

Aus der Klinik für Augenheilkunde  
der Universität zu Lübeck  
Direktor: Prof. Dr. med. Salvatore Grisanti

---

# **Morphometrie mittels Spaltlampen-OCT nach Kanaloplastik und Phako-Kanaloplastik**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde  
der Universität zu Lübeck  
-Aus der Sektion Medizin-



vorgelegt von  
Mag. rer. nat. Katharina Moser-Notbom  
aus Lübeck

Lübeck 2014

- 1. Berichterstatterin:** Frau Prof. Dr. med. Maya Müller
- 2. Berichterstatter/Berichterstatterin:** Priv.-Doz. Dr. med. C. Boos

**Tag der mündlichen Prüfung: 29. 03. 2014**

**Zum Druck genehmigt.**

**Lübeck, den 29.03. 2014**

**Promotionskommission der Sektion Medizin**

# Inhaltsverzeichnis:

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Das Glaukom .....</b>	<b>3</b>
1.1.1	Zahlen und Fakten .....	3
1.1.2	Einteilung und Pathophysiologie des Glaukoms .....	3
<b>1.2</b>	<b>Therapie des Glaukoms.....</b>	<b>7</b>
1.2.1	Medikamentöse Therapie .....	7
1.2.2	Lasertherapie .....	8
1.2.3	Chirurgische Therapie .....	8
<b>1.3</b>	<b>Historie der Kanaloplastik.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4</b>	<b>Morphometrie am vorderen Augenabschnitt.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5</b>	<b>Fragestellung .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Patienten und Studienaufbau .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Operatives Vorgehen .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Intraokularer Druck (IOD).....</b>	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>Visus .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Morphologische Darstellung der Vorderkammerstrukturen mittels SL-OCT.....</b>	<b>19</b>
2.5.1	Winkelmessungen.....	19
2.5.1.1	Slerasporiwinkel .....	19
2.5.1.2	Vorderkammerwinkel .....	20
2.5.2	Dickenmessungen.....	21
2.5.2.1	Pachymetrie .....	21
2.5.2.2	Vorderkammertiefe.....	22
2.5.2.3	Sickerkissendicke .....	23
2.5.2.4	Descemetfenster.....	24
2.5.2.5	Sklerakanalikuläre Distanz .....	25
<b>2.6</b>	<b>Statistik .....</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Patientendaten.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>IOD.....</b>	<b>28</b>
3.2.1	IOD Kanaloplastik-Gruppe .....	28
3.2.2	IOD Phako-Kanaloplastik-Gruppe .....	29
3.2.3	Vergleich IOD Kanaloplastik- und Phako-Kanaloplastik-Gruppe .....	30
<b>3.3</b>	<b>Visus .....</b>	<b>31</b>
3.3.1	Visus Kanaloplastik-Gruppe .....	31
3.3.2	Visus Phako-Kanaloplastik-Gruppe .....	32
3.3.3	Vergleich Visus Kanaloplastik- und Phako-Kanaloplastik-Gruppe .....	32
<b>3.4</b>	<b>Morphologische Darstellung mittels SL-OCT.....</b>	<b>33</b>
3.4.1	Morphologie Kanaloplastik-Gruppe.....	33
3.4.1.1	Sklerasporiwinkel .....	33
3.4.1.2	Vorderkammerwinkel .....	34

3.4.1.2.1	Vorderkammerwinkel phake Subgruppe .....	35
3.4.1.2.2	Vorderkammerwinkel pseudophake Subgruppe .....	36
3.4.1.3	Pachymetrie .....	36
3.4.1.4	Vorderkammertiefe .....	37
3.4.1.4.1	Vorderkammertiefe phake Subgruppe.....	38
3.4.1.4.2	Vorderkammertiefe pseudophake Subgruppe .....	39
3.4.1.5	Sickerkissendicke .....	39
3.4.1.6	Descemetfenster .....	39
3.4.1.7	Sklerakanalikuläre Distanz .....	40
3.4.2	Morphologie Phako-Kanaloplastik-Gruppe .....	41
3.4.2.1	Skleraspornwinkel .....	41
3.4.2.2	Vorderkammerwinkel .....	42
3.4.2.3	Pachymetrie .....	42
3.4.2.4	Vorderkammertiefe .....	43
3.4.2.5	Sickerkissendicke .....	43
3.4.2.6	Descemetfenster .....	43
3.4.2.7	Sklerakanalikuläre Distanz .....	44
3.4.3	Vergleich Morphologie Kanaloplastik- und Phako-Kanaloplastik-Gruppe .....	45
3.4.3.1	Skleraspornwinkel .....	45
3.4.3.2	Vorderkammerwinkel .....	46
3.4.3.3	Pachymetrie .....	47
3.4.3.4	Vorderkammertiefe .....	47
3.4.3.5	Sickerkissendicke .....	48
3.4.3.6	Descemetfenster .....	48
3.4.3.7	Sklerakanalikuläre Distanz .....	48
<b>3.5</b>	<b>Besonderheiten und Komplikationen.....</b>	<b>49</b>
3.5.1	Intraoperativ .....	49
3.5.2	Postoperativ .....	49
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>IOD-Entwicklung.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2</b>	<b>Visus-Entwicklung.....</b>	<b>59</b>
<b>4.3</b>	<b>Morphologische Darstellung mittels SL-OCT.....</b>	<b>60</b>
<b>4.4</b>	<b>Komplikationen.....</b>	<b>64</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>66</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>69</b>
<b>8</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>73</b>
<b>9</b>	<b>Danksagungen.....</b>	<b>74</b>
<b>10</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>75</b>
<b>11</b>	<b>Publikationen .....</b>	<b>76</b>

# **1 Einleitung**

## ***1.1 Das Glaukom***

### **1.1.1 Zahlen und Fakten**

Das Glaukom, im Volksmund auch „grüner Star“ genannt, ist nach der diabetischen Retinopathie die zweithäufigste Erblindungsursache in entwickelten Ländern (Lang, 2008). Derzeit beziffert sich laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) der Anteil der Erblindungen aufgrund einer chronisch glaukomatösen Erkrankung weltweit auf 4,5 Millionen Menschen (<http://www.who.int/blindness/causes/priority/en/index7.html>). In Deutschland sind aktuell rund 950.000 Menschen an einem Glaukom erkrankt, von denen jährlich rund 2000 Patienten erblinden (<http://cms.augeninfo.de/nc/hauptmenu/presse/statistiken/statistik-glaukom.html>). Im Jahre 2008 betragen in Deutschland laut Statistischem Bundesamt die Krankheitskosten für die Diagnosegruppen ICD 40-42 431 Mio. Euro ([www.gbe-bund.de](http://www.gbe-bund.de)).

### **1.1.2 Einteilung und Pathophysiologie des Glaukoms**

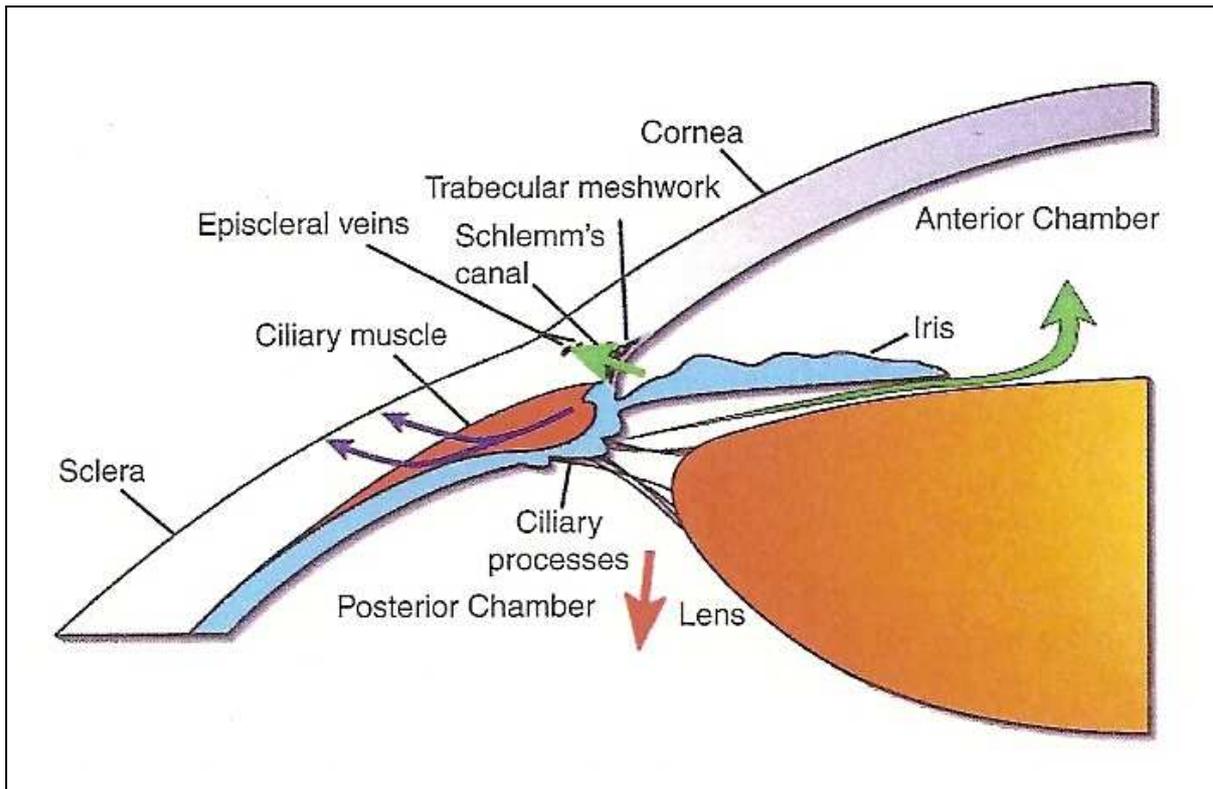
Als Glaukom bezeichnet man eine neurodegenerative Erkrankung, welche zu charakteristischen morphologischen Veränderungen der Papilla nervi optici und der retinalen Nervenfaserschicht führt (EGS, 2008). Mit über 90% aller Glaukome ist das primäre Offenwinkelglaukom (pOWG) die häufigste Glaukomart, bei der ein individuell zu hoher Augeninnendruck zu einer Schädigung der Nervenfasern und in der Folge zu Gesichtsfelddefekten führt (Lang et al., 2008). Laut Leitlinien des Berufsverbandes der Augenärzte Deutschlands e.V. und der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft e.V. ist das pOWG definiert als ein unbehandelter Augeninnendruck (IOD) von über 21mmHg, der glaukomtypische Gesichtsfeldschäden nach sich zieht. Weitere Charakteristika des pOWG sind ein Erkrankungsbeginn im Erwachsenenalter und ein offener, anatomisch unauffälliger Vorderkammerwinkel. Das Normaldruckglaukom (LTG, low tension glaucoma) mit Werten unter 21 mmHg ist eine Sonderform des Offenwinkelglaukoms mit ebenfalls offenem Kammerwinkel. Aufgrund des negativen Verhältnisses von IOD und

lokalem Perfusionsdruck kommt es zu einem Schaden der Nervenfasern. Dieser Schaden wird mit zunehmender Ausprägung als Exkavation der Papille (Cup-disk-ratio) und als Ausfall während der Gesichtsfeldmessung sichtbar. Beim Pigmentdispersionsglaukom (PDG) kommt es zu einer Pigmentabschilferung von der Irisrückfläche. Dieses Pigment führt zu einer Überfrachtung und Störung des Abflusssystems. Ähnlich verhält es sich beim Pseudoexfoliationsglaukom (PEX), bei dem ein abnormes fibrillo-granuläres Protein im Auge produziert wird und sich im trabekulären Maschenwerk (TMW) absetzt und somit den Kammerwasserabfluss zusehends behindert und in der Folge zu einem erhöhten IOD führt (European Glaucoma Society, 2008). Beide Glaukomunterarten werden als sekundäre Offenwinkelglaukome bezeichnet, die dem primär chronischen Offenwinkelglaukom in Diagnostik und Therapie nahe stehen (Grehn, 2011).

Im Gegensatz zum Offenwinkelglaukom besteht beim Engwinkelglaukom eine Abflussbarriere aufgrund der Verlegung des Kammerwinkels bei anatomisch engen Winkelverhältnissen oder sekundär aufgrund einer großen reifen Linse.

Der IOD ergibt sich aus einer fein abgestimmten Balance zwischen der Kammerwasserproduktion des Corpus ciliare und dem Kammerwasserabfluss über das Trabekelmaschenwerk (TMW), Schlemm Kanal (SK), Kollektorkanäle und venösem System. Ein geringerer Teil des Kammerwasserabflusses erfolgt über den uveoskleralen Abfluss.

Abbildung 1 zeigt ein schematisches Bild des Kammerwasserabflusses. Der lange grüne Pfeil stellt den Weg des Kammerwassers von seinem Produktionsort, dem Ziliarkörper, zwischen Linse und Iris durch die Pupille hindurch in die Vorderkammer dar. Die weiteren Pfeile in der Abbildung zeigen die verschiedenen Wege, die das Kammerwasser nehmen kann, wobei der grüne Pfeil den Hauptabflussweg des Kammerwassers über das TMW und den SK in die episkleralen Venen darstellt. Die blauen Pfeile zeigen den uveoskleralen Abfluss des Kammerwassers, welches im Kammerwinkel vom Ziliarkörper reabsorbiert wird.



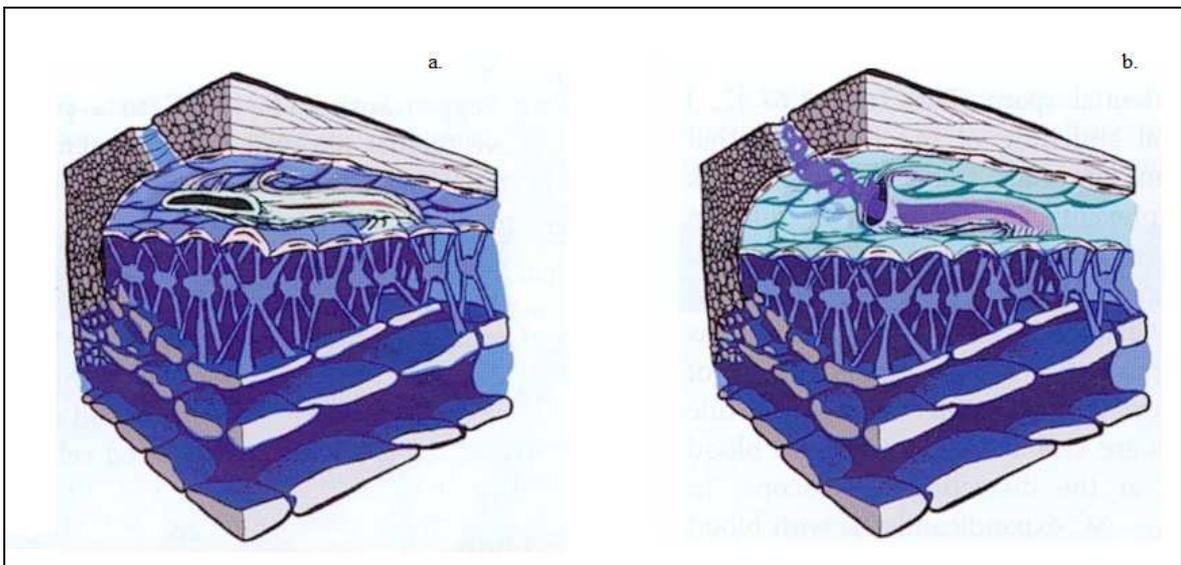
**Abbildung 1** Abfluss und Drainage des Vorderkammerwassers (aus: Toris et al., 2007)

Abbildung 2 zeigt die histologische Struktur des TMWs und des SKs, welche in Abbildung 1 vom kurzen grünen Pfeil verdeckt werden.



