktiven Linsen Chirurgie eingeführt. Nach erneuter Modifikation im Jahre 1991 in ein konvex-konkaves Design und durch die Food and Drug Administration (FDA) im Jahre 2004 zur phaken Myopiekorrektur zugelassen, findet sie bis heute Anwendung.<sup>12,13</sup> Die letzte Weiterentwicklung des aphaken Modells erfolgte 1997. Die Vorteile liegen hier

in der schnellen und einfachen Operationstechnik sowie den guten visuellen und refraktiven Ergebnissen. Die Nachteile bestehen aus einem chirurgisch induzierten Astigmatismus bei einem erforderlichen Operationszugang von ca. 5,5 mm aufgrund der rigiden, nicht-faltbaren PMMA-IOL, einem erhöhten Endothelzellverlust von bis zu 12,3%, einer daraus möglicherweise resultierenden bullösen Keratopathie, einer Haptik-Desenklavation, einem Makulaödem, einem Pigmentdispersionsglaukom, einem Pupillarblock, einer Pupillenovalisierung sowie Refraktionsschwankungen aufgrund der teilweise ausgeprägten Pseudophakodonosis.<sup>4,14,15</sup> Aufgrund dieser Nachteile und der günstigeren funktionellen sowie anatomischen Verhältnisse wird die Irisklauenlinse heutzutage auch als „off-label-use“ retropupillar fixiert.



Abbildung 1: Irisklauenlinse, Artisan® aphakia (iris claw) lens (mit freundlicher Genehmigung der Firma Ophtec BV, Groningen, Niederlande)

### 1.3. Intra-/Transskleral-fixierte Hinterkammerlinsen

Bei skleral-fixierten HKLs muss je nach Fixationstechnik zwischen einer echten Nahtfixation („transskleral“) und einer Sklerafixation ohne Naht („intraskleral“) unterschieden werden.

Die transsklerale Nahtfixation kann entweder ab-interno oder ab-externo erfolgen.<sup>16,17</sup> Ab-interno erfolgt der transsklerale Sulcusdurchstich unter dem Irisdiaphragma ohne Sicht von innen nach außen. Dies geschieht jedoch aufgrund

des vorher angelegten Tunnels bei okulärer Hypotonie und kollabiertem Sulcus ciliaris. Somit wird eine ungewünschte Fixation an der Pars plicata wahrscheinlich und eine IOL-Verkipfung/-Dezentrierung und postoperative Blutungen aus dem Corpus ciliare begünstigt.<sup>18</sup> Diese Komplikationen treten seltener im geschlossenen System unter tonisierten Verhältnissen bei der ab-externo-Technik auf, da die Sulcusfixation bei weit geöffnetem Sulcus ciliaris vor Anlegen des Tunnels erfolgt. Modernere Techniken wie die Injektorimplantation von Faltlinsen und Varianten der transskleralen Verankerung der Knoten (z.B. Z-Naht, U-Naht mit Skleragraben) ermöglichen als minimal-invasives Vorgehen eine verbesserte Vorderkammerstabilität, geringere Hypotonie-assoziierten Komplikationen und einen geringeren chirurgisch induzierten Astigmatismus.<sup>19</sup> Trotz mittelfristig guter Ergebnisse in Bezug auf die Fadenstabilität berichten einzelne Fallserien über eine Bruchrate der Polypropylenfäden mit bis zu 30% und einem daraus resultierendem erhöhten Risiko einer Spätendophthalmitis.<sup>19,20</sup>

Die grundlegenden Nachteile der transskleral-fixierten IOLs bestehen allerdings in der längeren Operationszeit und der erhöhten chirurgischen Komplexität.<sup>8, 18-20</sup> Durch die „blinde“ Nahtführung kann eine IOL-Verkipfung/-Dezentrierung oder eine Pigmentdispersion entstehen und Komplikationen wie intraoperative Blutungen durch Verletzung des Corpus ciliare, eine Hypotonie, eine Ablatio retinae und Nahterosiones durch die Penetration des uvealen und skleralen Gewebes auftreten.<sup>7</sup> Die Malpositionierung der Haptiken wird in der Literatur zudem mit bis zu 80% angegeben.<sup>18</sup> Ferner konnten Untersuchungen mittels Ultraschall-Biomikroskopie (UBM) und histopathologischer Präparate die höhere Gefahr der Glaskörperinkarzeration bei transskleral- im Gegensatz zu irisnahtfixierten IOLs mit einem erhöhten Risiko eines zystoiden Makulaödems aufzeigen.<sup>21</sup>

Bei der intraskleralen IOL-Implantation werden die Haptiken einer dreistückigen Linse in zwei intraskleralen Tunnel im Bereich des Sulcus ciliaris nahtlos fixiert.<sup>5</sup> Als Vorteile werden die nahtlose Fixation und das geringere Risiko einer Spätendophthalmitis sowie die Unabhängigkeit von Irisveränderungen (z.B. Aniridie, Irisatrophie bei Trauma, etc.) angesehen. Die blinde Sulcusfixation und die potentielle Gefahr der IOL-Dislokation/-Verkipfung und das Risiko des Iris-capture-Syndroms bei Iridodonesis zeigen dagegen die Nachteile auf.<sup>5</sup> Modifikationen der Technik nach Scharioth um die Gefahr der IOL-Dislokation zu minimieren, bestehen z.B. aus zusätzlich Fibrinkleber-abgedichteten Skleradeckeln nach Agarwal.<sup>6</sup>

#### **1.4. Irisgestützte Hinterkammerlinsen**

Neuere minimal-invasive Techniken ermöglichen die irisnahtfixierte Implantation einer faltbaren, dreistückigen IOL mit einem Optikdurchmesser von 6,0 bis 6,5mm ab externo über eine Inzision von 3,5mm.<sup>22,23</sup> Hierbei erfolgen in der Regel die Fixation und Zentrierung der IOL mit einem „optic capture“ der Optik von der Hinter- in die Vorderkammer. Die Indikation zur Irisnahtfixation bestehen sowohl in der Repositionierung einer dezentrierten IOL („out-of-the-bag“) als auch des gesamten dislozierten Kapselsack-IOL-Komplexes („late-in-the-bag“). Voraussetzung ist jedoch ein intaktes Irisstroma mit Sphinkterfunktion. Gegenüber einer kammerwinkel- oder iris-gestützten VKL besitzt die Irisnahtfixation die Vorteile einer HKL mit tieferer Vorderkammer und größerem Abstand zum Endothel und lässt die Kammerwinkelstrukturen, die Bindehaut und Sklera unbeeinflusst.<sup>24</sup> Komplikationen bestehen aus Uveitis-Glaukom-Hyphäma(UGH)-Syndrom, Nahterosiones, IOL-Dislokationen/-Verkipfung und einer Pigmentdispersion mit/ohne intraokularem Druckanstieg.<sup>25</sup> Nachteilig sind die hohe Lernkurve und die lange Operationsdauer.<sup>23</sup>



Die erste retropupillare Irisklauenlinse wurde bereits 1981 durch Amar, allerdings im konvex-planen Strahlengang als Kasuistik, implantiert.<sup>26</sup> Interessanterweise wurde die Technik jedoch erst 1994 wieder durch Rijnveld et al. im Rahmen einer perforierenden Keratoplastik als „open-sky“-Technik publiziert.<sup>27</sup> Um der Gefahr einer Pigmentdispersion sowie eines Pupillarblocks entgegenzusteuern, propagierten Mohr et al. 2002 eine inverse Implantation der retropupillaren Irisklauenlinse im plan-konvexen bzw. definitionsgemäß, nach erneuter Modifikation der Irisklauenlinse im Jahre 1997, im konkav-konvexen Strahlengang und führten somit zu einem Umdenken dieses „off-label“-Verfahrens.<sup>9</sup> Ein intaktes Irisstroma stellt jedoch eine Voraussetzung dar. Die invers, retropupillar fixierte Irisklauenlinse vereint somit die Vorteile einer schnellen, atraumatischen und unkomplizierten Implantationstechnik einer Vorderkammerlinse mit einer im optischen System einer physiologischen Linsenposition ähnelnden und endothelzellschonenderen Hinterkammerlinse.<sup>28,29</sup> Nachteile bestehen aus meist Tunnel bedingten, passageren Hypotonien, IOL-Dezentrierungen, und in aller Regel temporären, querovalen Pupillenverziehungen. Nachteilig aus vitreoretinaler Sicht ist der geringe Optikdurchmesser mit 5,0mm. Die spontane Desenkavation einer Irisklauen-Haptik wird zudem als Langzeitkomplikation beschrieben.<sup>30</sup>