**Abbildung 2** Histologie des TMWs (aus: Lang, 2008)

Die beim Glaukom auftretende Erhöhung des IOD beruht vor allem auf der Störung des Kammerwasserabflusses, aufgrund eines Kollabierens der Kollektorkanäle und des TMW. Der Pathomechanismus ist in Abbildung 3a veranschaulicht. Durch einen erhöhten IOD kommt es zu einer Verengung des SKs und folglich zu einem behinderten Abfluss des Kammerwassers.



**Abbildung 3** a. Verengter SK, b. aufgerichteter SK (aus: Johnstone, 1974)

Abbildung 3b zeigt wie sich der SK durch abnehmenden IOD wieder aufrichtet und somit einen besseren Abfluss des Vorderkammerwassers gewährleisten kann. Der therapeutische Ansatz der Kanaloplastik steht in engem Zusammenhang mit diesem Effekt und wird im Laufe dieser Arbeit noch eingehend erläutert.

## 1.2 Therapie des Glaukoms

### 1.2.1 Medikamentöse Therapie

Bei der medikamentösen Behandlung des pOWG handelt es sich um eine Stufentherapie. Zunächst werden die in Tabelle 1 aufgeführten Einzelwirkstoffe lokal appliziert und deren drucksenkende Effekte festgestellt. Sollte dies nicht ausreichen, werden Wirkstoffkombinationen angewendet.

	<b>Betablocker</b> Timolol	<b>Prostaglandin- derivate</b> Bimatoprost Latanoprost Travoprost	<b><math>\alpha_2</math>-Agonisten</b> Clonidin	<b>Karboanhydrase- hemmer</b> Brinzolamid Clonidin
Wirkung am Auge	Senkung Kammerwasser- produktion	Steigerung Kammerwasser- abfluss	Senkung Kammerwasser- produktion	Senkung Kammerwasser- produktion
Lokale Nebenwirkungen	- Allergie (+) - konjunktivale Hyperämie (+)	- Allergie (+) - konjunktivale Hyperämie + bis ++ - Hypertrichosis + bis +++ - Irisverfärbung: ++ bis +++ - Uveitis: + bis +++	- Allergie ++ - konjunktivale Hyperämie + bis ++	- Allergie (+) - Hypertrichosis (+)
Systemische Nebenwirkungen	- Bronchokonstriktion - Müdigkeit		- Müdigkeit - Trockener Mund	

**Tabelle 1** Überblick über die derzeit gängigen lokalen und systemischen Wirkstoffe, deren Wirkungsort und Nebenwirkungsprofil (abgewandelt aus: Karow und Lang-Roth, 2011)

Das häufigste Problem bei topischer Anwendung der Antiglaukomatosa liegt in der Entwicklung allergischer Reaktionen, zumeist auf die enthaltenen Konservierungsmittel oder den Wirkstoff selbst. Nebenwirkungen und die Applikation von mehreren Augentropfen in einem festgelegten Tagesschema verringern die Compliance des Patienten und den Therapieerfolg (Olthoff et al., 2005; Sbeity und Baydoun, 2009). Nicht selten kommt es im Verlauf der Langzeittherapie zu einem Wirkversagen mit unzureichender IOD-Senkung und zunehmenden Gesichtsfeldausfällen.

Wenn die medikamentöse Therapie nicht ausreichend ist, es zu einer der oben genannten Unverträglichkeitsreaktionen kommt oder aber eine mangelnde Compliance vorliegt, ist die Indikation zu invasiven Maßnahmen gegeben.

### **1.2.2 Lasertherapie**

Bei offenem, gut pigmentiertem Kammerwinkel kann eine Laserbehandlung durchgeführt werden. Hierbei werden zwischen 50 und 100 Laser-Herde in das TMW gesetzt und somit dessen Auflockerung und in Folge ein verbesserter Abfluss des Kammerwassers erzielt. Es werden zwei verschiedene Lasertechniken angewandt: Bei der Argon-Lasertrabekuloplastik (ALT), wird über eine thermische koagulative Schrumpfung von kollagenem Material eine Aufdehnung des umgebenden TMWs bewirkt. Eine schonendere Alternative zur ALT stellt die selektive 532-nm-Neodymium-YAG-Lasertrabekuloplastik (SLT) dar. Bei dieser Methode wirken ultrakurze Laserimpulse selektiv auf die pigmentierten melaninhaltigen Zellen im TMW, ohne thermische Energie auf das umliegende Gewebe freizusetzen. Gemeinsam ist diesen beiden Methoden, dass sie für den Patienten weitgehend schmerzlos sind und sich durch sehr niedrige Komplikationsraten auszeichnen (Lang, 2008). Untersuchungen haben gezeigt, dass diese beiden Methoden für den Zeitraum von zwölf Monaten den IOD im Mittel um 1,7 bis 2,1 mmHg, entsprechend 7,9 bis 9,4%, senken. (Best et al., 2007)

### **1.2.3 Chirurgische Therapie**

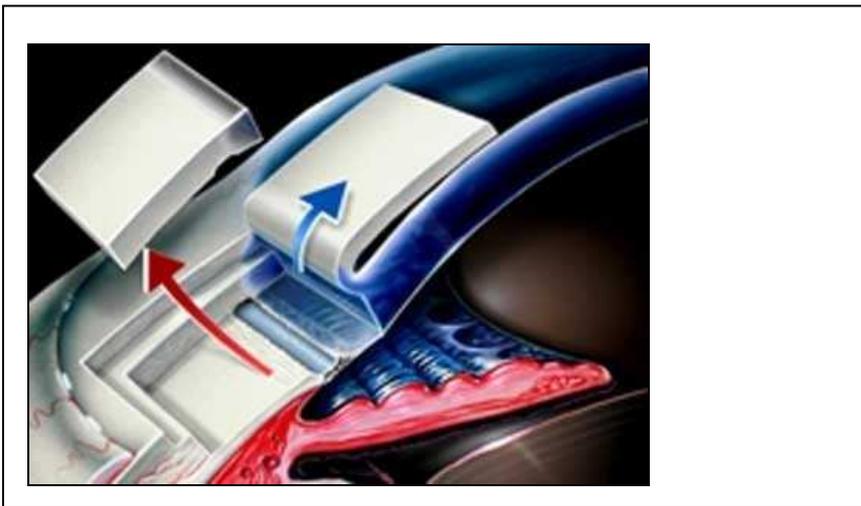
Die chirurgische Therapie des pOWG unterscheidet zwei grundsätzliche unterschiedliche Prinzipien: die fistulierende Operation mit der Trabekulektomie als bisheriger Goldstandard und die nicht-fistulierende Operation, mit der Kanaloplastik als aktuelle Therapieform. Daneben gibt es verschiedene Shunt-Systeme, wie der suprachoroidale Shunt (Cypass) oder Drainagesysteme mit und ohne Abflussventil.

Bei der Trabekulektomie wird ein künstlicher Abfluss des Kammerwassers unter der Bindehaut in Form eines Filtrationskissens geschaffen (Lang, 2008; Matthaei et al., 2011). Lange Zeit galt diese Operation als Goldstandard, dennoch weist sie deutliche frühe und späte Komplikationen auf (exzessive postoperative Filtrationen, Abhebung der Choroidea,

Hyphäma, Infektionen des Filterskissens, Endophthalmitis, Filterkissenvernarbung, IOD-Anstieg) (Yalvac et al., 2004; Matthaei et al., 2011). Eine intensive postoperative Nachsorge mit frühen und späten zahlreichen Gaben von Antimetaboliten (5-Fluoruracil) ist nötig, um die filtrationsbehindernde Vernarbung zu vermindern (Khalili et al., 2000). Wegen der oben genannten vielen potenziellen Komplikationen und der umfangreichen und zeitaufwendigen Nachbeobachtung war die Suche nach weiteren therapeutischen Optionen notwendig.

### 1.3 Historie der Kanaloplastik

Im Jahre 1968 wurde erstmals von Mikhail Mikhailovich Krasnov eine Studie zum Verfahren der nicht penetrierenden tiefen Sklerektomie durchgeführt. Leider wies diese Studie einige methodische Mängel auf, weswegen v.a. Fjodorov et al. die Pionierarbeit an diesem Vorgänger der Kanaloplastik zugeschrieben wird. Bei diesem Verfahren wird, nach Präparation eines oberflächlichen Skleralappens, ein tiefer Skleralappen exzidiert und ein Descemetfenster kreiert. Danach folgt die Entdachung des SKs über seine freiliegende Länge. Über das offene Lumen des SKs, des Descemetfensters mit seinem semipermeablen Abfluss des Kammerwassers und den durch Exzision entstandenen Hohlraum in der Sklera kann Kammerwasser besser abfließen und so den IOD senken (Krasnov, 1968; Fyodorov et al., 1984; Niegel und Körber, 2012). Abbildung 4 veranschaulicht das Prinzip dieser Operation.



**Abbildung 4** Prinzip der tiefen Sklerektomie:  
→ aufgeklappte äußere Skleralamelle, → exzidiertes Bereich  
(aus: <http://www.staar.com/html/aquaflow.html>)

Eine Weiterentwicklung der tiefen Sklerektomie ist die von Stegmann et al. 1999 erstmals vorgestellte Viskokanalostomie (Stegmann et al., 1999). Auch bei dieser Operation werden ein oberflächlicher und tiefer Skleralappen präpariert, ein Descemetfenster kreiert und anschließend der SK eröffnet. Im Unterschied zur tiefen Sklerektomie führte Stegmann die zusätzliche Injektion eines hochviskösen Viskoelastikums in den SK-Kanal als weiteres chirurgisches Prinzip ein. Hierbei wird hochvisköses Viskoelastikum in die Öffnungen des SKs mit einer 50 µm Kanüle eingebracht. Die Reichweite der Kanüle ist auf circa eine

Uhrzeit begrenzt und das Viskoelastikum kann sich nur in unmittelbarer Umgebung ausbreiten. Hiermit wurde erstmals der SK als wichtiger Wirkort identifiziert. Zwar ist bei beiden Verfahren die Komplikationsrate deutlich geringer, als bei fistulierenden Eingriffen, jedoch waren die Langzeitergebnisse sehr variabel und der Drucksenkung durch die Trabekulektomie unterlegen (O'Brart et al., 2004; Yalvac et al., 2004; Carassa et al., 2003; Lewis et al., 2009).

Aus der erfolgreichen Viskokanalostomie in den Händen von Robert Stegmann entwickelte dieser 2007 die Kanaloplastik. Zusätzlich zur vorbeschriebenen Erweiterung der Öffnungen des SKs mit Viskoelastikum wird hierbei mit einem 250 µm Katheter eine 360 Grad Viskodilatation des SKs durchgeführt. Hierdurch wird eine zirkuläre Viskodilatation erreicht und eine Erweiterung des Abflusssystems generiert. Zur Aufrechterhaltung der Öffnung des SKs wird ein 10-0 Prolenefaden 360 Grad in den SK eingezogen und durch zentripetale Fadenspannung eine dauerhafte Öffnung erreicht. Zusätzlich kommt es durch das geschaffene Descemetfenster zu einer Perkolation mit zusätzlich drucksenkendem Effekt (Cameron et al., 2006; Shingleton et al., 2008; Lewis et al., 2011; Körber, 2012).

#### ***1.4 Morphometrie am vorderen Augenabschnitt***

Es existiert eine Vielzahl von ophthalmologischen Geräten, die zur Analyse des vorderen und des hinteren Augenabschnittes herangezogen werden können. Die von der Firma Oculus entwickelte Pentacam<sup>®</sup> vermisst mithilfe einer rotierenden Scheimpflug-Kamera den vorderen Augenabschnitt. Mit diesem System kann innerhalb von zwei Sekunden ein Überblick über die Hornhautdicke, die Vorderkammertiefe und den Vorderkammerwinkel gegeben werden (Auffarth et al., 2008).

Ein weiteres Diagnosemittel, welches der modernen Ophthalmologie aufschlussreiche Bildgebung liefert, ist die Optische Kohärenztomographie (OCT). Diese wird, wie die Scheimpflugkamera, in der Glaukomdiagnostik zur Beurteilung der Morphologie des vorderen Augenabschnittes eingesetzt. Die Vorteile der OCT liegen in der spezifischeren Darstellbarkeit der Kammerwinkelstrukturen. Das von uns verwendete Gerät zur Visualisierung der Kammerwinkelstrukturen ist das Spaltlampenadaptierte OCT (SL-OCT), bei dem neben der normalen Untersuchung an der Spaltlampe, dem Standarduntersuchungsgerät des Augenarztes zur Beurteilung des vorderen Augenabschnittes, zusätzlich ein Querschnittsbild erstellt werden kann. Neben dem Visante<sup>®</sup>-OCT (Zeiss Meditec, Jena), ist das SL-OCT eines von derzeit zwei kommerziellen Vorderabschnitts-Geräten, das für die axiale Darstellung von Vorderkammerstrukturen besonders geeignet ist und im Vergleich zusätzlich den Vorderabschnitt des Auges darstellt, während das Visante-OCT als stand-alone Gerät lediglich zur Morphometrie dient. Beide Systeme verwenden eine Lichtquelle von 1310 nm, welche die Darstellung des vorderen Augenabschnitts ermöglicht. Das Vorderabschnitts-OCT dient zur Hornhautdickenmessung (Pachymetrie), zur Messung der Vorderkammertiefe, des Vorderkammerwinkels, zur Irisdarstellung und zur Linsenevaluation sowie zur postoperativen Befundung verschiedener Glaukomoperationen. Bei der SL-OCT-Untersuchung nimmt der Patient eine Position wie vor einer klassischen Spaltlampe ein. Der Untersucher sitzt hinter dem Gerät und fotografiert die axiale Ausdehnung der Vorderkammer mittels eines sichtbaren Lichtstrahls, der manuell um 360 Grad drehbar ist.

Der überragende Vorteil dieser Technik liegt darin, dass im Gegensatz zur weitläufig angewandten Ultraschall-Methode, bei welcher der Ultraschallkopf direkt auf das Auge aufgesetzt werden muss, eine berührungsfreie Anwendung möglich ist. Neben der größeren

Patientenfreundlichkeit und einfacheren Bedienung durch den Untersucher ist bei der no-touch-Technik besonders postoperativ das Entzündungsrisiko minimiert.

Die Reproduzierbarkeit dieses Verfahrens ist dem der Ultraschalltechnik gleichwertig (Viestenz, et al. 2009, Dinc et al., 2010b) und macht es somit auch zur einem hervorragenden Instrument zur prä- und postoperativen Untersuchung von Vorderkammerstrukturen im Rahmen von Studien.

## ***1.5 Fragestellung***

Als noch junge Operationsmethode ist die Kanaloplastik derzeit Gegenstand zahlreicher klinischer Studien um den genauen Wirkmechanismus, Komplikationen und deren Wirkprofil zu evaluieren.

Ziel dieser Arbeit ist die morphometrische Evaluation der Kammerwinkelstrukturen und deren Beeinflussung durch die Kanaloplastik und Phako-Kanaloplastik bei Patienten mit primärem Offenwinkelglaukom (pOWG), Normaldruckglaukom (LTG), Pseudoexfoliationsglaukom (PEX) und Pigmentdispersionsglaukom (PDG).

Das besondere Augenmerk liegt hierbei auf der morphologischen Darstellung sämtlicher relevanter Vorderkammerstrukturen und deren Veränderung nach Intervention und der Identifikation prognostisch wichtiger Faktoren. Hierzu sollen fünf verschiedene Dicken- bzw. Längenmessungen durchgeführt werden: die Hornhautdicke (Pachymetrie), die Vorderkammertiefe (ACD), das Descemetfenster, die Sklerakanalikuläre Distanz (SCD) sowie die Sickerkissendicke. Besonders zwei verschiedene Vorderkammerwinkel sind von zentralem Interesse, die Einfluss auf die Wirksamkeit der Intervention haben könnten: der Skleraspornwinkel (TDA) und der Irido-trabekuläre Distention Angle (IDA). Mit dem SL-OCT steht hierfür eine effektive, reproduzierbare und patientenfreundliche Methode der Überprüfung dieser Parameter zur Verfügung.

Als Erfolgsparameter der Kanaloplastik gilt der intraokulare Druck (IOD), welcher im Langzeitverlauf evaluiert wird. Das Komplikationsspektrum soll erfasst werden und das Sehvermögen im Verlauf beobachtet werden.

Folgende Fragestellungen sollen in dieser Arbeit beantwortet werden:

1. IOD-Senkung: Um wieviel kann der IOD durch Kanaloplastik bzw. Phako-Kanaloplastik im Langzeitverlauf von 2 Jahren gesenkt werden?
2. Visusergebnisse: Sind Veränderungen des Visus nach Kanaloplastik bzw. Phako-Kanaloplastik im Verlauf von sechs Monaten zu erwarten?
3. Morphometrie: Weisen die oben genannten morphologischen Strukturen des vorderen Augenabschnittes Veränderungen auf, die die IOD-Senkung durch Kanaloplastik bzw. Phako-Kanaloplastik erklären und als prognostische Parameter dienen?
4. Komplikationen: Wie gestaltet sich das Komplikationsspektrum von Kanaloplastik und Phako-Kanaloplastik?

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Patienten und Studienaufbau

In unserer prospektiven konsekutiven Datenerhebung wurden ab September 2009 bis August 2011 ursprünglich 87 Augen in die Studie eingeschlossen, die entweder mittels Kanaloplastik oder Phako-Kanaloplastik behandelt wurden. Von den ursprünglich 87 eingeschlossenen Patienten konnte aufgrund eines Datenverlustes in der SL-OCT-Archivierung bei nur 47 Patienten ein komplettes Follow-up erfolgen. In die Studie eingeschlossen wurden Patienten mit Progression des Gesichtsfelddefektes, unzureichender medikamentöser IOD-Regulierung bzw. Medikamentenunverträglichkeit oder mangelnder Compliance mit pOWG (n=34), PEX (n=8), LTG (n=1) und PDG (n=4). Erfolgte bei einem Patienten in diesem Zeitraum Operationen an beiden Augen, wurde nur ein Auge für die Datenanalyse berücksichtigt.

Bei allen Patienten wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Pentacam-Untersuchung mit den Parametern: Keratometer, Hornhautdicke, Astigmatismus
- IOD-Messung nach Goldmann
- Visus
- SL-OCT mit den Dickenmessungen für: Hornhautdicke, Vorderkammertiefe (Anterior Chamber Depth, ACD), Sickerkissendicke, Descemetfenster und Sklerakanalikuläre Distanz (SCD).
- SL-OCT mit den Winkelmessungen für: Slerasporiwinkel (Trabecular Distention Angle, TDA) und Vorderkammerwinkel (Irido-Trabecular Distention Angle, IDA)

Die Untersuchungen erfolgten:

- präoperativ
- einen Tag postoperativ
- einen Monat postoperativ
- drei Monate postoperativ

- sechs Monate postoperativ.

Bei einem Großteil der Patienten konnte die IOD-Entwicklung auch nach Abschluss der 6 Monate bis zu zwei Jahre postoperativ verfolgt werden.

## ***2.2 Operatives Vorgehen***

Vier Wochen vor der Operation wurde die antiglaukomatöse Lokaltherapie beidseits abgesetzt und mit Azetazolamid (Diamox® Goldshield Pharmaceuticals) systemisch in der Dosierung 2-4 x 250 mg per os substituiert.

Alle Operationen wurden unter Vollnarkose von derselben erfahrenen Operateurin durchgeführt. Nach fornixständiger Eröffnung der Konjunktiva im nasal superioren Quadranten erfolgte eine Markierung mit dem Kearney Parabolic Marker zur reproduzierbaren Größe (5x5mm) des parabelförmigen Skleradeckels mit einer Inzisionstiefe von 300µm. Die Präparation des parabelförmigen oberflächlichen Skleralappens erfolgte über die Blau-Weiß-Grenze hinaus bis in die gefäßfreie Cornea. Dieser wurde zurückgeklappt und darunter ein tieferer, kleinerer, innen liegender Skleralappen in maximaler Skleratiefe bis suprachoroidal in der Tiefe und nach anterior bis zum TMW präpariert. Bei einer Phako-Kanaloplastik wurde zu diesem Zeitpunkt eine microinzisionale Phakoemulsifikation und Implantation einer Kunstlinse (micro-incisional cataract-surgery, mics) durch zwei Parazentesen mit einer Schnittgröße von je 1,8 mm durchgeführt. Danach erfolgte die Herstellung eines Descemetfensters, indem der tiefe Skleralappen in die Cornea in maximaler Tiefe bis oberhalb der Descemetmembran nach anterior sehr vorsichtig präpariert wurde. Der so entstandene tiefe sklerocorneale Lappen wurde corneal im Sinne einer tiefen Sklerektomie abgetrennt. Falls noch nicht mit der Präparation geschehen, erfolgte nun die Entdachung des SKs. Die exponierten Ostien des SKs wurden mit einer 50 µm Viskokanalostomie-Mikrokanüle mit Viskoelastikum (Healon GV, Abbott Medical Optics, Germany) dilatiert. Mit einem flexiblen Mikrokatheter (iTrack™ 250A iScience Interventional, Menlo Park, CA, USA) mit einem 200 µm Schaft, atraumatischer, illuminierbarer Spitze und einem Durchmesser von 250 µm erfolgte die Katheterisierung des SKs über 360 Grad. Nach Adaptation von zwei Prolene 10,0 Fäden an die Katheterspitze wurde der Katheter unter Dilatation des SKs wieder

zurückgezogen. Hierbei wurde durch den Schaft des Mikrokatheters kontrolliert und dosiert Viskoelastikum abgegeben. Die Prolenefäden folgten in den SK und befanden sich nach Entfernung des Katheters 360 Grad im SK. Die Fäden wurden mittels Zugknoten unter deutlicher Spannung adaptiert. Der nun entstandene subsklerale See wurde mit Healon GV gefüllt und der oberflächliche Skleralappen mit 10-0 Vicryl-Einzelknopfnähten wasserdicht verschlossen. Die Konjunktiva wurde mit versenkten 10-0 Vicryl-Einzelknopfnähten adaptiert.

Die postoperative Therapie bestand in der topischen, konservierungsmittelfreien Applikation von Dexamethason, Diclofenac und Ofloxacin 5x täglich, wobei alle 2 Wochen um einen Tropfen reduziert wurde und Ofloxacin nach 2 Wochen abgesetzt wurde. Eine medikamentöse Mydriasis wurde in den ersten 4 Wochen postoperativ untersagt.

### ***2.3 Intraokularer Druck (IOD)***

Alle IOD-Messungen wurden vom ärztlichen Personal der Universitätsaugenklinik Lübeck mittels Applanationstonometrie nach Goldmann durchgeführt.

Beim präoperativen Intraokularer Druck wurde jeweils der höchste gemessene Wert herangezogen, der im Monitoringzeitraum vor der Operation gemessen worden war.

Die postoperativen Messungen wurden einen Tag postoperativ, sowie einen, drei und sechs Monate nach Intervention durchgeführt. Somit erfolgten die statistischen Auswertungen auf Grundlage einer 6-monatigen Verlaufskontrolle. Bezüglich der IOD-Entwicklung wurden auch Daten nach 12 und 24 Monaten aufgenommen und ausgewertet, welche aber wegen ihrer jeweils geringeren Fallzahlen nicht mit einem verbundenen T-Test ausgewertet worden sind.

## 2.4 Visus

Zu allen Zeitpunkten wurde der bestkorrigierte Visus in Dezimalstellen erhoben und für die statistische Auswertung in logMAR umgerechnet. Tabelle 2 soll einen Vergleich zwischen den besser bekannten arithmetischen Visus-Werten und den logarithmischen logMAR-Werten wiedergeben:

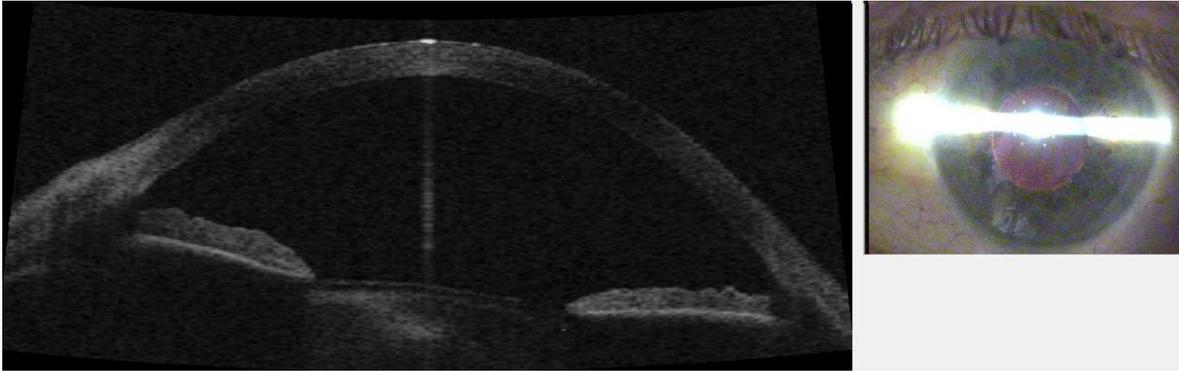
**Visual Acuity Conversion Chart**

Line Number	Distance										Near			
	Visual Angle (min)	Spatial Frequency (Cyc/deg)	LogMAR	% Central Visual Efficiency	Snellen Equivalent			% Central Visual Efficiency	Inches (14/)	Centimeters (35/)	Revised			
					Feet 20/	Meter 6/	Decimal				Jaeger Standard	American Point-Type	"M" Notation	
-3	0.50	60.00	-0.30	100	10	3.0	2.00	100	7.0	17.5	-	-	0.20	
-2	0.63	48.00	-0.20	100	12.5	3.8	1.60	100	8.8	21.9	-	-	0.25	
-1	0.80	37.50	-0.10	100	16	4.8	1.25	100	11.2	28.0	-	-	0.32	
0	1.00	30.00	0.00	100	20	6.0	1.00	100	14.0	35.0	1	3	0.40	
1	1.25	24.00	0.10	95	25	7.5	0.80	100	17.5	43.8	2	4	0.50	
-	1.50	20.00	0.18	91	30	9.0	0.67	95	21.0	52.5	3	5	0.60	
2	1.60	18.75	0.20	90	32	9.6	0.63	94	22.4	56.0	4	6	0.64	
3	2.00	15.00	0.30	85	40	12.0	0.50	90	28.0	70.0	5	7	0.80	
4	2.50	12.00	0.40	75	50	15.0	0.40	50	35.0	87.5	6	8	1.0	
-	3.00	10.00	0.48	67	60	18.0	0.33	42	42.0	105.0	7	9	1.2	
5	3.15	9.52	0.50	65	63	18.9	0.32	40	44.1	110.3	8	10	1.3	
-	3.50	8.57	0.54	63	70	21.0	0.29	32	49.0	122.5	-	-	1.4	
6	4.00	7.50	0.60	60	80	24.0	0.25	20	56.0	140.0	9	11	1.6	
7	5.00	6.00	0.70	50	100	30.0	0.20	15	70.0	175.0	10	12	2.0	
-	5.70	5.26	0.76	44	114	34.2	0.18	12	79.8	199.5	11	13	2.3	
8	6.25	4.80	0.80	40	125	37.5	0.16	10	87.5	218.8	12	14	2.5	
-	7.50	4.00	0.88	32	150	45.0	0.13	6	105.0	262.5	-	-	3.0	
9	8.00	3.75	0.90	30	160	48.0	0.13	5	112.0	280.0	13	21	3.2	
10	10.00	3.00	1.00	20	200	60.0	0.10	2	140.0	350.0	14	23	4.0	
11	12.50	2.40	1.10	17	250	75.0	0.08	0	175.0	437.5	-	-	5.0	
-	15.00	2.00	1.18	16	300	90.0	0.07	0	210.0	525.0	-	-	6.0	
12	16.00	1.88	1.20	15	320	96.0	0.06	0	224.0	560.0	-	-	6.4	
13	20.00	1.50	1.30	10	400	120.0	0.05	0	280.0	700.0	-	-	8.0	
16	40.00	0.75	1.60	5	800	240.0	0.03	0	560.0	1400.0	-	-	16.0	
20	100.00	0.30	2.00	0	2000*	600.0	0.01	0	1400.0	3500.0	-	-	40.0	
30	1000.00	0.03	3.00	0	20000	6000.0	0.001	0	14000.0	35000.0	-	-	400.0	

**Tabelle 2** Visual Acuity Conversion Chart (aus: Holladay, 2004)

## 2.5 Morphologische Darstellung der Vorderkammerstrukturen mittels SL-OCT

Das Bild, welches sich dem Untersucher bei der SL-OCT darstellt, wird in Abbildung 5 gezeigt.



a. **Abbildung 5** a. SL-OCT Übersichtsbild axial, b. Schnittebene des Scans

### 2.5.1 Winkelmessungen

Die Winkelmessungen bilden die Kerndaten der Morphologie von prä- und postoperativen Befunden der Kanalplastik und Phako-Kanaloplastik. Die beiden Winkelmessungen gaben Aufschluss darüber, ob durch die jeweilige Operation der Kammerwinkel verändert wurde.

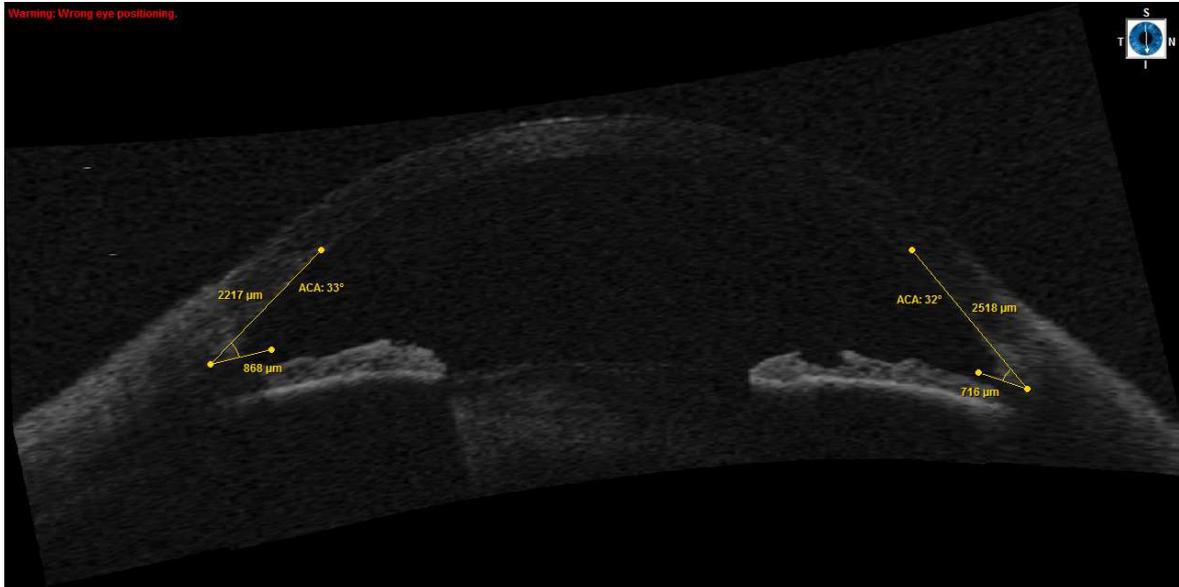
#### 2.5.1.1 Skleraspornwinkel

Der Skleraspornwinkel (Trabecular Distension Angle, TDA) ergibt sich, wie in Abbildung 6 dargestellt, aus der irishnahen Innenseite des Sklerasporns und der Innenseite der Cornea. Die Winkelspitze wurde hier am Sklerasporn angesetzt, der erste Schenkel zum Hornhautendothel auf Höhe des korneoskleralen Überganges und der zweite Schenkel entlang des erweiterten TMWs gelegt. Der gemessene Winkel wurde von der SL-OCT-Software automatisch angezeigt.