Abbildung 2: Skizze der inversen, retropupillaren Fixationstechnik einer Irisklauenlinse, Artisan<sup>®</sup> aphakia (iris claw) lens (mit freundlicher Genehmigung der Firma Ophtec BV, Groningen)

## **1.5. Wissenschaftliche Fragestellungen**

1. Ergebnisse und Komplikationen der retropupillar fixierten Irisklauenlinse bei primärer und sekundärer IOL-Implantation sowie beim IOL-Austausch bei phaken, aphaken und pseudophaken Augen bei insuffizientem Zonula-Kapsel-Komplex
2. Ergebnisse und Komplikationen nach primärer Implantation einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse bei Ektopia lentis beim Marfan Syndrom
3. Untersuchungen des Endothelzellverlusts und mittelfristige Ergebnisse nach retropupillar fixierter Irisklauenlinse
4. Analyse morphologischer Veränderungen an Irisklauenlinsen nach traumatischer und spontaner Desenklavation.
5. Ergebnisse und Komplikationen nach retropupillar fixierter Irisklauenlinse in Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat bei Kindern
6. Ergebnisse und Komplikationen nach Kombination einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse mit einer perforierenden Keratoplastik in Augen ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Komplex
7. Ergebnisse und Komplikationen nach Kombination einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse und einer hinteren lamellierenden DMEK (Descemet membrane endothelial keratoplasty)

## 2. Originalarbeiten

### 2.1. Visusergebnisse und Komplikationen nach retropupillar fixierter Irisklauenlinse

In dieser Studie wurden die Genese, Ergebnisse und Komplikationen nach Implantation einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse in 137 Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat (126 Patienten, 52 Frauen, 74 Männer, mittleres Alter:  $66 \pm 20$  Jahre) über eine mittlere Nachbeobachtungszeit von 5 Monaten (Zeitspanne: 1 bis 48 Monate) untersucht. Die Irisklauenlinse wurde primär in 10 phaken Augen (7,3%), sekundär in 32 aphaken Augen (23,3%) und in 95 pseudophaken Augen (69,4%) im Rahmen eines Austausches bei IOL-Dislokation implantiert. Der best-korrigierte Fernvisus verbesserte sich signifikant von präoperativ  $0,65 \pm 0,58$  logMAR zu postoperativ  $0,38 \pm 0,31$  logMAR. Die postoperativ best-korrigierte Sehschärfe war in 80 Augen (58,4%) besser, in 53 Augen (38,7%) unverändert und in 4 Augen (2,9%) schlechter als präoperativ. Bei 57 Augen (41,6%) kam es zu einem Visusgewinn  $> 2$  Zeilen. Das mittlere sphärische Äquivalent betrug bei der letzten Nachkontrolle  $0,0 \pm 1,21$  Dioptrien (D) (Spannbreite: -2,25 bis +4,5 Dioptrien).

Postoperativ lagen 128 Augen (93,4%) innerhalb eines 2 D-Intervalls der Zielrefraktion. Die häufigste frühpostoperative Komplikation war eine temporäre, querovale Pupillenverziehung in 34 Augen (24,8%). Bei der letzten Nachuntersuchung zeigte sich lediglich in 19 Augen (13,9%) eine persistierende, querovale Pupillentrübung. Andere frühpostoperative Komplikationen bestanden aus einem Hyphäma in 3 Augen (2,1%), einer passageren Hypotonie in 7 Augen (5,1%) sowie einer Augeninnendruckerhöhung in 6 Augen (4,3%). Ferner trat in 12 Augen (8,7%) ein zystoides Makulaödem, in 12 Augen (8,7%) eine spontane Desenkavation einer Haptik, in einem Auge (0,7%) ein toxic anterior segment

syndrome, in einem Auge (0,7%) eine chronische Uveitis und in einem Auge (0,7%) eine Endophthalmitis postoperativ auf.

Die retropupillar fixierte Irisklauenlinse bot in dieser Studie gute visuelle und refraktive Ergebnisse und ließ sich in einem breiten Spektrum an Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat komplikationsarm implantieren.

### **Visual outcome and complications after posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation**

*Gonnermann J, Klamann MK, Maier AK, Rjasanow J, Jousseaume AM, Bertelmann E, Rieck PW, Torun N*

J Cataract Refract Surg. 2012 Dec;38(12):2139-2143

Link zur Publikation: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2012.07.035>













## **2.2. Primär-Implantation einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse bei Ektopia lentis in Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat beim Marfan Syndrom**

In 13 phaken Augen von 10 Patienten (7 Frauen, 3 Männer, mittleres Alter:  $34 \pm 20$  Jahre) ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Komplex wurde eine retropupillare Irisklauenlinse primär bei Ektopia lentis infolge eines Marfan Syndroms implantiert. Der mittlere Nachbeobachtungszeitraum betrug 37 Monate. Der postoperative bestkorrigierte Fernvisus in Log-MAR-Einheiten (Mittelwert:  $0,24 \pm 0,36$ ) verbesserte sich signifikant gegenüber dem präoperativen (Mittelwert:  $0,72 \pm 0,46$ ). Bei 10 Augen kam es zu einem Visusgewinn  $> 2$  Zeilen. Das mittlere sphärische Äquivalent betrug postoperativ  $-0,37 \pm 1,04$  Dioptrien (D) (Spannbreite:  $-1,5$  bis  $+1,5$  Dioptrien). Bei der letzten Nachkontrolle lagen 10 Augen (76.9%) innerhalb eines 1 D-Intervalls der Zielrefraktion. Der intraokulare Druck bewegte sich sowohl prä- als auch postoperativ im Normbereich. Die zentrale Endothelzellichte verringerte sich im Mittelwert von präoperativ  $2793 \pm 478$  Zellen/mm<sup>2</sup> zu  $2637 \pm 612$  Zellen/mm<sup>2</sup> postoperativ (Endothelzellverlust im Mittelwert: 5,6%). Komplikationen beinhalteten eine frühe postoperative Hypotonie in 2 Augen (15,4%), eine dezente postoperative Pupillenentrundung in einem Auge (7,7%) sowie eine rhematogene Ablatio retinae in einem Auge (7,7%).

Die Primär-Implantation einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse stellte in dieser Studie eine sichere und vorhersagbare Methode zur Korrektur einer Ectopia lentis in phaken Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat beim Marfan Syndrom dar.

**Posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation in subluxated lenses  
due to Marfan syndrome**

*Gonnermann J, Torun N, Klamann MK, Maier AK, von Sonnleithner C, Bertelmann E.*

Eur J Ophthalmol. 2014 May-Jun;24(3):352-357

Link zur Publikation: <http://dx.doi.org/10.5301/ejo.5000366>















### 2.3. Endothelzellverlust nach retropupillar fixierter Irisklauenlinse

Mehrere Studien haben bereits gute visuelle und refraktive Ergebnisse der retropupillaren Irisklauenlinse bei geringer Komplikationsrate aufgezeigt.<sup>2,8,9,31,32</sup> Der Endothelzellverlust nach retropupillarer Implantation einer Irisklauenlinse wurde bisher jedoch nicht in einem größeren Patientenkollektiv untersucht.

In der vorliegenden Studie beschreiben wir unsere mittelfristigen Ergebnisse und den Endothelzellverlust nach retropupillarer Irisklauenlinsen-Implantation in 62 Augen von 56 Patienten (17 Frauen, 39 Männer, mittleres Alter: 57 Jahre, Spannbreite: 8-84 Jahre). Der mittlere Nachbeobachtungszeitraum betrug 34 Monate (Spannbreite: 13 bis 78 Monate).

Bei 11 phaken Augen erfolgte eine primäre Irisklauenlinsen-Implantation (17,8%), bei 17 aphaken Augen erfolgte eine sekundäre IOL-Implantation (27,4%) und bei 34 pseudophaken Augen erfolgte ein IOL-Austausch (54,8%). Der mittlere bestkorrigierte Fernvisus (BCVA) verbesserte sich signifikant von präoperativ  $0,61 \pm 0,65$  logMAR auf postoperativ  $0,24 \pm 0,45$  logMAR. Bei 50 Augen (80,6%) kam es zu einem postoperativen Visusanstieg. 11 Augen (21,1%) hatten einen Gewinn  $\geq 2$  Zeilen. Bei zwei Augen (3,3%) verschlechterte sich der BCVA. Insgesamt erreichten 77,4% aller Augen einen postoperativen Visus besser als 0,3 logMAR.