Pro Sitzung wurden jeweils zwei Messungen bei jeweils 3 Uhr und 9 Uhr durchgeführt. Somit ergaben sich pro Messtermin vier Werte, aus denen jeweils der Mittelwert für den

TDA errechnet wurde. Die Messung wurde mit einem von der Gerätesoftware betriebenen Winkelmesser durchgeführt.

Der TDA wurde präoperativ, postoperativ, einen, drei und sechs Monate postoperativ gemessen.



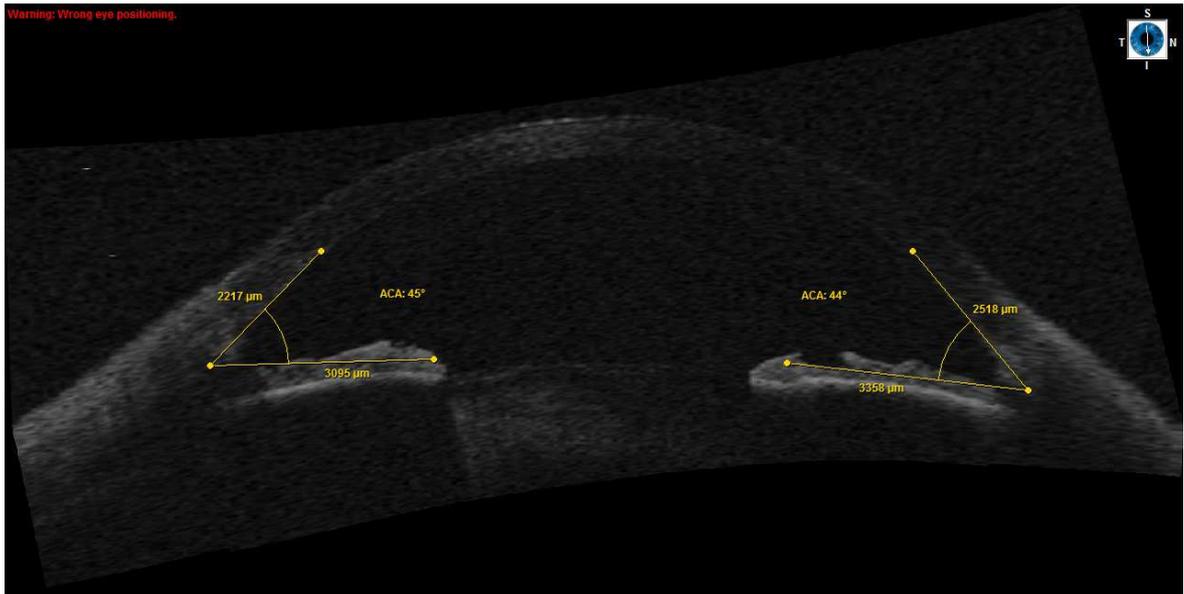
**Abbildung 6** Auswertung des TDA

### 2.5.1.2 Vorderkammerwinkel

Der Vorderkammerwinkel (Irido-Trabecular Distention Angle, IDA) beschreibt den Winkel, mit der Winkelspitze am Sklerasporn, und der superiore Schenkel zum Hornhautendothel auf Höhe des corneoskleralen Übergangs belassen und der inferiore Schenkel auf Irisniveau gezogen, um so den IDA zu erhalten. Dabei wird der inferiore Schenkel parallel zum Irispigmentepithel gezogen, wobei der Schenkel zwischen der Mitte und dem oberen Drittel der axialen Irisausdehnung zu Liegen kommt. Wie in Abbildung 7 gemessene Winkel wurden von der SL-OCT-Software automatisch angezeigt.

Pro Sitzung wurden jeweils zwei Vermessungen bei jeweils 3 Uhr und 9 Uhr durchgeführt. Somit ergaben sich pro Messtermin vier Werte, aus denen jeweils der Mittelwert für den IDA errechnet wurde. Die Messung wurde mit einem von der Gerätesoftware betriebenen Winkelmesser durchgeführt.

Der IDA wurde präoperativ, postoperativ, einen, drei und sechs Monate postoperativ gemessen. Hierbei wurde die Kanaloplastik-Gruppe in eine phake Subgruppe (n = 10) und eine pseudophake Subgruppe (n = 8) unterteilt.



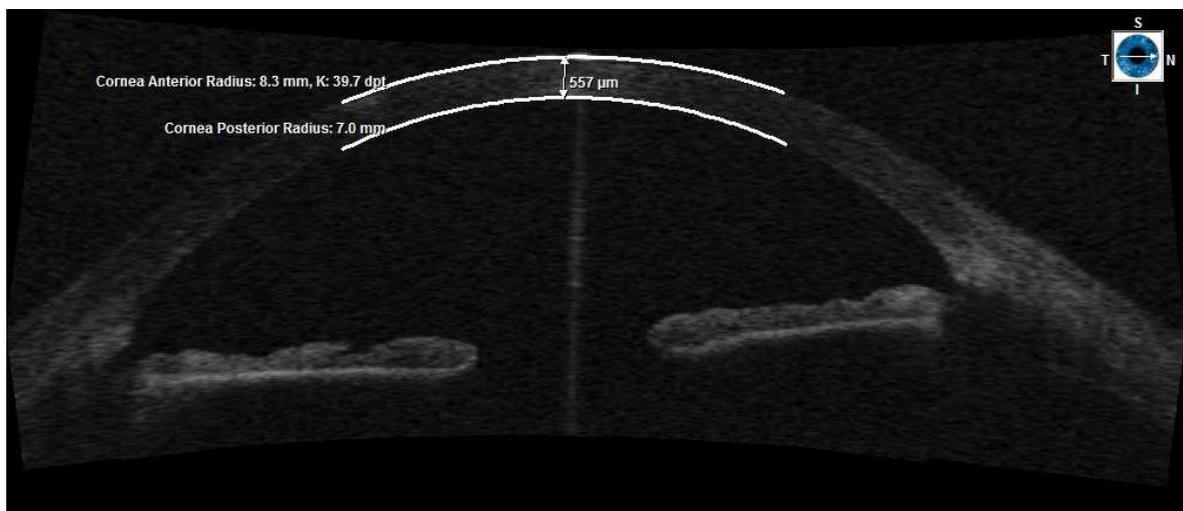
**Abbildung 7** Auswertung des IDA

## 2.5.2 Dickenmessungen

### 2.5.2.1 Pachymetrie

Zur Messung der Corneadicke wurden pro Patient zwei Messungen durchgeführt und der Mittelwert errechnet. Das Messverfahren wurde mittels SL-OCT-Software, wie in Abbildung 8 dargestellt, mit einem automatischen Pachymetrie-Messverfahren durchgeführt.

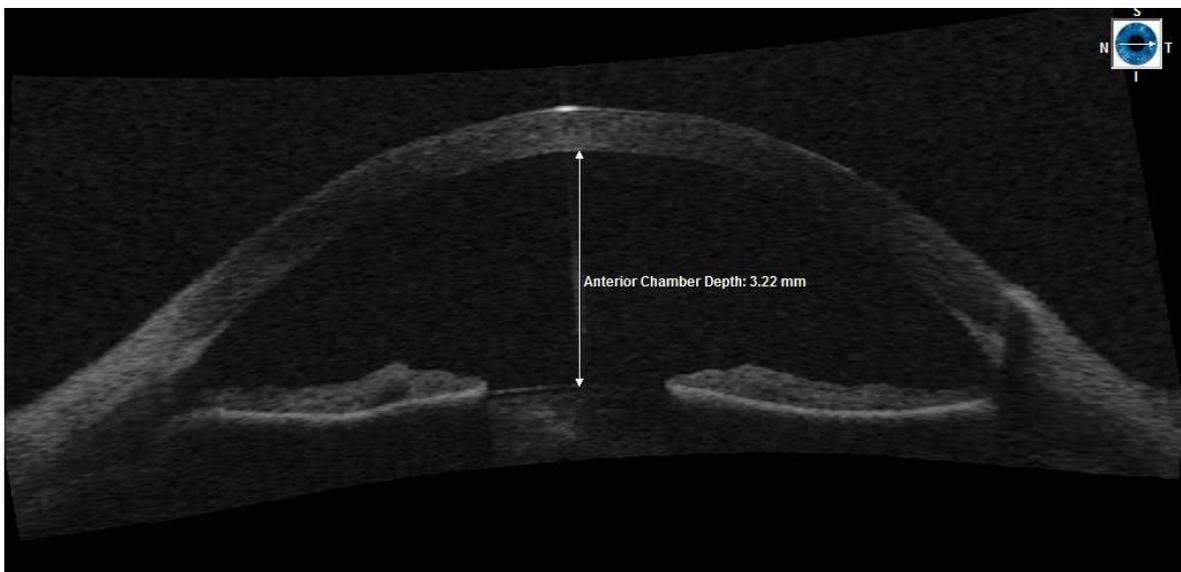
Die Corneadicke wurde bei jedem Patienten präoperativ gemessen.



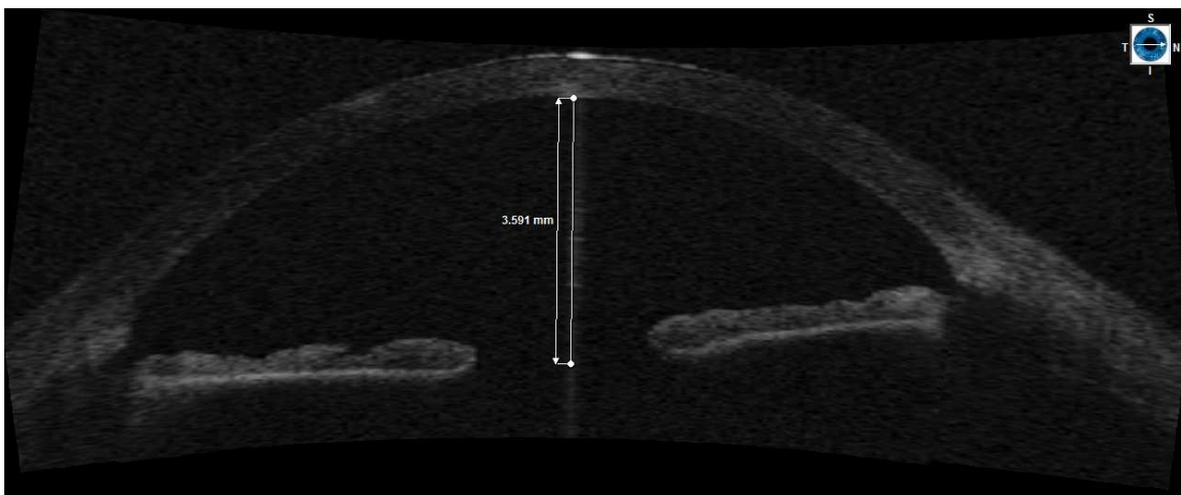
**Abbildung 8** Auswertung der Corneadicke, automatische Messung

### 2.5.2.2 Vorderkammertiefe

Für die Ausmessung der Vorderkammertiefe (Anterior Chamber Depth; ACD) kamen zwei verschiedene Verfahren in Anwendung. Bei phaken Patienten wurde das automatische Messverfahren angewendet, wie in Abbildung 9 dargestellt, indem die Software den Messbereich zwischen der Cornea-Innenseite bis zur Linsenvorderfläche festlegte und durch den Untersucher verifiziert wurde. Bei pseudophaken Patienten reichte der Reflex der Linsenvorderfläche nicht aus, weswegen diese Strecke mit dem Hand-Tool gemessen wurde, wie in Abbildung 10 dargestellt. Auch hier wurden jeweils zwei Bilder vermessen und der Mittelwert bestimmt. Die Ausmessung der ACD erfolgte präoperativ, postoperativ, einen Monat postoperativ, sowie drei und sechs Monate postoperativ.



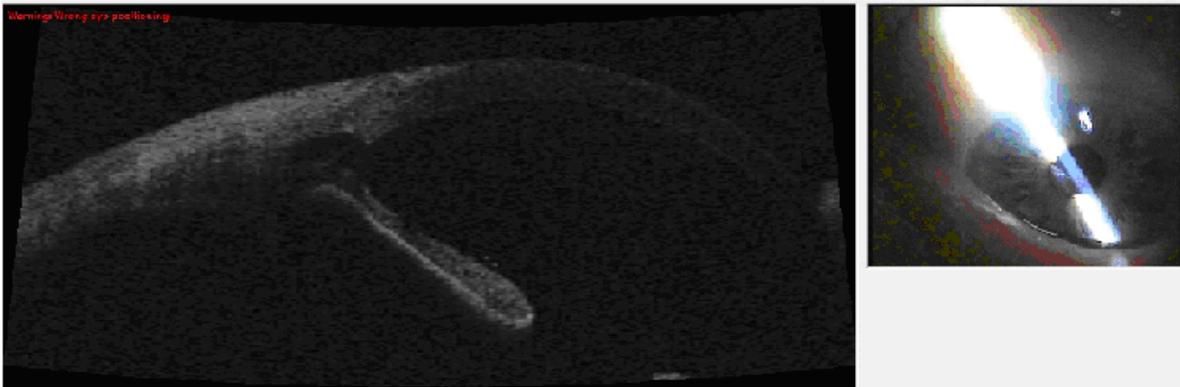
**Abbildung 9** Auswertung der ACD bei einem phaken Patienten (automatische Messung)



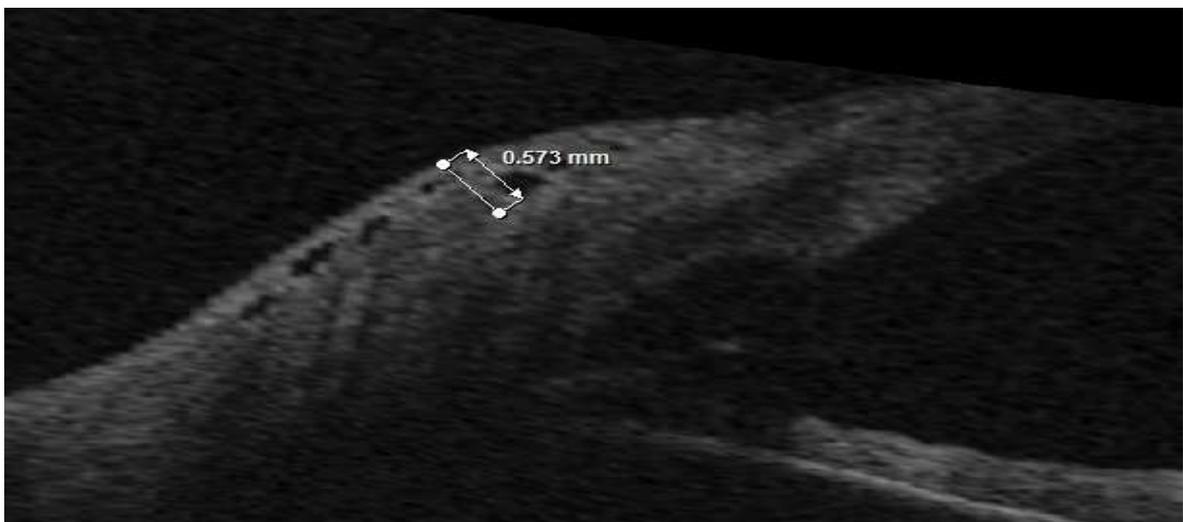
**Abbildung 10** Auswertung des ACD bei einem pseudophaken Patienten (Handmessung)

### 2.5.2.3 Sickerkissendicke

Im Unterschied zu den vorhergehenden SL-OCT-Messungen wurde hier nicht die Übersichtsaufnahme, wie in Abbildung 5 beschrieben, gewählt, sondern jeweils die größte axiale Ausdehnung der parabelförmigen Interventionsstelle aufgesucht; wie es in Abbildung 11 gezeigt ist. Abbildung 12 zeigt die Vermessung mit dem Hand-Tool. Die Sickerkissendicke wurde jeweils nach drei und sechs Monaten vermessen.



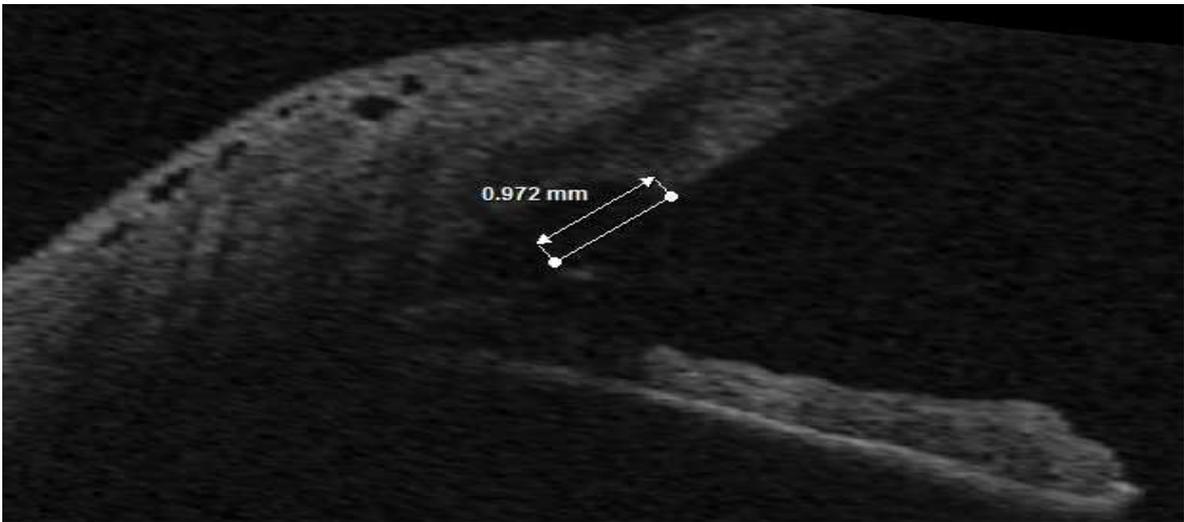
a.  
**Abbildung 11** a. SL-OCT Übersichtsbild axial, b. Schnittebene des Scans



**Abbildung 12** Auswertung der Sickerkissendicke, gemessen mit dem Hand-Tool

#### 2.5.2.4 Descemetfenster

Das Descemetfenster entsteht durch die Exzision des tiefen sklero-cornealen Lappens. Hierbei wird bis über die Blau-Weiß-Grenze hinaus bis in die klare Cornea präpariert und ein schmaler Abschnitt des Corneastromas entfernt, sodass nur die Descemet als Begrenzung nach innen bestehen bleibt. Die radiäre Länge dieser Descemetmembran in der axialen Aufnahme ergibt das Descemetfenster. Wie auch bei der Vermessung der Sickerkissendicke, wird auch für diese Aufnahme die größte axiale Ausdehnung der parabelförmigen Interventionsstelle aufgesucht (siehe Abbildung 13). Für unsere Studie wurde das Descemetfenster einmal sechs Monate nach Intervention vermessen.



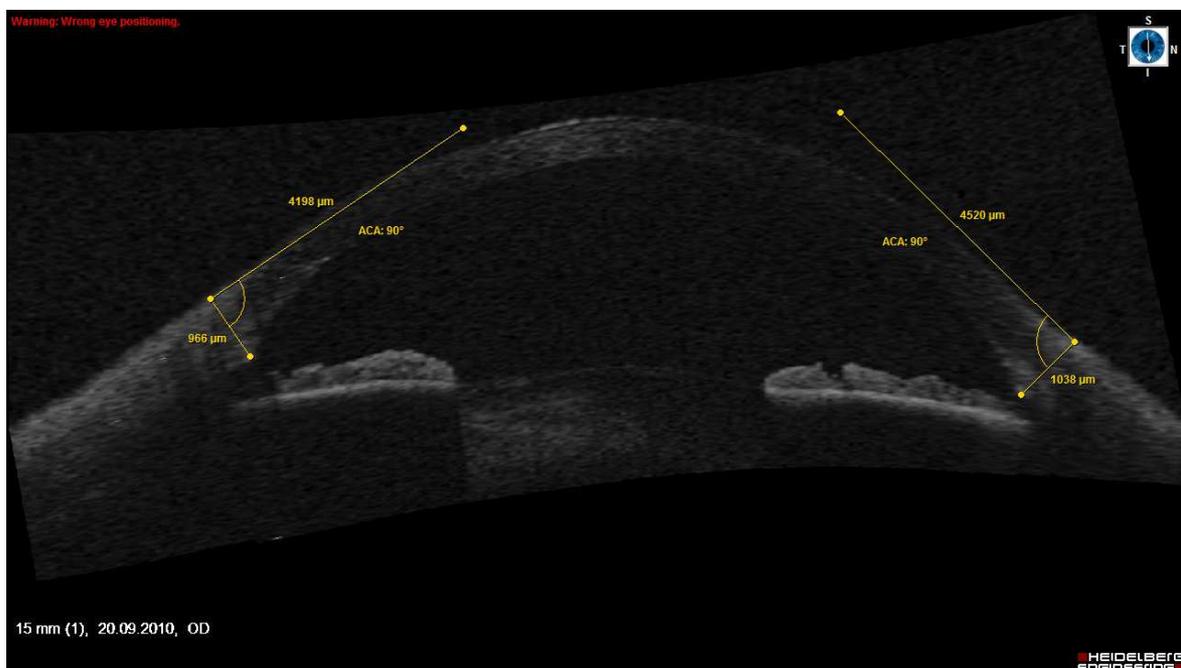
**Abbildung 13** Auswertung des Descemetfensters, gemessen mit dem Hand-Tool

### 2.5.2.5 Sklerakanalikuläre Distanz

Die Sklerakanalikuläre Distanz ( Sclero-Canalicular Distance, SCD) beschreibt jeweils die maximale Ausdehnung vom innersten Punkt des Schlemm'schen Kanals zur Skleraoberfläche. Hierzu wurde das Hand-Tool 90 Grad zur Skleraoberfläche angesetzt und bis zum vorderkammerseitigen Punkt des SKs gezogen. Die Länge der Distanz wurde von der SL-OCT-Software automatisch angezeigt, wie in Abbildung 14 dargestellt.

Die SCD wurde präoperativ, postoperativ, einen Monat, drei und sechs Monate postoperativ vermessen.

Pro Sitzung wurden jeweils zwei Messungen bei jeweils 3 Uhr und 9 Uhr durchgeführt. Aus den vier pro Messtermin gesammelten Werten wurde jeweils der Mittelwert für die SCD errechnet.



**Abbildung 14** Auswertung der SCD, gemessen mit dem Hand-Tool

## 2.6 Statistik

Die statistische Analyse sowie die tabellarische und graphische Ausarbeitung erfolgten mit Microsoft Excel von Microsoft Office 2003 (Microsoft Corporation, Redmond, USA). Alle statistischen Berechnungen wurden von der Autorin selbst durchgeführt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Patientendaten

In der Kanalplastik-Gruppe befanden sich 18 Patienten, davon 10 Frauen und 8 Männer. Es wurden sieben rechte und elf linke Augen operiert. Der Altersdurchschnitt lag hier bei  $63,9 \pm 14,9$  Jahren, wobei der jüngste Patient 35 und der älteste 85 Jahre alt war. Der Grund für die Operation war bei neun Patienten ein pOWG, bei jeweils vier Patienten ein PEX bzw. ein PDG und bei einem Patienten ein LTG. Alle Kanalplastik-Operationen fanden zwischen September 2009 und Mai 2011 statt (Tabelle 3).

Patient	Diagnose	Nebendiagnosen	Auge	Antigl.	Alter
1	OWG fortgeschritten	Astigmatismus	LA	2	56
2	OWG fortgeschritten	Keine	LA	3	70
3	PEX	Z.n. Netzhautforamen-LK	RA	2	76
4	OWG	Z.n. Contusio bulbi	RA	4	35
5	PDG fortgeschritten	Keine	LA	0	36
6	OWG	Keine	RA	0	64
7	PDG	Pseudophakie, Z.n. YAG	RA	2	85
8	OWG fortgeschritten	Pseudophakie	LA	3	78
9	PEX fortgeschritten	Pseudophakie	LA	2	70
10	PDG	Myopie, Astigmatismus	RA	2	48
11	OWG fortgeschritten	Pseudophakie, Z.n. Vy(Artisan)	RA	2	67
12	PEX	Pseudophakie	LA	4	73
13	OWG	Pseudophakie	LA	0	76
14	OWG fortgeschritten	Pseudophakie	LA	2	78
15	PEX fortgeschritten	Pseudophakie	LA	3	70
16	OWG	Myopie	RA	3	68
17	PDG fortgeschritten	Makropapille	LA	0	43
18	LTG	Keine	LA	0	58

**Tabelle 3** Patientendaten der Kanalplastik-Gruppe  
 OWG Offenwinkelglaukom, PEX Pseudoexfoliationsglaukom, PDG Pigmentdispersionsglaukom, LTG low tension glaucoma (Normaldruckglaukom), Z.n. Zustand nach; RA Rechtes Auge, LA Linkes Auge, MICS micro incisional cataract surgery, LK Laserkoagulation, YAG YAG-Laser-Iridotomie, Vy(Artisan) Vitrektomie inklusive Implantation einer Artisan-Kunstlinse

In der Phako-Kanaloplastik-Gruppe befanden sich 29 Patienten, davon 18 Frauen und 11 Männer. Das Durchschnittsalter lag bei  $64,6 \pm 10,1$  Jahren. Die Patienten waren zwischen 44 und 82 Jahre alt. Es wurden 13 rechte und 16 linke Augen operiert. Als Hauptdiagnosen bestanden hier 25 pOWGs, 4 PEX-Glaukome, keine PDGs und keine LTGs. Alle Phako-Kanaloplastik-Operationen fanden zwischen September 2009 und August 2011 statt (Tabelle 4).

Patient	Diagnose	Nebendiagnosen	Auge	Antigl.	Alter
1	PEX	keine	RA	0	67
2	OWG	keine	LA	0	73
3	OWG fortgeschritten	keine	RA	2	80
4	OWG	keine	RA	1	51
5	OWG fortgeschritten	Myopie	LA	2	69
6	OWG	keine	RA	2	74
7	OWG	keine	LA	2	59
8	OWG	keine	LA	0	73
9	OWG	keine	LA	2	69
10	OWG	keine	RA	2	69
11	PEX fortgeschritten	keine	LA	1	71
12	OWG	funktioneller Unicus	LA	2	61
13	OWG	keine	RA	2	53
14	OWG	keine	LA	2	68
15	OWG fortgeschritten	keine	LA	2	82
16	OWG	Myopia magna	LA	1	50
17	OWG	keine	LA	1	54
18	OWG fortgeschritten	keine	RA	3	57
19	OWG	keine	LA	2	74
20	OWG fortgeschritten	Myopie	LA	4	54
21	OWG fortgeschritten	funktioneller Unicus	RA	2	66
22	PEX	Z.n. Staseretinopathie	RA	3	71
23	OWG fortgeschritten	keine	LA	3	74
24	OWG	Engwinkelkomp., Z.n. YAG	LA	2	45
25	OWG	keine	RA	1	69
26	OWG	keine	LA	3	67
27	OWG	keine	RA	3	69
28	OWG	Drusenpapille	RA	2	61
29	PEX	Z.n. 2 x SLT	LA	0	44

**Tabelle 4** Patientendaten der Phako-Kanaloplastik-Gruppe  
 OWG Offenwinkelglaukom, PEX Pseudoexfoliationsglaukom, Z.n. Zustand nach,  
 RA Rechtes Auge, LA Linkes Auge, B-MICS biaxial micro incisional cataract surgery,  
 Engwinkelkomp. Engwinkelkomponente YAG YAG-Laser-Iridotomie, TE Trabekulektomie,  
 SLT Selektive Lasertrabekuloplastik

## 3.2 IOD

### 3.2.1 IOD Kanaloplastik-Gruppe

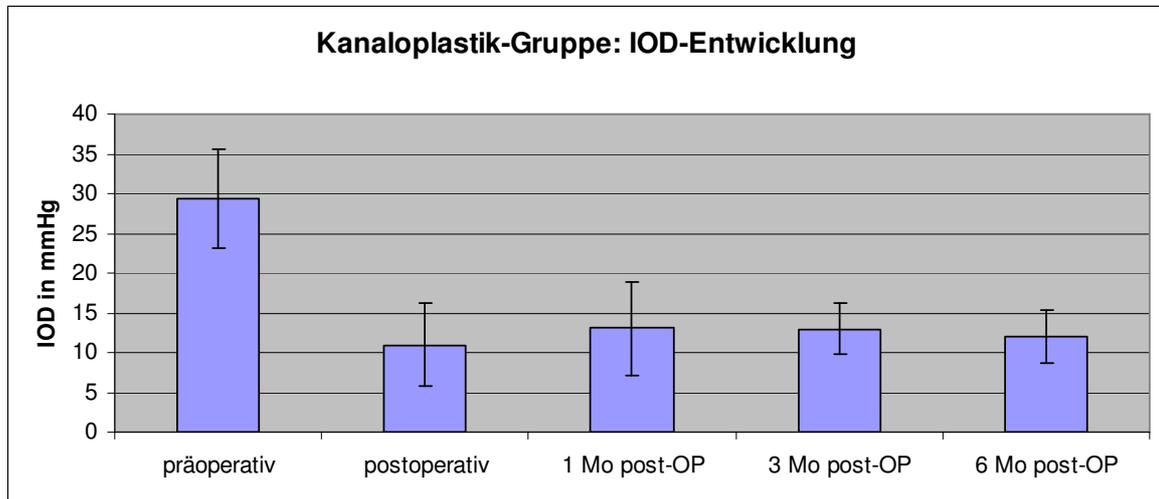


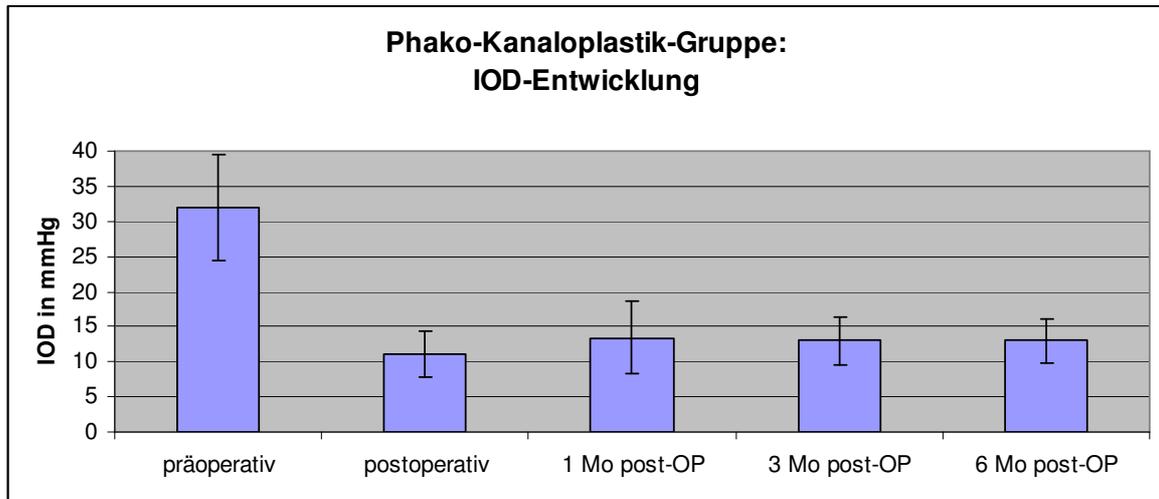
Abbildung 15 IOD-Entwicklung der Kanaloplastik-Gruppe

Der mittlere IOD lag präoperativ bei  $29,3 \pm 6,2$  mmHg lag, postoperativ bei  $11,0 \pm 5,2$  mmHg, einen Monat postoperativ bei  $13,1 \pm 5,2$ , drei Monate postoperativ bei  $13,0 \pm 3,3$  mmHg und sechs Monate postoperativ bei  $12,0 \pm 3,3$  mmHg (Abbildung 15). Tabelle 5 zeigt die prozentuale Entwicklung der Senkung des mittleren IOD in der Kanaloplastik-Gruppe.