Das mittlere sphärische Äquivalent verbesserte sich von präoperativ  $7,25 \pm 5,04$  D (Spannbreite: -10,25 bis +16,0 D) auf postoperativ  $-0,21 \pm 1,01$  D (Spannbreite: -4,0 bis +3,0 D). Postoperativ lagen 36 Augen (58,1%) innerhalb eines 0,5 D-Intervalls der Zielrefraktion und 48 Augen (77,4%) innerhalb eines 1 D-Intervalls der Zielrefraktion (sphärisches Äquivalent). Die mittlere zentrale Endothelzelldichte betrug präoperativ  $1844 \pm 690$  Zellen/mm<sup>2</sup>. Es kam postoperativ zu einem statistisch nicht signifikanten Endothelzellverlust von 5,5% auf  $1743 \pm 721$  Zellen/mm<sup>2</sup>. Die

Komplikationen beinhalteten ein zystoides Makulaödem bei 4 Augen (6,4%), eine passagere, frühpostoperative Hypotonie bei 2 Augen (3,2%), eine querovale Pupillenverziehung bei 2 Augen (3,2%), eine traumatische Desenkklavation einer Haptik bei 2 Augen (3,2%) sowie eine spontane Desenkklavation einer Haptik bei einem Auge (1,6%).

In dieser Studie konnten sowohl gute visuelle und refraktive Ergebnisse der retropupillar fixierten Irisklauenlinse als auch ein geringer Endothelzellverlust über den bisher längsten publizierten Nachbeobachtungsraum beschrieben werden.

**[Endothelial cell loss after retropupillar iris-claw intraocular lens implantation]**

*Gonnermann J, Amiri S, Klamann MK, Maier AK, Jousseaume AM, Rieck PW, Torun N, Bertelmann E*

Klin Monbl Augenheilkd. 2014 Aug;231(8):784-7.

Link zur Publikation: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0034-1368453>









## **2.4. Morphologische Veränderungen an Irisklauenlinsen nach traumatischer und spontaner Desenkklavation**

In dieser Studie wurden fünf traumatisch desenkklavierte und zwei spontan desenkklavierte Irisklauenlinsen sowie eine als Kontrolle dienende original verpackte Irisklauenlinse lichtmikroskopisch in der Oberflächenebene und im Kantenprofil untersucht. Ziel war die Analyse morphologischer Veränderungen an Irisklauenlinsen nach traumatischer und spontaner Desenkklavation. Die mittlere Dezentrierung an den traumatisch veränderten Irisklauen-Haptiken betrug  $23 \pm 11 \mu\text{m}$  in der Oberflächenebene und  $103 \pm 43 \mu\text{m}$  im Kantenprofil, die axiale Verdrehung der Fixierarme betrug  $5^\circ$ . Von den 5 explantierten IOLs zeigten 2 einen Spalt an der desenkklavierten Haptik und 3 eine Verkantung der Fixierarme. Ein passgenauer Schluss der Haptiken war nicht mehr gewährleistet. Im Vergleich zeigten sich signifikante Unterschiede der morphologischen Veränderungen nach traumatischer und spontaner Desenkklavation. Spontan desenkklavierte IOLs und die Originallinse zeigten symmetrisch-zentrierte Irisklauen mit passgenauem Schluss. Alle traumatisch desenkklavierten Irisklauenlinsen wiesen signifikante Verformungen der betroffenen Haptiken auf, so dass ein sicherer Schluss der Irisklaue mit ausreichender Re-Fixierung am Irisstroma nicht gesichert erschien. Die kontrovers diskutierte Reenkklavation einer traumatisch dislozierten Irisklauenlinse ist somit gegenüber einem Linsenaustausch nach dieser Analyse nicht gerechtfertigt. Wir empfehlen daher traumatisch dislozierte Irisklauenlinsen zu explantieren und auszutauschen.



**Morphologic alterations on posterior iris-claw intraocular lenses after traumatic disenclavation**

*Brockmann T, **Gonnermann J**, Brockmann C, Torun N, Jousseaume AM, Bertelmann E*

Br J Ophthalmol. 2014 Jul 1. doi: 10.1136/bjophthalmol-2014-305364

Link zur Publikation: <http://dx.doi.org/10.1136/bjophthalmol-2014-305364>











## 2.5. Retropupillar fixierte Irisklauenlinse bei Kindern

Die anteriore Fixation einer Irisklauenlinse wird in Europa als chirurgische Korrektur einer Aphakie oder Linsen(sub-)luxation in kindlichen Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat häufig durchgeführt.<sup>33</sup> In der vorliegenden Pilotstudie stellten wir erstmals nach den guten Erfahrungen bei Erwachsenen unsere Ergebnisse nach retropupillarer Irisklauenlinsen-Implantation bei 7 Augen von 4 Kindern (3 Jungen, 1 Mädchen, mittleres Alter:  $12,0 \pm 3,4$  Jahre, Spannbreite: 8-16 Jahre) über einen mittleren Nachbeobachtungszeitraum von 31 Monaten vor. Die Irisklauenlinse wurde primär in 4 phaken Augen und sekundär in 3 aphaken Augen implantiert.

Der mittlere best-korrigierte Fernvisus verbesserte sich signifikant von präoperativ  $0,60 \pm 0,39$  logMAR auf postoperativ  $0,13 \pm 0,17$  logMAR. Fünf Augen (71,4%) hatten einen Gewinn  $\geq 2$  Zeilen. Die zentrale Endothelzelldichte verringerte sich im Mittelwert von präoperativ  $3013 \pm 155$  Zellen/mm<sup>2</sup> zu  $2831 \pm 236$  Zellen/mm<sup>2</sup> postoperativ (mittlerer Endothelzellverlust: 6,4%). Komplikationen beinhalteten eine frühe postoperative Hypotonie in 1 Auge und eine traumatische Desenkklavation einer Haptik einer Irisklauenlinse in 1 Auge.

Erstmals wurden in unserer Studie die guten visuellen und refraktiven Ergebnisse der retropupillar fixierten Irisklauenlinse bei Kindern beschrieben und ließen sich in einem breiten Spektrum an kindlichen Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat komplikationsarm implantieren.

## **Posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation in children**

*Gonnermann J, Torun N, Klamann MK, Maier AK, von Sonnleithner C, Rieck PW, Bertelmann E.*

Am J Ophthalmol. 2013 Aug;156(2):382-386

Link zur Publikation: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajo.2013.03.002>











## **2.6. Visusergebnisse und Komplikationen nach Kombination einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse mit einer perforierenden Keratoplastik**

In 23 Augen von 23 Patienten (9 Frauen, 14 Männer, mittleres Alter:  $72 \pm 9$  Jahre, Spannbreite: 54-84 Jahre) wurde eine retropupillare Irisklauenlinsen-Implantation als „open-sky“-Technik in Kombination mit einer perforierenden Keratoplastik durchgeführt. Die Irisklauenlinse wurde sekundär in 6 aphaken Augen und in 17 pseudophaken Augen während eines IOL-Austausches implantiert. Der mittlere Nachbeobachtungszeitraum betrug 18 Monate. Der mittlere best-korrigierte Fernvisus verbesserte sich signifikant von präoperativ  $1,80 \pm 0,73$  logMAR auf postoperativ  $1,00 \pm 0,46$  logMAR. Die postoperativ best-korrigierte Sehschärfe war in 20 Augen (86,9%) besser und in 3 Augen (13,1%) unverändert gegenüber präoperativ. Die häufigsten frühpostoperativen Komplikationen waren eine temporäre, querovale Pupillenverziehung in 3 Augen (13,0%) und eine spontane Desenkklavation einer Haptik in 3 Augen (13,0%). Ein zystoides Makulaödem trat in einem Auge (4,3%) 8 Wochen postoperativ auf. Bei keinem Auge kam es im Nachbeobachtungszeitraum zu einer Transplantatabstoßung bzw. Transplantatdekompensation. Die zentrale Endothelzellichte verringerte sich im Mittelwert von präoperativ  $2325 \pm 240$  Zellen/mm<sup>2</sup> zu  $1319 \pm 211$  Zellen/mm<sup>2</sup> postoperativ.

Trotz steigender Zahl der hinteren lamellierenden Keratoplastiken bei pseudophaker und aphaker bullöser Keratopathie bleibt bei dichter, zentraler Hornhautnarbe die Indikation zur perforierenden Keratoplastiken bestehen. Dementsprechend war bei 69,6% der Augen der hier vorgestellten Studie die Ursache einer dichten stromalen, zentralen Hornhautnarbe eine pseudophake bullöse Keratopathie aufgrund einer Vorderkammerlinse. Die Kombination einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse mit

einer perforierenden Keratoplastik bot gute Ergebnisse und ließ sich in Augen ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Komplex komplikationsarm implantieren.