Postoperativ	1 Mo postoperativ	3 Mo postoperativ	6 Mo postoperativ
62,5%	55,3%	55,6%	59,0%

Tabelle 5 Prozentuale Entwicklung der Senkung des mittleren IOD der Kanaloplastik-Gruppe

### 3.2.2 IOD Phako-Kanaloplastik-Gruppe



**Abbildung 16** IOD-Entwicklung der Phako-Kanaloplastik-Gruppe

Der mittlere IOD lag präoperativ bei  $31,9 \pm 7,5$  mmHg, postoperativ bei  $11,0 \pm 3,3$  mmHg, einen Monat postoperativ bei  $13,4 \pm 5,1$  mmHg, drei Monate postoperativ bei  $13,0 \pm 3,4$  mmHg und sechs Monate postoperativ bei  $12,0 \pm 3,2$  mmHg (Abbildung 16). Tabelle 6 zeigt die prozentuale Entwicklung der Senkung des mittleren IOD in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe.

postoperativ	1 Mo postoperativ	3 Mo postoperativ	6 Mo postoperativ
65,1%	58,0%	59,2%	59,2%

**Tabelle 6** Prozentuale Entwicklung der Senkung des mittleren IOD der Phako-Kanaloplastik-Gruppe

### 3.2.3 Vergleich IOD Kanaloplastik- und Phako-Kanaloplastik-Gruppe

Der Vergleich soll Antwort geben, in wie weit eine zusätzlich zur Kanaloplastik durchgeführte Phakoemulsifikation und HKL-Implantation Einfluss auf den IOD nimmt. Dazu werden die jeweiligen Mittelwerte der Kanaloplastik- und Phako-Kanaloplastik-Gruppe verglichen und in Abbildung 17 veranschaulicht:

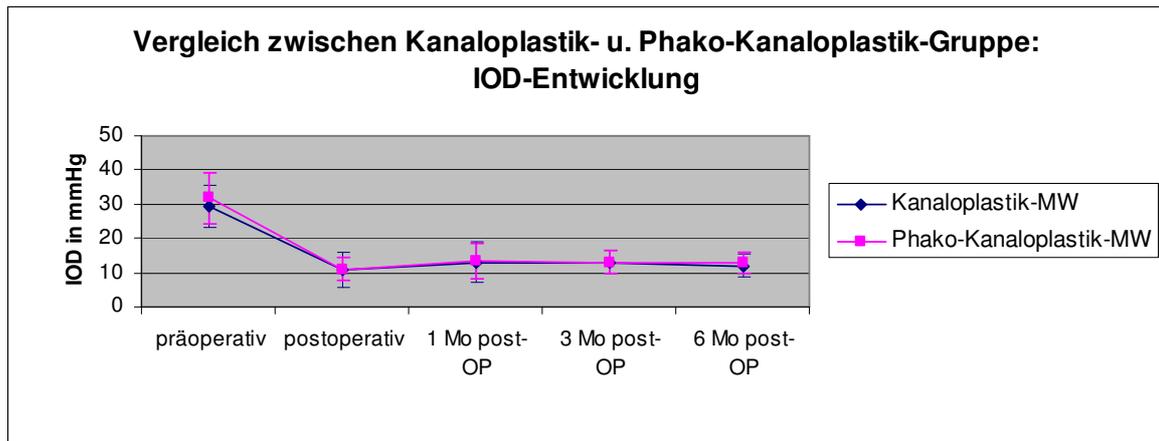


Abbildung 17 IOD-Entwicklung der Kanaloplastik- und Phako-Kanaloplastik-Gruppe

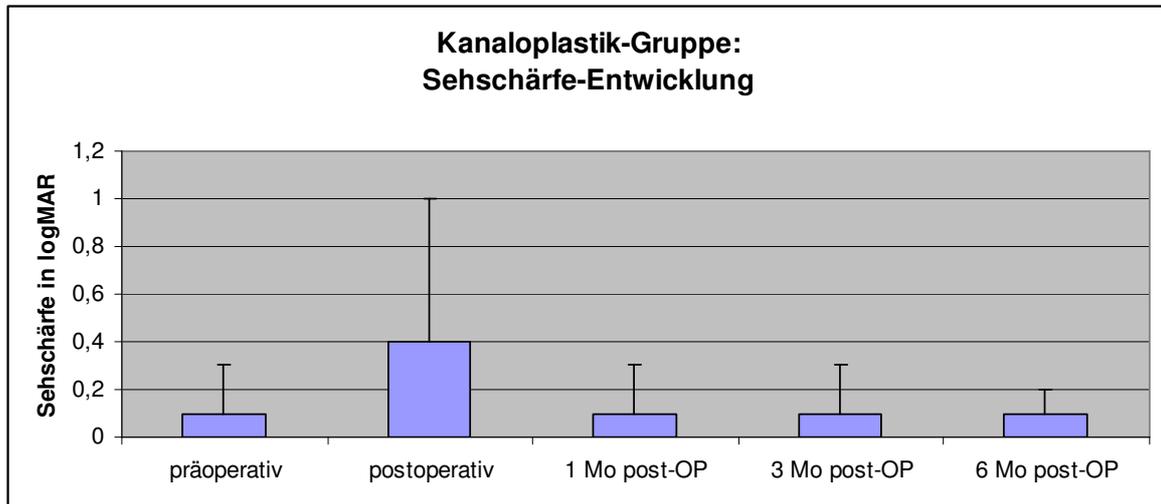
Wie Abbildung 17 zeigt, verhält sich die IOD-Entwicklung in beiden Gruppen nahezu identisch. Tabelle 7 zeigt einen Überblick über die Entwicklung des IOD beider Gruppen mit Angaben zu der mittleren Anzahl der verwendeten Antiglaukomatosa und der jeweiligen Probandenanzahl.

	Kanaloplastik			Phako-Kanaloplastik		
	mittlerer IOD	mittlere Anzahl Antiglaukomatosa	n	mittlerer IOD	mittlere Anzahl Antiglaukomatosa	n
präoperativ	29,3 ± 6,2	2,6 ± 0,8	18	31,9 ± 7,5	2,8 ± 0,8	29
6 Monate	12,0 ± 3,3	0,06 ± 0,2	18	12,0 ± 3,2	0,03 ± 0,19	29
12 Monate	13,8 ± 4,0	0,2 ± 0,6	17	12,8 ± 3,2	0,07 ± 0,11	25
24 Monate	12,5 ± 5,2	0,2 ± 0,4	11	13,0 ± 2,2	0,09 ± 0,16	12

Tabelle 7 IOD-Entwicklung der Kanaloplastik und Phako-Kanaloplastik-Gruppe

### 3.3 Visus

#### 3.3.1 Visus Kanaloplastik-Gruppe



**Abbildung 18** Sehschärfenentwicklung in der Kanaloplastik-Gruppe

Präoperativ betrug die mittlere Sehschärfe der Kanaloplastik-Gruppe logMAR  $0,1 \pm 0,2$ , postoperativ logMAR  $0,4 \pm 0,6$ , einen Monat und drei Monate postoperativ war der logMAR-Wert in Mittelwert und Standardabweichung identisch zum präoperativen Wert. Sechs Monate postoperativ betrug die Sehschärfe logMAR  $0,1 \pm 0,1$  (Abbildung 18).

### 3.3.2 Visus Phako-Kanaloplastik-Gruppe

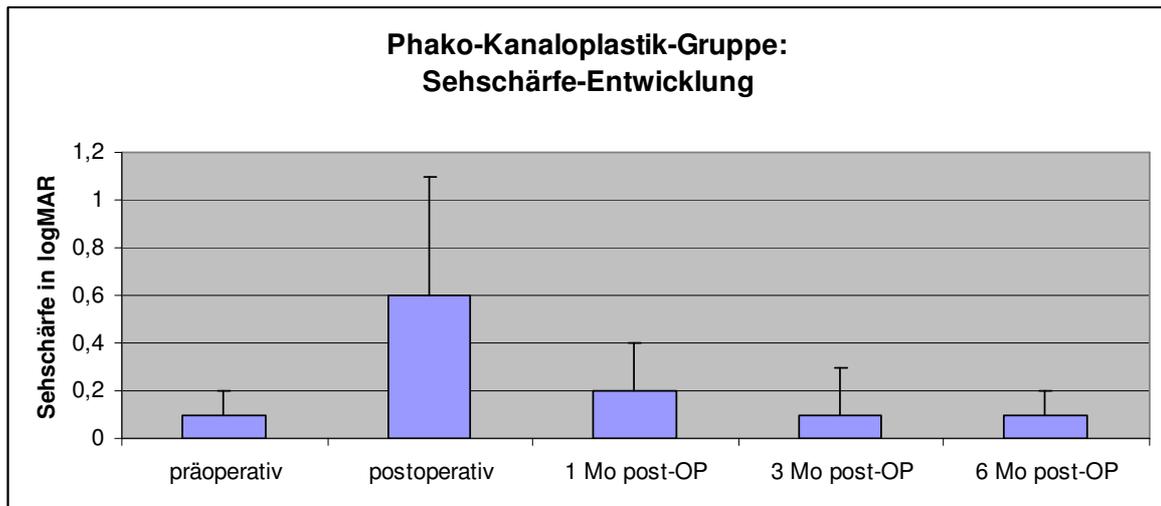


Abbildung 19 Sehschärfe-Entwicklung in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe

Die Sehschärfe in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe betrug in logMAR präoperativ  $0,1 \pm 0,1$ , postoperativ  $0,6 \pm 0,5$ , einen Monat postoperativ  $0,2 \pm 0,2$ , drei Monate postoperativ  $0,1 \pm 0,2$  und war sechs Monate postoperativ in Mittelwert und Standardabweichung identisch mit dem präoperativen Ausgangswert (Abbildung 19).

### 3.3.3 Vergleich Visus Kanaloplastik- und Phako-Kanaloplastik-Gruppe

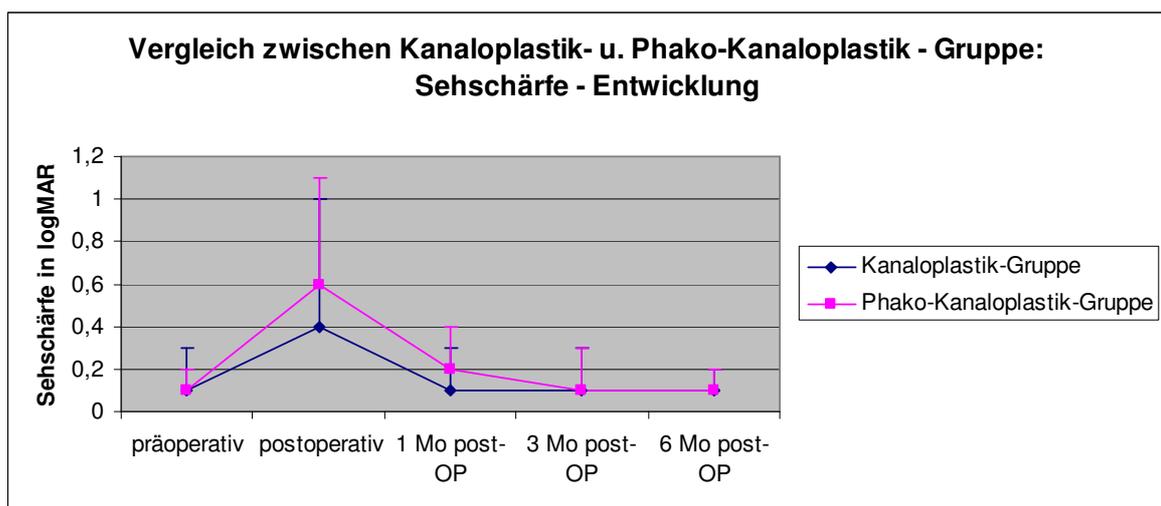


Abbildung 20 Sehschärfe-Entwicklung in Kanaloplastik- und Phako-Kanaloplastik-Gruppe

### 3.4 Morphologische Darstellung mittels SL-OCT

#### 3.4.1 Morphologie Kanalplastik-Gruppe

##### 3.4.1.1 Skleraspornwinkel

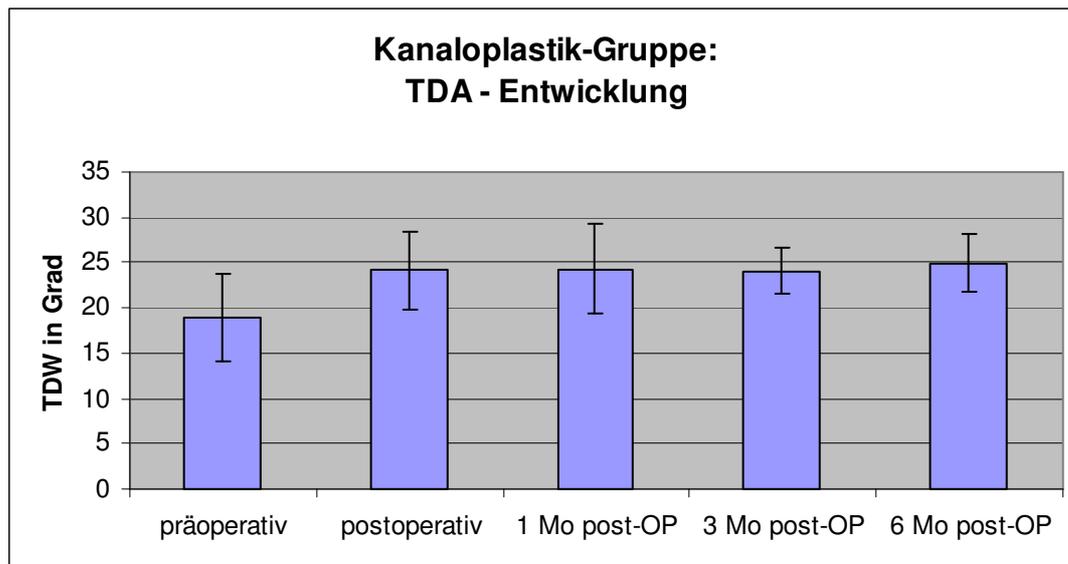


Abbildung 21 TDA-Entwicklung der Kanalplastikgruppe

Der präoperative TDA betrug im Durchschnitt  $18,9 \pm 4,9$  Grad, postoperativ  $24,2 \pm 4,3$  Grad, einen Monat postoperativ  $24,3 \pm 5,0$  Grad, drei Monate postoperativ  $24,1 \pm 2,5$  Grad und sechs Monate postoperativ  $24,9 \pm 3,2$  Grad (Abbildung 21). Die prozentuale Vergrößerung des TDA nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert betrug 24,1%.