**Visual outcomes and complications following posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation combined with penetrating keratoplasty**

**Gonnermann J**, Torun N, Klamann MK, Maier AK, Sonnleithner CV, Jousseaume AM, Rieck PW, Bertelmann E

Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2013 Apr;251(4):1151-1156

Link zur Publikation: <http://dx.doi.org/10.1007/s00417-012-2226-y>















## **2.7. Retropupillar fixierte Irisklauenlinse und Descemet membrane endothelial keratoplasty**

In dieser Studie wurde in 7 Augen von 7 Patienten (5 Frauen, 2 Männer, mittleres Alter:  $78 \pm 7$  Jahre, Spannbreite: 67-84 Jahre) eine retropupillar fixierte Irisklauenlinse und eine DMEK (Descemet membrane endothelial keratoplasty) bei bullöser Keratopathie ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat durchgeführt. Die Irisklauenlinse wurde bei 3 pseudophaken Augen (IOL-Austausch) und 1 aphakem Auge (sekundäre IOL-Implantation) während einer DMEK implantiert. In drei Augen erfolgte eine DMEK nach einem IOL-Austausch mit einer retropupillaren Irisklauenlinse. Der mittlere Nachbeobachtungszeitraum betrug 7 Monate (Spannbreite: 3 - 14 Monate). Der mittlere best-korrigierte Brillenfernvisus verbesserte sich signifikant von präoperativ  $1,84 \pm 0,90$  logMAR auf postoperativ  $0,33 \pm 0,31$  logMAR. Der mittlere Endothelzellverlust betrug 24,8% über die gesamte Nachbeobachtungszeit, was dem Endothelzellverlust nach einer Standard-DMEK entspricht. Die mittlere zentrale Hornhautdicke verringerte sich signifikant von präoperativ  $798 \pm 138$   $\mu\text{m}$  auf postoperativ  $552 \pm 28$   $\mu\text{m}$ . Die Komplikationen bestanden aus 4 partiellen Transplantatablösungen, welche mittels Re-bubbling (erneuter Luftauffüllung) erfolgreich behandelt werden konnten. Weder ein Transplantatversagen noch eine IOL-Dislokation oder ein Pupillarblock - oder Pigmentdispersionsglaukom wurden beobachtet.

Die in dieser Studie erstbeschriebene Kombination aus retropupillar fixierter Irisklauenlinse und DMEK bot gute visuelle Ergebnisse bei schneller Visuserholung und adäquatem Endothelzellverlust und ließ sich in Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat bei bullöser Keratopathie ohne zentrale Hornhautnarbe komplikationsarm durchführen.

**Posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation and Descemet  
membrane endothelial keratoplasty**

**Gonnermann J**, Maier AK, Klamann MK, Brockmann T, Bertelmann E, Jousen AM, Torun N

Br J Ophthalmol. 2014 Apr 29. doi: 10.1136/bjophthalmol-2014-304948.

Link zur Publikation: <http://dx.doi.org/10.1136/bjophthalmol-2014-304948>













### 3. Diskussion

Ursprünglich von Worst et al. in den 1970er Jahren entwickelt und bis heute in der phaken refraktiven Linsenchirurgie zur Myopiekorrektur verwendet, wurde die einstückige Irisklauenlinse aus Polymethylmethacrylat in den 1980er Jahren in der anterioren Fixationsvariante zur Aphakiekorrektur eingeführt und immer weiter verbessert.<sup>12,13</sup> Kontrovers werden jedoch bis heute die Vor- und Nachteile der posterioren gegenüber der anterioren Fixation der aphaken Irisklauenlinse diskutiert.<sup>2,4,9,14,28,31</sup> Mohr et al. veröffentlichten 2002 erstmals ihre guten chirurgischen und refraktiven Einjahresergebnisse mit der retropupillaren, inversen Fixation einer Irisklauenlinse im konkav-konvexen Strahlengang bei 48 aphaken Augen als einfache und atraumatische sekundäre Linsenimplantation.<sup>9</sup> 2012 konnten wir in der bisher größten Fallstudie mit 137 Augen die guten Ergebnisse der inversen, retropupillaren Irisklauenlinse bei primärer und sekundärer Implantation als auch beim IOL-Austausch bestätigen.<sup>2</sup>

Die Vorteile der retropupillaren Irisklauenlinse liegen in der Berücksichtigung der anatomischen Vorderkammerverhältnisse mit tieferer Vorderkammer, größerem iridocornealem Kammerwinkel und größerem Abstand zum cornealen Endothel.<sup>28,31</sup> Zudem gewährleistet die inverse, retropupillare Irisklauenlinsen-Implantation einen ausreichenden Abstand von der Rückseite der Iris, so dass eine chirurgische Iridektomie zur Prävention eines Pupillarblocks nicht erforderlich scheint.<sup>2,9,31</sup>

Die Gegner der retropupillaren Fixationstechnik sehen vor allem die Möglichkeit einer vollständigen IOL-Dislokation in den Glaskörperraum bzw. auf die Netzhaut als Hauptkritikpunkt. Dafür müssten jedoch beide Klauen-Haptiken gleichzeitig ohne visuelle Beschwerden des Patienten desenklavieren.<sup>31</sup> Dies ist bisher jedoch noch nicht in der Literatur beschrieben worden.

### **3.1. Retropupillar fixierte Irisklauenlinse bei Augen ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Komplex**

In unseren Studien konnten wir gute visuelle und refraktive Ergebnisse nach Implantation einer inversen, retropupillar fixierten Irisklauenlinse in einem sehr großen Patientenkollektiv mit einem breiten Indikationsspektrum erzielen. Postoperativ lagen zwischen 75,9% und 77,4% der Augen innerhalb eines 1 D-Intervalls der Zielrefraktion. Der best-korrigierte Brillenfernvisus betrug bei 77,4% bis 85,3% aller Augen besser als 0,3 logMar.<sup>2,34</sup> Die Visusergebnisse lassen sich mit Studien alternativer chirurgischer Aphakiekorrekturen wie z.B. anterior fixierten Irisklauenlinsen (45,3% bis 88,7%)<sup>4,14,14,15</sup>, kammerwinkelgestützten Vorderkammerlinsen (60% bis 77% aller Augen)<sup>3,35</sup>, transskleral-fixierten Hinterkammerlinsen (53,8% bis 77,8% aller Augen)<sup>7,36</sup> und irisnaht-fixierten Hinterkammerlinsen (60% bis 67% aller Augen)<sup>37,38</sup> positiv vergleichen.

Güell et al. veröffentlichten 2014 die bisher größte Fallserie zur anterioren Fixation der Irisklauenlinse bei 128 aphaken Augen mit einer mittleren Nachbeobachtungszeit von  $41,8 \pm 23,63$  Monaten.<sup>14</sup> Bei 63,3% kam es zu einer Verbesserung des mittleren best-korrigierten Fernvisus (BCVA); jedoch hatten nur 45,3% der Augen einen postoperativen BCVA von 0,3 logMAR oder besser. Dagegen erreichten in der 2011 publizierte Studie von De Silva et al. 68,9% von 116 Augen insgesamt und 88,7% der Augen ohne okuläre Komorbiditäten einen postoperativen Fernvisus besser als 0,3 logMAR nach anteriorer aphaker Irisklauenlinsen-Implantation.<sup>4</sup>

Die häufigsten postoperativen Komplikationen nach anterior fixierter Irisklauenlinsen-Implantation bestehen aus Augeninnendruckerhöhungen bei bis zu 9,5%, IOL-Dislokationen bei bis zu 6%, zystoiden Makulaödemen bei bis zu 7,7%, einem Pupillarblock trotz chirurgischer Iridektomie bei bis zu 1,6% und endothelialen Hornhautdekomensationen bei bis zu 1,7% der Augen.<sup>4,14</sup>

Potentielle postoperative Komplikationen nach inverser, retropupillar fixierter Irisklauenlinse beinhalten u.a. ein zystoides Makulaödem bei bis zu 8,7%, eine Desenklavation einer Haptik bei bis zu 8,7%, passagere, frühpostoperative Hypo- und Hypertonien bei bis zu 5,1% der Augen, sowie passagere Pupillenovalisierungen und Uveitiden.<sup>2,9,31,34</sup> Das Auftreten eines Pigmentdispersionsglaukoms oder Pupillarblocks sowie die Entgleisung eines bekannten Glaukoms konnte in unseren Studien nicht beobachtet werden.

Der mittlere Endothelzellverlust in unserer Studie nach inverser, retropupillarer Fixation betrug 5,5% nach mittlerer Nachbeobachtungszeit von 34 Monaten im Vergleich zu 12,3% nach anteriorer Fixation einer aphaken Irisklauenlinse in der Fallserie von Güell et al. nach 41,8 Monaten.<sup>14</sup> Andere Studien nach anteriorer Irisklauenlinsen-Implantation beschrieben nach 3 Jahren postoperativ einen Endothelzellverlust zwischen 9,8% und 10,9%.<sup>15,39</sup> Der im Vergleich niedrigere Endothelzellverlust in unserer Studie nach inverser, retropupillar fixierter Irisklauenlinse scheint die allgemeine Vermutung zu bestätigen, dass bei Zunahme des Abstandes einer Irisklauenlinse vom cornealen Endothel der Endothelzellverlust geringer ist.

Die Desenklavation einer Irisklauenlinse stellt eine kritische postoperative Komplikation dar. Während bei anteriorer Fixation die Gefahr des cornealen IOL-Endothel-Kontakts mit konsekutiver endothelialer Dekompensation besteht, droht bei retropupillarer Fixation die IOL-Dislokation in den Glaskörperraum bzw. auf die Netzhaut. Dabei sollte die spontane von der traumatischen Haptik-Desenklavation differenziert werden. Hierbei bietet die Entscheidung zur Haptik-Reenklavation bzw. zum IOL-Austausch bei Desenklavation eine interessante wissenschaftliche Fragestellung. In unserer Studie konnten wir lichtmikroskopisch signifikante Unterschiede der morphologischen Veränderungen nach traumatischer und

spontaner Desenkklavation feststellen.<sup>40</sup> Spontan desenkklavierte IOLs und eine original verpackte Irisklauenlinse zeigten symmetrisch-zentrierte Irisklauen mit passgenauem Schluss. Alle traumatisch desenkklavierten Irisklauenlinsen wiesen dagegen signifikante Verformungen der Haptiken auf, so dass ein sicherer Schluss der Irisklaue mit ausreichender Fixierung am Irisstroma nicht mehr gewährleistet erschien. Die kontrovers diskutierte Reenkklavation einer traumatisch dislozierten Irisklauenlinse ist somit gegenüber einem Linsenaustausch nach dieser Analyse nicht mehr gerechtfertigt. In der klinischen Anwendung empfiehlt es sich daher, traumatisch dislozierte Irisklauenlinsen auszutauschen und nicht zu reenklavieren.

In einer Vergleichsstudie berichteten Mennel et al. bereits 2004 bei gleichen Visusergebnissen über eine schnellere, atraumatischere und einfachere Implantation einer retropupillaren Irisklauenlinse gegenüber einer skleranahtfixierten PMMA-IOL.<sup>41</sup>

Hara et al. publizierten 2011 ihre Ergebnisse nach Vergleich einer transskleralnahtfixierten faltbaren Acrylatlinse mit einer retroiridalen Irisklauenlinse.<sup>8</sup>

Die Operationszeit der inversen Irisklauenlinse betrug in dieser Studie ca. 20 min und damit weniger als die Hälfte der fast 50-minütigen Implantation einer transskleralnahtfixierten IOL. Zudem zeigte sich ein statistisch signifikant schnellerer Visusanstieg bei geringeren Komplikationen nach retropupillarer Irisklauenlinse.

Die Implantation einer retropupillaren Irisklauenlinse stellt somit eine schnelle, sichere und effektive chirurgische Korrektur einer Aphakie oder Linsen(sub-)luxation in einem breiten Spektrum an Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat bei geringem Endothelzellverlust dar.

### **3.2. Retropupillar fixierte Irisklauenlinse bei Augen ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Apparat bei Kindern**

Bei Kontaktlinsen- bzw. Brillenunverträglichkeit stellt die chirurgische Korrektur von Aphakien und Linsen(sub-)luxationen in kindlichen Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat eine besondere Herausforderung dar. Dies spiegelt sich auch in der geringen Anzahl an Publikationen diesbezüglich mit häufig nur kleiner Fallzahl wider. Transskleralnaht-fixierte IOLs wurden in den letzten Jahrzehnten von Ophthalmochirurgen trotz Komplikationen wie intraoperativen Blutungen durch Verletzung des Corpus ciliare, Hypotonie, Ablatio retinae, IOL-Dezentrierung/-Dislokation und Makulaödem als Methode der Wahl angesehen.<sup>42,44</sup> In Langzeitstudien wurde zudem über Nahterosionen und eine Bruchrate der Polypropylenfäden bei kindlichen Augen mit bis zu 24% und einem daraus resultierendem, erhöhtem Risiko einer Spätendophthalmitis berichtet.<sup>44</sup> Neuere Techniken sind z.B. intrasklerale, fibrinkleber-fixierte und irisnaht-fixierte HKLs. Doch werden hierbei ebenfalls Komplikationen wie Hyphäma, Iritis, Makulaödem, Endophthalmitis und IOL-Dislokation/-Dezentrierung beschrieben.<sup>45-47</sup> Aufgrund komplikationsträchtiger Erfahrungen mit kammerwinkelgestützten Vorderkammerlinsen bei Kindern mit der Gefahr einer Endothelzelldekomensation, Iritis und Sekundärglaukom,<sup>48,49</sup> wird vor allem in Europa die präpupillar, irisgestützte Irisklauenlinse bei kindlichen Augen mit insuffizientem Kapselsackhalteapparat mit guten refraktiven und visuellen Ergebnissen implantiert.<sup>33,50-52</sup> Häufig wird die kleinere Variante der Irisklauenlinse für Kinder ausgewählt (Gesamtdurchmesser: 7,4mm, Optikdurchmesser: 4,0mm). Jedoch wird auch bei der präpupillar fixierten Irisklauenlinse der Endothelzellverlust in der publizierten Literatur mit bis zu 14,2% angegeben.<sup>53</sup> Andere Komplikationen der präpupillaren Irisklauenlinse sind spontane



Haptik-Klauen-Desenklavationen mit Endothelzellschädigung und konsekutiver Entwicklung einer bullösen Keratopathie, sowie Uveitis und Sekundärglaukom.<sup>54</sup>

Nach guten refraktiven und visuellen Ergebnissen nach inverser, retropupillärer Irisklauenlinsen-Implantation bei Erwachsenen publizierten wir erstmals über diese alternative Fixationstechnik bei kindlichen Augen ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Komplex. 85,7% der Augen erreichten einen postoperativen Visus von 0,1 logMAR oder besser. Dies ist vergleichbar mit Studien nach präpupillar fixierten Irisklauenlinsen, fibrinkleber-fixierten, intraskleralen IOLs, irisnahtfixierten HKLs und transskleralnaht-fixierten IOLs bei Kindern.<sup>33,45,47,49,53,55</sup> Der mittlere Endothelzellverlust nach inverser, retropupillärer Irisklauenlinse betrug 6,4% über einen mittleren Nachbeobachtungszeitraum von 31 Monaten im Vergleich zu 14,2% nach 28 Monaten nach präpupillärer Irisklauenlinse.<sup>53</sup> Andere Komplikationen unserer Studie beinhalteten eine frühpostoperative, selbstlimitierende Hypotonie in einem Auge und eine traumatische (Fußtritt) Haptik-Desenklavation einer Irisklauenlinse mit partieller Dislokation der Irisklauenlinse in die Vorderkammer, welche nur noch mittels IOL-Austausch behoben werden konnte. Da Kinder häufig insbesondere einäugige Sehverschlechterungen nicht bemerken oder verbalisieren können, ist eine regelmäßige Nachsorge der Kinder angezeigt, um die potentielle Gefahr einer vollständigen posterioren Dislokation bei Desenklavation beider Haptiken einer Irisklauenlinse in den Glaskörperraum bzw. auf die Netzhaut frühzeitig zu entdecken. Diese schwerwiegende Komplikation ist jedoch bisher nicht aufgetreten und in der Literatur nicht angegeben.

### **3.2 Retropupillar fixierte Irisklauenlinse in Kombination mit Keratoplastik bei Augen ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Komplex**

Die hintere lamellierende Keratoplastik ist heutzutage die bevorzugte Technik zur Operation endothelialer Erkrankungen wie Fuchs'sche Endotheldystrophie, bullöse Keratopathie und endotheliales Transplantatversagen. Die Vorteile einer hinteren lamellierenden Keratoplastik wie „Descemet stripping (automated) endothelial keratoplasty“ (DS(A)EK) und „Descemet membrane endothelial keratoplasty“ (DMEK) gegenüber einer perforierenden Keratoplastik sind u.a. das reduzierte Abstoßungsrisiko, die Vermeidung von Oberflächen- und Nahtproblemen, ein geringerer Astigmatismus und eine schnellere Visuserholung.<sup>56,57</sup>

Dennoch bleibt trotz steigender Anzahl der hinteren lamellierenden Keratoplastiken bei pseudophaker und aphaker bullöser Keratopathie mit dichter, zentraler Hornhautnarbe die Indikation zur perforierenden Keratoplastik bestehen.