### 3.4.1.2 Vorderkammerwinkel

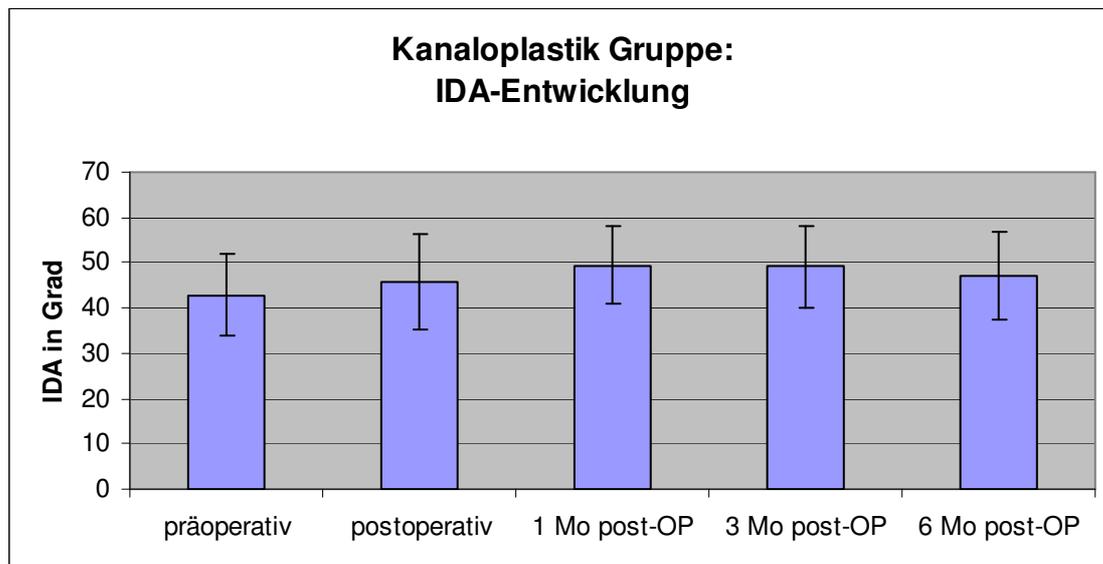
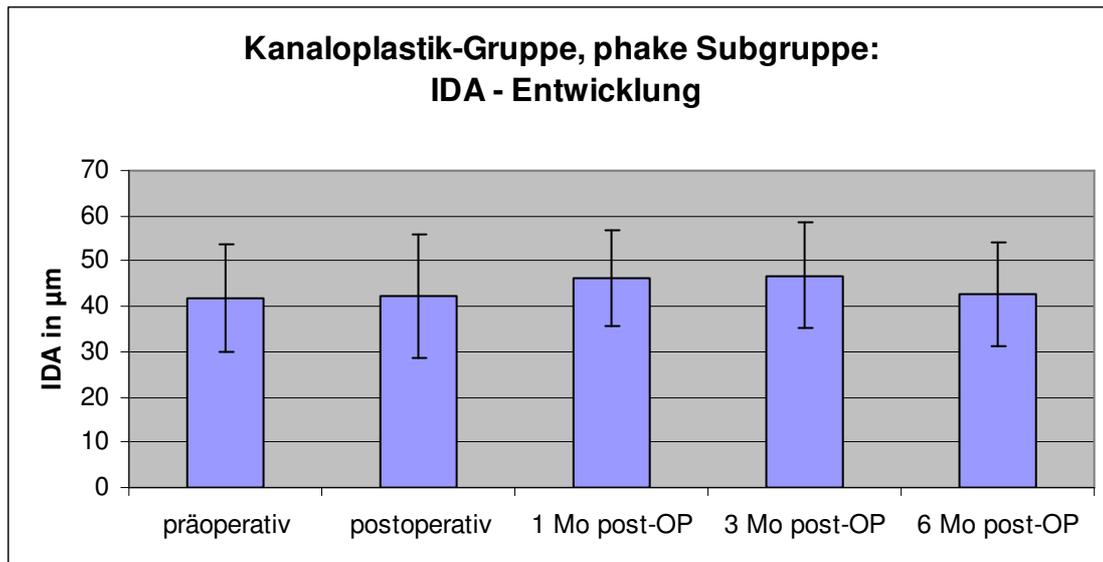


Abbildung 22 IDA-Entwicklung des Vorderkammerwinkels

Die durchschnittliche IDA lag präoperativ bei  $42,9 \pm 8,9$  Grad. Postoperativ erhöhte sich der IDA im Gegensatz zum präoperativen Wert auf  $45,7 \pm 10,6$  Grad, einen Monat später auf  $49,5 \pm 8,6$  Grad, drei Monate später auf  $49,2 \pm 9,0$  und sechs Monate später auf  $47 \pm 9,7$  Grad (Abbildung 22).

Die prozentuale Vergrößerung des IDA nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert betrug 8,7 %.

### 3.4.1.2.1 Vorderkammerwinkel phake Subgruppe

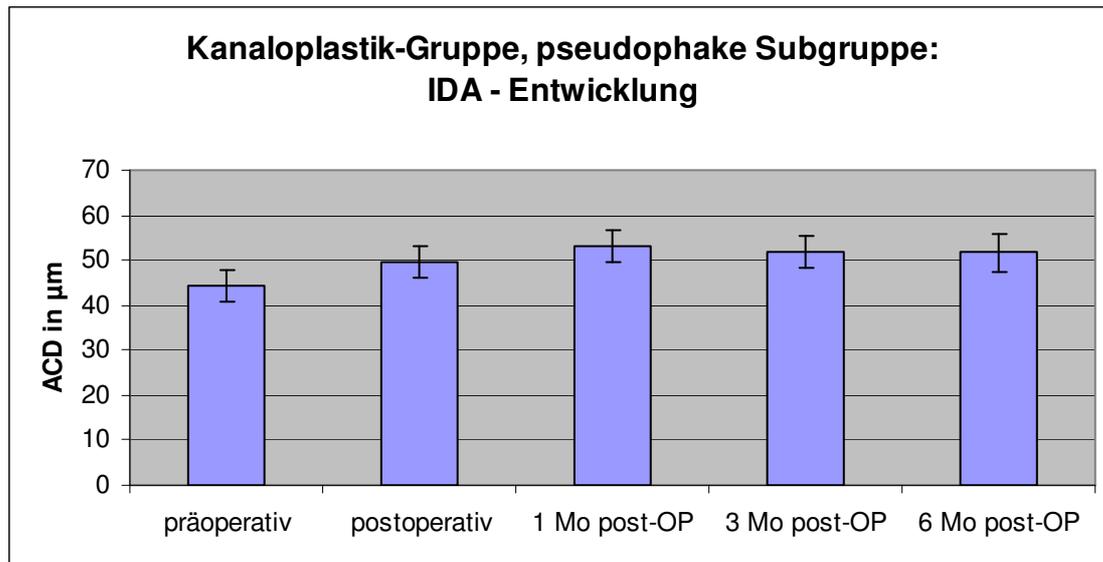


**Abbildung 23** IDA-Entwicklung der phaken Kanaloplastik-Subgruppe

Der mittlere IDA der phaken Subgruppe lag präoperativ durchschnittlich bei  $41,8 \pm 11,7$  Grad, postoperativ bei  $42,2 \pm 13,6$  Grad, einen Monat postoperativ bei  $46,3 \pm 10,6$  Grad, drei Monate postoperativ bei  $46,8 \pm 11,7$  Grad und sechs Monate postoperativ bei  $42,8 \pm 11,4$  Grad (Abbildung 23).

Die prozentuale Vergrößerung des IDA nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert betrug 2,3 %.

### 3.4.1.2.2 Vorderkammerwinkel pseudophake Subgruppe



**Abbildung 24** IDA-Entwicklung der pseudophaken Kanaloplastik-Subgruppe

Abbildung 24 zeigt die IDA-Entwicklung der pseudophaken Kanaloplastik-Subgruppe. Der mittlere präoperative IDA der pseudophaken Subgruppe lag bei  $44,3 \pm 3,6$  Grad, postoperativ bei  $49,6 \pm 3,7$  Grad, einen Monat postoperativ bei  $53,2 \pm 3,4$  Grad, drei Monate postoperativ bei  $52,0 \pm 3,5$  Grad und sechs Monate postoperativ bei  $51,7 \pm 4,3$  Grad.

Die prozentuale Vergrößerung des IDA nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert betrug 14,3 %.

### 3.4.1.3 Pachymetrie

Bei allen Patienten wurde mittels Pachymetrie die Corneadicke vor Intervention am SL-OCT gemessen. Für die Kanaloplastik-Gruppe ergab sich hier ein Durchschnittswert von  $530,4 \pm 32,4$  µm. Diese Werte liegen innerhalb der Norm, d.h. es finden sich keine wesentlichen Hornhautdickenveränderungen, die einer Korrektur bedürfen.

### 3.4.1.4 Vorderkammertiefe

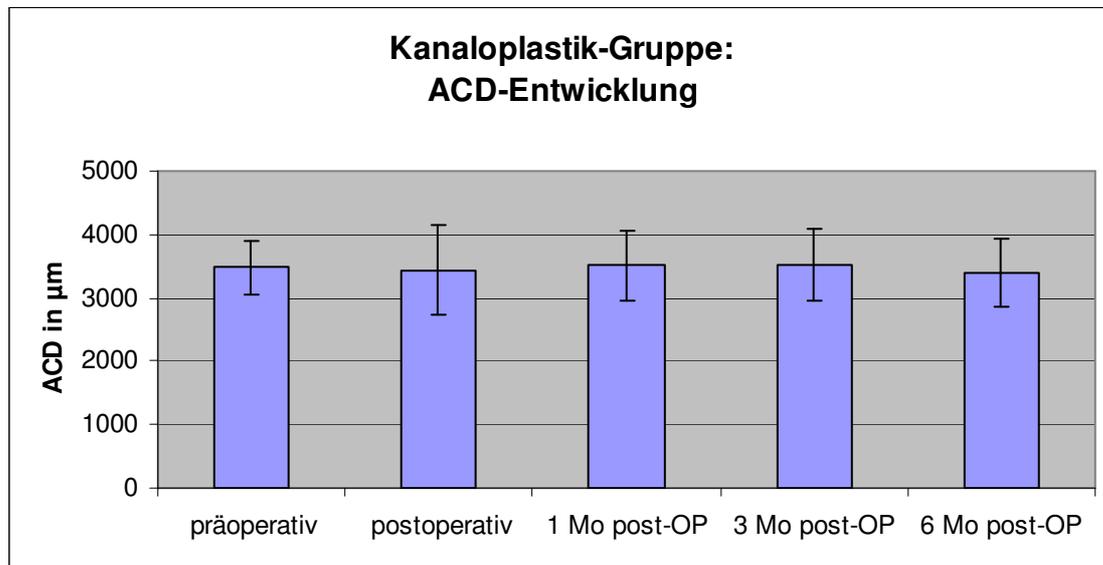
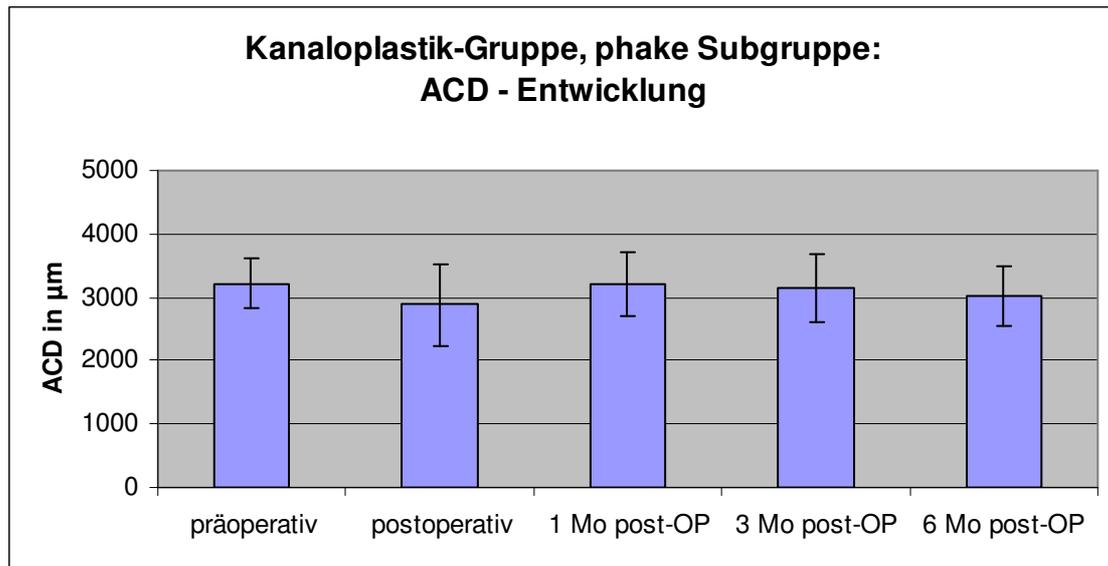


Abbildung 25 ACD-Entwicklung der Kanaloplastik-Gruppe

Die ACD betrug präoperativ durchschnittlich  $3484,2 \pm 422,7 \mu\text{m}$ , postoperativ  $3441,4 \pm 705,5 \mu\text{m}$ , einen Monat postoperativ  $3516,5 \pm 551,1 \mu\text{m}$ , drei Monate postoperativ  $3524,2 \pm 555,3 \mu\text{m}$  und sechs Monate postoperativ  $3391,2 \pm 531,1 \mu\text{m}$  (Abbildung 25).

Die ACD nahm nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert um 2,7 % ab.

### 3.4.1.4.1 Vorderkammertiefe phake Subgruppe



**Abbildung 26** ACD-Entwicklung der phaken Kanaloplastik-Subgruppe

Der ACD der phaken Subgruppe betrug durchschnittlich  $3218,8 \pm 385,2 \mu\text{m}$ , postoperativ  $2883,3 \pm 648,8 \mu\text{m}$ , einen Monat postoperativ  $3210,1 \pm 500,3 \mu\text{m}$ , drei Monate postoperativ  $3736,8 \pm 534,8 \mu\text{m}$  und sechs Monate postoperativ  $3028,1 \pm 467,6 \mu\text{m}$  (Abbildung 26).

Die prozentuale Veränderung der ACD nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert bedeutete eine Abnahme von 6,3 % .

#### 3.4.1.4.2 Vorderkammertiefe pseudophake Subgruppe

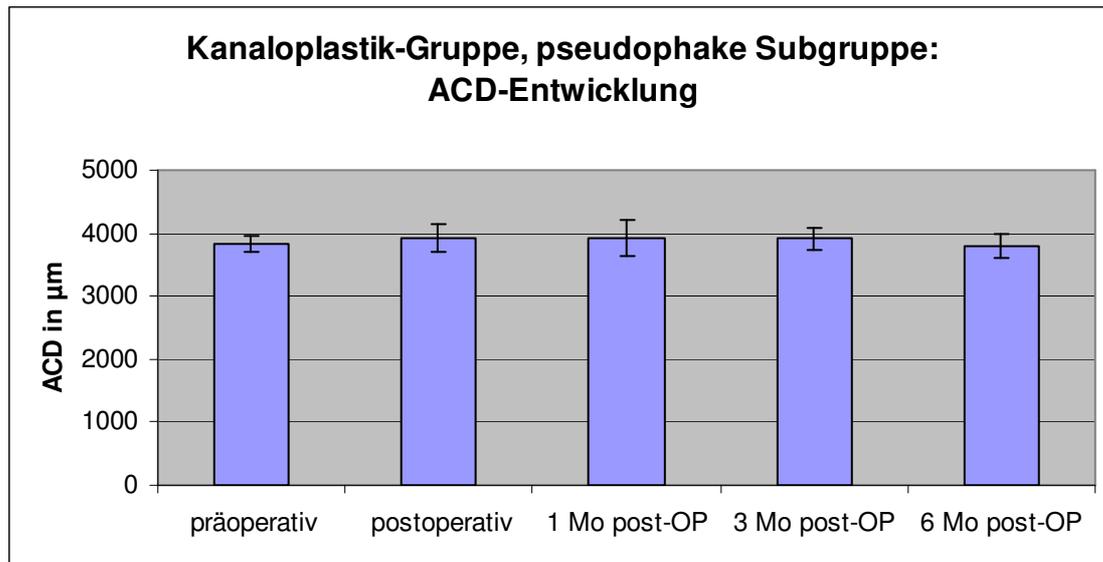


Abbildung 27 ACD-Entwicklung der pseudophaken Kanaloplastik-Subgruppe

Die präoperative ACD betrug  $3815,9 \pm 129,0 \mu\text{m}$ , postoperativ  $3929,8 \pm 225,1 \mu\text{m}$ , einen Monat postoperativ  $3925,0 \pm 297,9 \mu\text{m}$ , drei Monate postoperativ  $3911,7 \pm 178,8 \mu\text{m}$  und sechs Monate postoperativ  $3799,8 \pm 185,8 \mu\text{m}$  (Abbildung 27).