Bei insuffizientem Kapselsackhalteapparat während einer Keratoplastik gibt es eine Auswahl an alternativen IOL-Implantationstechniken wie z.B. kammerwinkel- oder irisgestützte Vorderkammerlinsen sowie intra-/transskleral-fixierte (Naht, Fibrinkleber, etc.) und irisgestützte Hinterkammerlinsen.<sup>27,58-60</sup> Vorderkammerlinsen werden jedoch häufig mit Komplikationen wie hohem Endothelzellverlust, anteriore Synechien, Makulaödem, Sekundärglaukom, chronische Uveitis und Hyphäma assoziiert.<sup>3,10,11,61</sup> Dagegen konnte ebenfalls in diversen Studien u.a. mittels Ultraschall-Biomikroskopie (UBM) die Komplikationen der „blinden“ und dadurch nicht immer exakten Sulcusfixation transskleral- und irisnaht-fixierter Hinterkammerlinsen nachgewiesen werden.<sup>21,62</sup> Die Nachteile bestehen u.a. aus IOL-Verkipfung/-Dezentrierung, Pigmentdispersion, intraoperativen Blutungen durch Verletzung des Corpus ciliare, Hypotonie, längerer Operationszeit bei erhöhter chirurgischer Komplexität, Ablatio retinae und Nahterosiones.<sup>7,63-65</sup>

Rijneveld et al. publizierten 1994 die erste Studie einer anterioren (n=12) und posterioren (n=7) Fixation (im konvex-planen Strahlengang; nicht invers) einer Irisklauenlinse in Kombination mit einer perforierenden Keratoplastik mit einer Visusverbesserung in 83% der Augen.<sup>27</sup> Bei etwas höherer Komplikationsrate an Pigmentdispersion, Glaukom, peripheren anterioren Synechien und IOL-Dezentrierung bei der posterioren Fixationsvariante im konvex-planen Strahlengang, favorisierten die Autoren die anteriore Fixation. Der Endothelzellverlust wurde in dieser Studie jedoch nicht untersucht. Dagegen bevorzugten Dighiero et al. 2006 die retropupillare Irisklauenlinse in Kombination mit einer perforierenden Keratoplastik in 5 Augen, da hierdurch die Vorderabschnittsanatomie besser berücksichtigt werde und somit ein geringerer Endothelzellverlust und eine geringe Rate an Makulaödemen auftreten würde.<sup>66</sup> Gicquel et al. verglichen 2007 als erste eine anteriore (n=13) gegen eine inverse, retropupillare (n=14, konkav-konvexer Strahlengang) Irisklauenlinse in Kombination mit einer perforierenden Keratoplastik u.a. mit Hilfe der Ultraschall-Biomikroskopie.<sup>28</sup> Die anteriore Fixation einer Irisklauenlinse mit perforierender Keratoplastik führte häufiger zu Komplikationen wie anterioren Synechien, Pigmentdispersion und IOL-Endothel-Kontakt mit höherem Endothelzellverlust.<sup>28</sup> Zudem konnten sie im UBM die Vorteile der inversen, retropupillaren Irisklauenlinse im Vergleich zur präpupillaren Fixation wie die Berücksichtigung der anatomischen Vorderkammerverhältnisse mit tieferer Vorderkammer, größerem iridocornealem Kammerwinkel und größerem Abstand zum cornealen Endothel nachweisen. In der bisher größten publizierten Studie (n=23) einer retropupillaren, inversen Irisklauenlinse mit einer perforierenden Keratoplastik konnten wir die guten Ergebnisse mit einem Visusanstieg in 86,9% unserer Augen bei geringer Komplikationsrate und adäquatem Endothelzellverlust bestätigen.<sup>67</sup> Die Komplikationen bestanden aus temporären Pupillenovalisierungen

bei 3 Augen, aus frühpostoperativen (<2 Wochen), einseitigen Haptikdesenklavationen bei 3 Augen und aus einem Makulaödem in einem Auge 8 Wochen postoperativ.

In der aktuellen Literatur existieren nur wenige Studien zur endothelialen Keratoplastik mit kombiniertem IOL-Austausch. Wylegala et al. publizierten 2008 eine Fallserie mit 11 Augen bei der eine DSAEK mit einer VKL-Explantation und einer sekundären, transskleralnaht-fixierten HKL kombiniert wurde. Als Komplikationen wurde eine Transplantatdislokation in 27% der Augen und ein Endothelzellverlust von 36% angegeben.<sup>68</sup> Hsu et al. und Sha et al. beobachteten ebenfalls gute Ergebnisse nach Kombination einer DSAEK mit transskleral- und irisnaht-fixierten HKL.<sup>69,70</sup> Sie berichteten über Komplikationen wie eine IOL-Dezentrierung in 0-16,7%, eine Transplantatablösung in 0-16,7%, ein Transplantatversagen in 0-10% bei einem Endothelzellverlust von 33% nach 6 Monaten. Die größte Fallserie (n=7) über eine simultane Kombination einer DSEK mit einer retropupillaren Irisklauenlinse wurde 2014 von Vélez et al. mit einer Rate an Transplantatablösungen von 14,7% publiziert.<sup>71</sup> Der mittlere best-korrigierte Fernvisus nach DS(A)EK und IOL-Austausch betrug in den genannten Studien zwischen 0,4 und 0,9 logMAR.<sup>68-71</sup> Liarakos et al. berichteten erstmals 2013 u.a. über eine 2-zeitige DMEK-Operation in 6 Augen nach Implantation einer präpupillaren Irisklauenlinse mit guten Visusergebnissen (50% besser als 0,3 logMAR) bei einem Endothelzellverlust von 42% nach 6 Monaten.<sup>72</sup> Röck et al. publizierten 2014 einen Fallbericht über die Durchführbarkeit einer DMEK in 2 Augen bei transskleral- und irisnaht-fixierter HKL.<sup>73</sup> In unserer Studie berichteten wir erstmals über die Möglichkeit der Kombination einer retropupillaren, inversen Irisklauenlinse (n=7) mit einer DMEK.<sup>74</sup> Wir konnten einen besseren postoperativen Fernvisus ( $0,33 \pm 0,31$  logMAR) bei schnellerer Visusrehabilitation und geringerem Endothelzellverlust mit

24,8% im Vergleich zu den Studien mit DSAEK und IOL-Austausch aufweisen.<sup>68-71</sup>

Jedoch zeigte sich eine erhöhte Rate an partiellen Transplantatablösungen mit 57%, welche jedoch komplikationslos mit einem Re-bubbling behandelt werden konnten.

Dennoch stellt die inverse Irisklauenlinse in unseren Augen aufgrund der direkten retropupillaren Irisfixation ein sehr gutes Diaphragma zwischen vorderem und hinterem Augenabschnitt dar, um auch in aphaken Augen mit schwieriger Ausgangssituation eine DMEK durchführen zu können.

## 4. Zusammenfassung

Bei insuffizientem Kapselsackhalteapparat gibt es eine große Auswahl an alternativen Fixationstechniken einer IOL, wie z.B. kammerwinkel- oder irisgestützte Vorderkammerlinsen sowie intra-/transskleral-fixierte (Naht, Fibrinkleber, etc.) und irisgestützte Hinterkammerlinsen. Alle Verfahren haben je nach anatomischer Ausgangssituation und Integrität des Zonula-Kapselsack-Komplexes sowie der benachbarten Strukturen wie Iris, Sklera und Hornhautendothel unter Berücksichtigung der Lebenserwartung und okularen Komorbiditäten des Patienten ihre Berechtigung und sind mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen behaftet.

Wir konnten im bisher größten publizierten Patientenkollektiv an phaken, aphaken und pseudophaken Augen ohne adäquaten Zonula-Kapsel-Komplex die sehr guten Ergebnisse der inversen, retropupillaren Irisklauenlinse bei geringer Komplikationsrate bekräftigen. Ferner berichteten wir erstmals über mittelfristige Ergebnisse der retropupillaren Irisklauenlinse bei einem adäquaten Endothelzellverlust von 5,5% über eine mittlere Nachbeobachtungszeit von 34 Monaten. Anhand lichtmikroskopischer Untersuchungen konnten wir morphologische Charakteristika nach traumatischer und spontaner Desenklavation von Irisklauenlinsen aufweisen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchungen sehen wir die kontrovers diskutierte Reenklavation einer traumatisch dislozierten Irisklauenlinse gegenüber einem Linsenaustausch nicht mehr als gerechtfertigt. In der klinischen Anwendung empfiehlt es sich daher, traumatisch dislozierte Irisklauenlinsen auszutauschen und nicht zu reenklavieren.

Aufgrund der guten Ergebnisse der retropupillar fixierten Irisklauenlinse bei Erwachsenen führten wir zum ersten Mal diese alternative Fixationstechnik bei kindlichen Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat mit guten Ergebnissen bei geringer Komplikationsrate durch.

Nach eigenen positiven Ergebnissen in Kombination mit einer perforierenden Keratoplastik kombinierten wir die retropupillare Irisklauenlinse erstmals mit einer hinteren lamellierenden DMEK (Descemet membrane endothelial keratoplasty) und konnten somit das Indikationsspektrum dieser alternativen Fixationstechnik weiter verbreitern.

Zusammenfassend stellt die Implantation einer retropupillaren Irisklauenlinse eine schnelle, sichere, einfache und effektive chirurgische Korrektur einer Aphakie oder Linsen(sub-)luxation in einem breiten Spektrum an Augen ohne adäquaten Kapselsackhalteapparat dar. Die tiefere postoperative Vorderkammer und der größere Abstand vom cornealen Endothel resultieren in einem geringeren Endothelzellverlust im Vergleich zur originalen, präpupillaren Fixationsvariante.

## 5. Literaturverzeichnis

1. **Dick HB, Augustin AJ.** Lens implant selection with absence of capsular support. *Curr Opin Ophthalmol* 2001;12:47–57.
2. **Gonnermann J, Klamann MK, Maier AK, et al.** Visual outcome and complications after posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:2139-43
3. **Drolsum L, Haaskjold E.** Secondary implantation of flexible open loop anterior chamber IOLs. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1993;71:482-6.
4. **De Silva SR, Arun K, Anandan M, et al.** Iris-claw intraocular lenses to correct aphakia in the absence of capsule support. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1667-72.
5. **Scharioth GB, Prasad S, Georgalas I, et al.** Intermediate results of sutureless intrascleral posterior chamber intraocular lens fixation. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:254-9.
6. **Agarwal A, Kumar DA, Jacob S, et al.** Fibrin glue–assisted sutureless posterior chamber intraocular lens implantation in eyes with deficient posterior capsules. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1433-38.
7. **McCluskey P, Hassisburg B.** Long-term results using scleralfixated posterior chamber intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 1994;20:34-9.
8. **Hara S, Borkenstein AF, Ehmer A, et al.** Retropupillary Fixation of Iris-claw Intraocular Lens Versus Transscleral Suturing Fixation for Aphakic Eyes Without Capsular Support. *J Refract Surg* 2011;30:1-7.
9. **Mohr A, Hengerer F, Eckardt C.** Retropupillare Fixation der Irisklauenlinse bei Aphakie. Einjahresergebnisse einer neuen Implantationstechnik. *Ophthalmologie* 2002;99:580-3.
10. **Sawada T, Kimura W, Kimura T, et al.** Long-term follow-up of primary anterior chamber intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:1515-20.
11. **Smith PW, Wong SK, Stark WJ, et al.** Complications of semiflexible, closed-loop anterior chamber intraocular lenses. *Arch Ophthalmol* 1987;105:52-7.
12. **Worst JG.** Iris claw lens. *J Am Intraocul Implant Soc* 1980;6:166-7.
13. **Fechner PU.** Die Irisklauen-Linse. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1987;191:26-9.
14. **Güell JL, Verdaguer P, Elies D, et al.** Secondary iris-claw anterior chamber lens implantation in patients with aphakia without capsular support. *Br J Ophthalmol* 2014; doi: 10.1136/bjophthalmol-2013-304035.
15. **Chen Y, Liu Q, Xue C, et al.** Three-year follow-up of secondary anterior iris fixation of an aphakic intraocular lens to correct aphakia. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:1595-601.
16. **Smiddy W, Sawusch M, O'brien T, et al.** Implantation of scleral-fixated posterior chamber intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 1990;16:691-6.
17. **Lewis JS.** Ab externo sulcus fixation. *Ophthalmic Surg* 1991;22.
18. **Althaus C, Sundmacher R.** Intraoperative intraocular endoscopy in transscleral suture fixation of posterior chamber lenses: consequences for suture technique, implantation procedure, and choice of PCL design. *Refract Corneal Surg* 1993;9:333-9.
19. **Szurman P, Gekeler K.** Sekundäre Intraokularlinsenimplantation von Skleranaht-fixierten Intraokularlinsen. *Ophthalmologie* 2014;111:217-23.



20. **Vote BJ, Tranos P, Bunce C, et al.** Longterm outcome of combined pars plana vitrectomy and scleral fixated sutured posterior chamber intraocular lens implantation. *Am J Ophthalmol* 2006;141:308-12.
21. **Mura JJ, Pavlin JP, Condon GP, et al.** Ultrasound biomicroscopic analysis of iris-sutured foldable posterior chamber lenses. *Am J Ophthalmol* 2010;149:245-52.
22. **Condon GP.** Simplified small-incision peripheral iris fixation of an AcrySof intraocular lens in the absence of capsule report. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1663-7.
23. **Stutzman RD, Stark WJ.** Surgical technique for suture fixation of an acrylic intraocular lens in the absence of capsule support. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1658-62.
24. **Gerstmeyer K, Sekundo W.** Irisnahtfixierte Hinterkammerlinse. *Ophthalmologe* 2014;111:210-6.
25. **Condon GP, Masket S, Kranemann C, et al.** Small-incision iris fixation of foldable intraocular lenses in the absence of capsule support. *Ophthalmology* 2007;114:1311-8.
26. **Amar L.** Implant a pincés de chambre posterieure (type Amar) apres chirurgie intra-capsulaire de la cataracte. *Bull Societes Ophthalmol France* 1982;82:847-50.
27. **Rijneveld WJ, Beekhuis WH, Hassman EF, et al.** Iris claw lens: anterior and posterior iris surface fixation in the absence of capsular support during penetrating keratoplasty. *J Refract Corneal Surg* 1994;10:14-9.
28. **Gicquel JJ, Guigou S, Bejjani RA, et al.** Ultrasound biomicroscopy study of the Verisyse aphakic intraocular lens combined with penetrating keratoplasty in pseudophakic bullous keratopathy. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:455-64.
29. **Stark WJ, Gottsch JD, Goodman DF, et al.** Posterior chamber intraocular lens implantation in the absence of capsular support. *Arch Ophthalmol* 1989;107:1078-83.
30. **Sekundo W, Bertelmann T, Schulze S.** Technik der retropupillaren Irisklauenintraokularlinsenimplantation bei Aphakie. *Ophthalmologe* 2014;111:315-9.
31. **Baykara M, Ozcetin H, Yilmaz S, et al.** Posterior iris fixation of the iris-claw intraocular lens implantation through a scleral tunnel incision. *Am J Ophthalmol* 2007;144:586-91.
32. **Rüfer F, Saeger M, Nölle B, et al.** Implantation of retropupillar iris claw lenses with and without combined penetrating keratoplasty. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2009;247:457-62.
33. **Sminia ML, Odenthal MT, Prick LJ, et al.** Long-term follow-up of the corneal endothelium after aphakic iris-fixated IOL implantation for bilateral cataract in children. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:866-72.
34. **Gonnermann J, Amiri S, Klamann M, et al.** Endothelzellverlust nach retropupillar fixierter Irisklauen-Linse. *Klin Monbl Augenheilkd* 2014;231:784-7.
35. **Hykin PG, Gardner ID, Corbett MC, et al.** Primary or secondary anterior chamber lens implantation after extracapsular cataract surgery and vitreous loss. *Eye* 1991;5:694-8.
36. **Chang JH, Lee JH.** Long-term results of implantation of posterior chamber intraocular lens by suture fixation. *Korean J Ophthalmol* 1991;5:42-6.
37. **Höh H, Ruprecht K, Nikoloudakis N, et al.** [Preliminary results following implantation of iris-suture-fixated posterior chamber lenses.] *Ophthalmologe* 1993;2:70-5.

38. **Navia-Aray EA.** Suturing a posterior chamber intraocular lens to the iris through limbal incisions: results in 30 eyes. *J Refract Corneal Surg* 1994;10.
39. **Güell JL, Velasco F, Malecaze F, et al.** Secondary Artisan-Verysise aphakic lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:2266-71.
40. **Brockmann T, Gonnermann J, Brockmann C, et al.** Morphologic alterations on posterior iris-claw intraocular lenses after traumatic disenclavation. *Br J Ophthalmol* 2014;98:1303-7.
41. **Mennel S, Sekundo W, Schmidt JC, et al.** Retropupillare Fixation einer Irisklauenlinse bei Aphakie. Ist die skleranahtfixierte Intraokularlinse noch state of the art? *Spektrum Augenheilkd* 2004;18:279-283
42. **Jacobi PC, Dietlein T, Jacobi FK.** Scleral fixation of secondary foldable multifocal intraocular lens implants in children and young adults. *Ophthalmology* 2002;109:2315-24.
43. **Kumar M, Arora R, Sanga L, et al.** Scleral fixated intraocular lens implantation in unilateral aphakic children. *Ophthalmology* 1999;106:2184-9.
44. **Asadi R, Kheirkhah A.** Long-term results of scleral fixation of posterior chamber intraocular lenses in children. *Ophthalmology* 2008;115:67-72.
45. **Kumar DA, Agarwal A, Prakash D, et al.** Glued intrascleral fixation of posterior chamber intraocular lens in children. *Am J Ophthalmol* 2012;153:594-601.
46. **Dureau P, Meux P, Edelson C, et al.** Iris fixation of foldable intraocular lenses for ectopia lentis in children. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:1109-14.
47. **Yen KG, Reddy AK, Weikert MP, et al.** Iris-fixated posterior chamber intraocular lenses in children. *Am J Ophthalmol* 2009;147:121-6.
48. **Wilson ME, Trivedi RH.** Choice of intraocular lens for pediatric cataract surgery: survey of AAPOS members. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1666–8.
49. **Epley KD, Shainberg MJ, Lueder GT, et al.** Pediatric secondary lens implantation in the absence of capsular support. *J AAPOS* 2001;5:301-6.
50. **van der Pol BA, Worst JG.** Iris-Claw intraocular lenses in children. *Doc Ophthalmol* 1996-1997;92:29-35.
51. **Lifshitz T, Levy J, Klemperer I.** Artisan aphakic intraocular lens in children with subluxated crystalline lenses. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1977-81.
52. **Aspiotis M, Asproudis I, Stefanidou M, et al.** Artisan aphakic intraocular lens implantation in cases of subluxated crystalline lenses due to Marfansyndrome. *J Refract Surg* 2006;22:99–101.
53. **Cleary C, Lanigan B, O'Keeffe M.** Artisan iris-claw lenses for the correction of aphakia in children following lensectomy for ectopia lentis. *Br J Ophthalmol* 2012;96:419-21.
54. **Ong HS, Subash M, Adams GG.** Spontaneous subluxation of iris-claw aphakic intraocular lens causing complications in two children. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2012;9:e55-e58
55. **Bardorf CM, Epley KD, Lueder GT, et al.** Pediatric transscleral sutured intraocular lenses: efficacy and safety in 43 eyes followed an average of 3 years. *J AAPOS* 2004;8:318-24.
56. **Melles GR, Ong TS, Ververs B, et al.** Descemet membrane endothelial keratoplasty (DMEK). *Cornea* 2006;25:987-90.
57. **Price FW, Price MO.** Descemet's stripping with endothelial keratoplasty (DSEK) in 200 eyes: early challenges and techniques to enhance donor adherence. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:411-8.

58. **Koçak-Altintas AG, Koçak-Midillioglu I, Dengisik F, et al.** Implantation of scleral-sutured posterior chamber intraocular lenses during penetrating keratoplasty. *J Refract Surg* 2000;16:456-8.
59. **Schein OD, Kenyon KR, Steinert RF, et al.** A randomized trial of intraocular lens fixation techniques with penetrating keratoplasty. *Ophthalmology* 1993;100:1437-43.
60. **Prakash G, Jacob S, Ashok Kumar D, et al.** Femtosecond-assisted keratoplasty with fibrin glue-assisted sutureless posterior chamber lens implantation: new triple procedure. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:973-9.
61. **Busin M, Arffa RC, McDonald MB, et al.** Intraocular lens removal during penetrating keratoplasty for pseudophakic bullous keratopathy. *Ophthalmology* 1987;94:505-9.
62. **Manabe S-I, Oh H, Amino K, et al.** Ultrasound biomicroscopic analysis of posterior chamber intraocular lenses with transscleral sulcus suture. *Ophthalmology* 2000;107:2172-8.
63. **Malta JB, Banitt M, Musch DC, et al.** Long-term outcome of combined penetrating keratoplasty with scleral-sutured posterior chamber intraocular lens implantation. *Cornea* 2009;28:741-6.
64. **Uthoff D, Teichmann K.** Secondary implantation of scleral-fixated intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:945-50.
65. **Akpek EK, Altan-Yaycioglu R, Karadayi K, et al.** Long-term outcomes of combined penetrating keratoplasty with iris-sutured intraocular lens implantation. *Ophthalmology* 2003;110:1017-22.
66. **Dighiero P, Guigou S, Mercie M, et al.** Penetrating keratoplasty combined with posterior Artisan iris-fixated intraocular lens implantation. *Acta Ophthalmol Scand* 2006;84:197-200.
67. **Gonnermann J, Torun N, Klamann MK, et al.** Visual outcomes and complications following posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation combined with penetrating keratoplasty. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2013;251:1151-6.
68. **Wylegala E, Tarnawska D.** Management of pseudophakic bullous keratopathy by combined Descemet-stripping endothelial keratoplasty and intraocular lens exchange. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1708-14.
69. **Hsu M, Jorgensen AJ, Moshirfar M, et al.** Management and outcomes of descemet stripping automated endothelial keratoplasty with intraocular lens exchange, aphakia, and anterior chamber intraocular lens. *Cornea* 2013;32:e64-8
70. **Shah AK, Terry MA, Shamie N, et al.** Complications and clinical outcomes of descemet stripping automated endothelial keratoplasty with intraocular lens exchange. *Am J Ophthalmol* 2010;149:390-7.
71. **Vélez FM, Mannis MJ, Izquierdo L Jr, et al.** Simultaneous Surgery for Corneal Edema and Aphakia: DSEK and Placement of a Retropupillary Iris Claw Lens. *Cornea* 2014;33:197-200.
72. **Liarakos VS, Ham L, Dapena I, et al.** Endothelial keratoplasty for bullous keratopathy in eyes with an anterior chamber intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:1835-45.
73. **Röck D, Röck T, Bartz-Schmidt KU, et al.** Descemet membrane endothelial keratoplasty in cases with existing scleral-sutured and iris-sutured intraocular lenses. *BMC Ophthalmol* 2014;14.

74. **Gonnermann J, Maier AK, Klamann MK, et al.** Posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation and Descemet membrane endothelial keratoplasty. *Br J Ophthalmol* 2014;98:1291-5.

## Danksagung

Als erstes möchte ich meiner Chefin und Lehrerin Frau Univ.-Prof. Dr. med. Antonia M. Jousen danken. Ihre Führung, Unterstützung, Ausbildung und Vorbildfunktion im klinischen und wissenschaftlichen Arbeiten haben diese Habilitation erst ermöglicht.

Mein großer Dank gilt insbesondere Herrn Priv.-Doz. Dr. med. habil. Eckart Bertelmann für seine aktive Unterstützung und sein Vertrauen. Er hat mir frühzeitig ein unabhängiges wissenschaftliches Arbeiten erlaubt und zu einem frühen Zeitpunkt meiner Ausbildung mit gewissenhafter, freundlicher und geduldiger Anleitung meine klinische und operative Tätigkeit maßgeblich gefördert und geprägt.

Weiterhin möchte ich Herrn Dr. med. Necip Torun, Herrn Dr. med. Bert Müller, Herrn Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. (F) Peter W. Rieck und Frau Dr. med. Sibylle Winterhalter für ihre lehrreiche und kollegiale Förderung meines wissenschaftlichen, klinischen und vor allem chirurgischen Werdegangs danken. Sie waren mir stete Ansprechpartner und hochkompetente Ratgeber.

Allen MitarbeiterInnen der Augenklinik der Charité-Universitätsmedizin Berlin und den ehemaligen KollegInnen der Universität Düsseldorf möchte ich für die engagierte und freundschaftliche Zusammenarbeit der letzten Jahre danken. Besonderer Dank gilt allen Co-Autoren und Doktoranden ohne deren Unterstützung, Kritik und Arbeit diese vorliegenden Studien nicht möglich gewesen wären. Ein gesonderter Dank gilt Frau Dr. med. Anna-Karina B. Maier und Herrn Dr. med. Matthias K. J. Klamann für die tatkräftige, jederzeit freundschaftliche und stets konstruktive Unterstützung. Wir haben viel von- und miteinander gelernt.

Meinen Eltern, meinen Geschwistern, meiner Familie, meinen Freunden und insbesondere meiner Elizabeth möchte ich von ganzem Herzen für ihre Liebe, Motivation, Unterstützung und Vertrauen danken.

## Eidesstattliche Erklärung

### Erklärung

§ 4 Abs. 3 (k) der HabOMed der Charité

Hiermit erkläre ich, dass

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wurde,
- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden,
- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

Berlin, den 24.11.2014

.....

Dr. med. Johannes Gonnermann