Die prozentuale Veränderung der ACD nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert bedeutete eine Abnahme von 0,4 %.

#### 3.4.1.5 Sickerkissendicke

Die Sickerkissendicke in der Kanaloplastik-Gruppe betrug drei Monate postoperativ durchschnittlich  $213,6 \pm 317,4 \mu\text{m}$  und sechs Monate  $146,3 \pm 140,4 \mu\text{m}$ . Drei Monate postoperativ hatten 46% der Patienten kein Sickerkissen und sechs Monate postoperativ hatten 42% der Patienten kein Sickerkissen.

#### 3.4.1.6 Descemetfenster

Das Descemetfenster wurde jeweils sechs Monate postoperativ vermessen und betrug durchschnittlich  $535,6 \pm 241,8 \mu\text{m}$ .

### 3.4.1.7 Sklerakanalikuläre Distanz

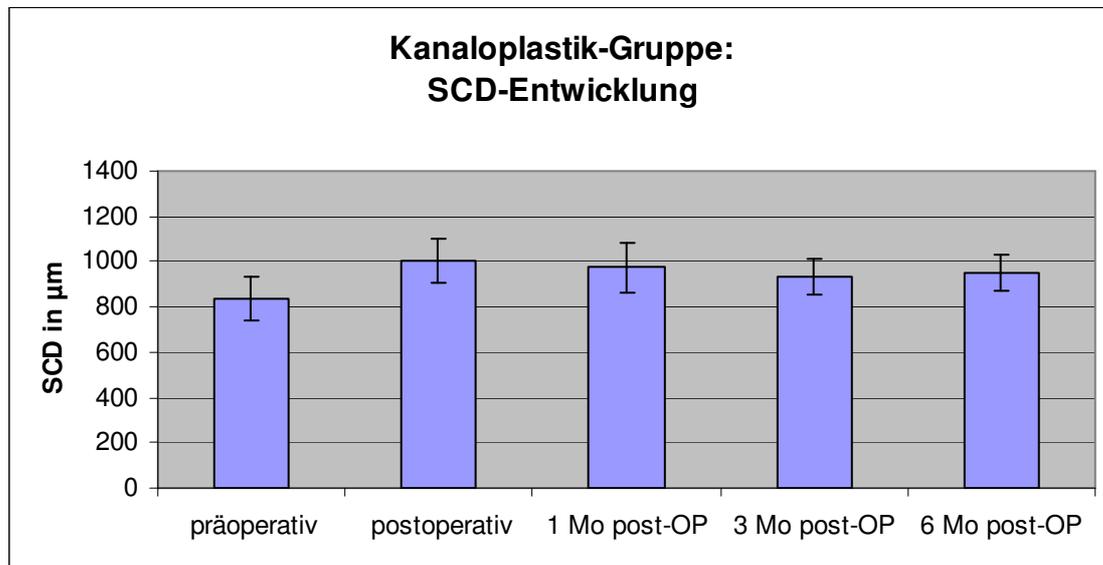


Abbildung 28 SCD-Entwicklung der Kanaloplastik-Gruppe

Die SCD betrug präoperativ  $834,7 \pm 94,5 \mu\text{m}$ , postoperativ  $1007,3 \pm 96,3 \mu\text{m}$ , einen Monat postoperativ  $974,3 \pm 111,0 \mu\text{m}$ , drei Monate postoperativ  $934,8 \pm 78,1 \mu\text{m}$  und sechs Monate postoperativ  $954,4 \pm 79,5 \mu\text{m}$  (Abbildung 28).

Die prozentuale Vergrößerung der SCD nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert betrug 12,3 %.

## 3.4.2 Morphologie Phako-Kanaloplastik-Gruppe

### 3.4.2.1 Skleraspornwinkel

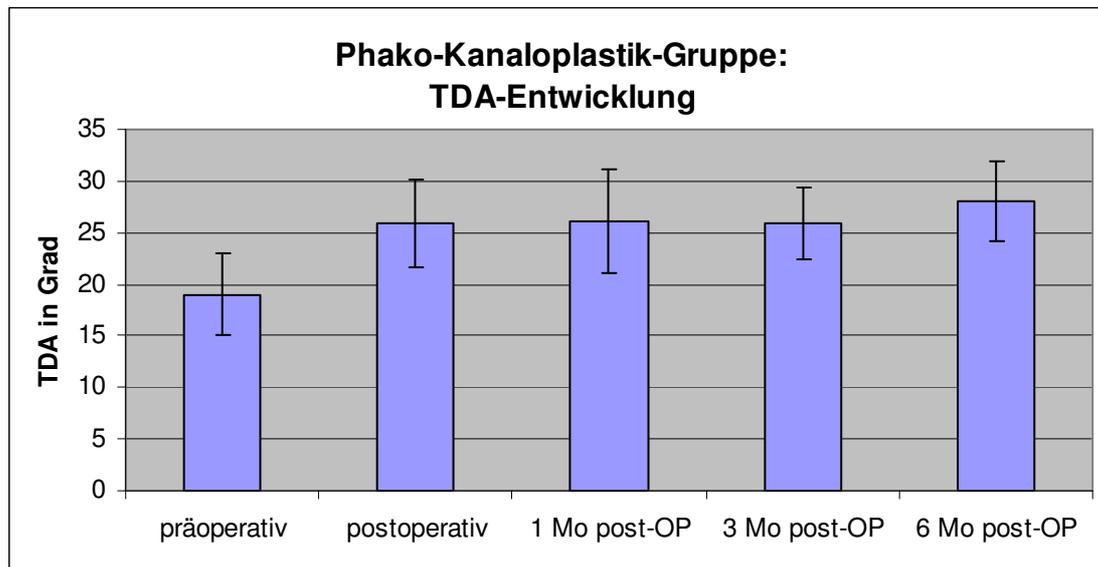


Abbildung 29 TDA-Entwicklung der Phako-Kanaloplastik-Gruppe

Postoperativ betrug der TDA durchschnittlich  $25,9 \pm 4,3$  Grad, einen Monat postoperativ  $26,1 \pm 5,0$  Grad, drei Monate postoperativ  $25,9 \pm 3,5$  Grad und sechs Monate postoperativ  $28,0 \pm 3,9$  Grad (Abbildung 29).

Die prozentuale Vergrößerung des TDA nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert betrug 32,1 %.

### 3.4.2.2 Vorderkammerwinkel

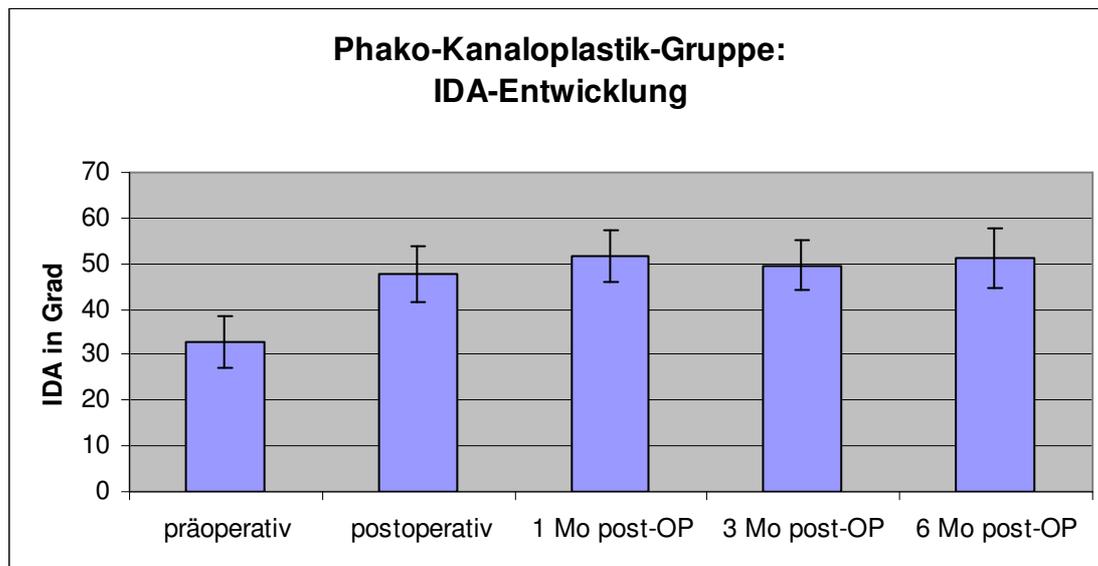


Abbildung 30 IDA-Entwicklung der Phako-Kanaloplastik-Gruppe

Der präoperativen IDA betrug  $32,2 \pm 5,7$  Grad. Der postoperative Befund ergab einen Wert von  $47,7 \pm 6,1$  Grad. Nach einem Monat betrug der IDA  $51,5 \pm 5,6$  Grad, nach drei Monaten  $49,6 \pm 5,5$  Grad und nach sechs Monaten  $51,2 \pm 6,5$  Grad (Abbildung 30).

Die prozentuale Vergrößerung des IDA nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert betrug 35,7 %.

### 3.4.2.3 Pachymetrie

In der Phako-Kanaloplastik-Gruppe betrug die durchschnittliche Hornhautdicke  $527,3 \pm 32,3 \mu\text{m}$  präinterventionell.

### 3.4.2.4 Vorderkammertiefe

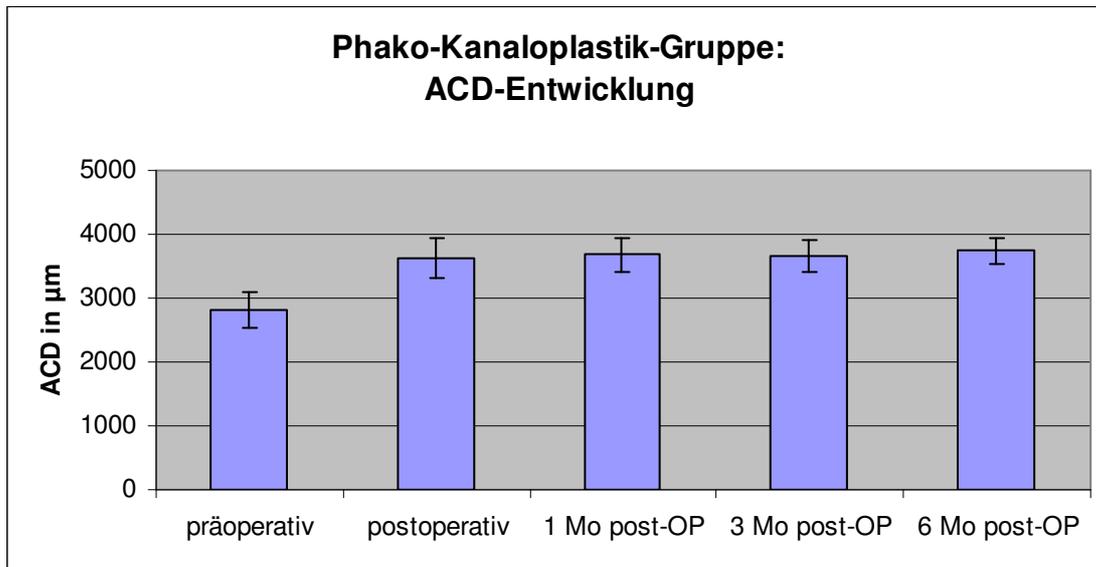


Abbildung 31 ACD-Entwicklung der Phako-Kanaloplastik-Gruppe

Die präoperative ACD betrug durchschnittlich  $2807,9 \pm 272,1 \mu\text{m}$ . Nach Phako-Kanaloplastik stieg die ACD postoperativ auf  $3630,3 \pm 321,3 \mu\text{m}$ . Die Messungen für einen Monat postoperativ ergaben einen Wert von  $3681,8 \pm 265,4 \mu\text{m}$ , drei Monate postoperativ  $3652,3 \pm 250,6 \mu\text{m}$  und sechs Monate postoperativ  $3742,5 \pm 210,1 \mu\text{m}$  (Abbildung 31).

Die prozentuale Vergrößerung der ACD nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert betrug 25,0 %.

### 3.4.2.5 Sickerkissendicke

Die Dicken der jeweiligen Sickerkissen betragen nach drei Monaten  $149,9 \pm 170,3 \mu\text{m}$  und nach sechs Monaten  $90,0 \pm 113,3 \mu\text{m}$ . Drei Monate postoperativ war bei 43% der Patienten kein Sickerkissen messbar und sechs Monate postoperativ war bei 68% der Patienten kein Sickerkissen messbar.

### 3.4.2.6 Descemetfenster

Das Descemetfenster betrug durchschnittlich  $567,7 \pm 245,6 \mu\text{m}$ .

### 3.4.2.7 Sklerakanalikuläre Distanz

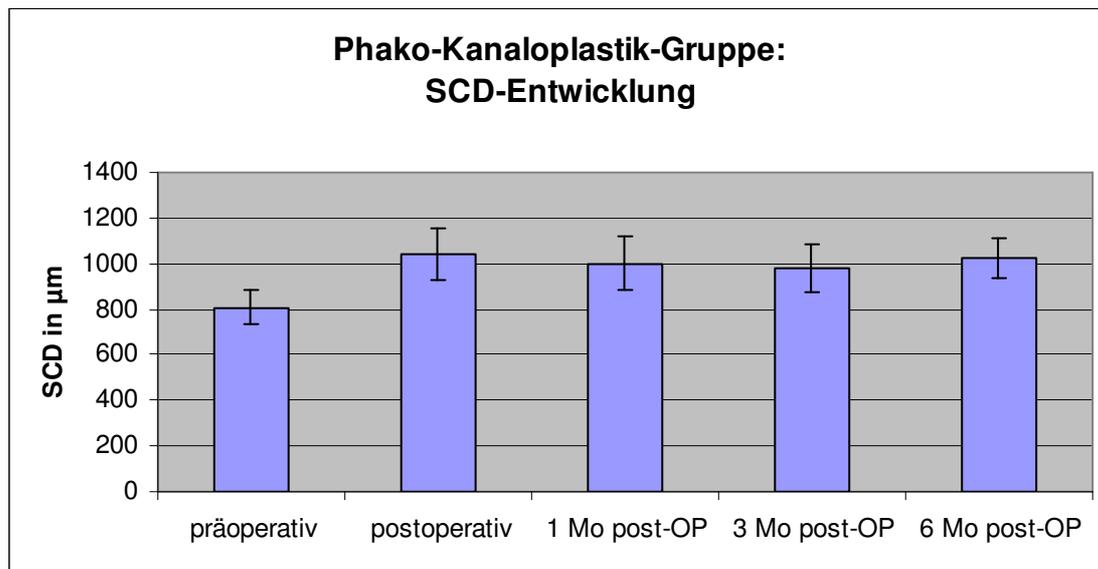


Abbildung 32 SCD-Entwicklung der Phako-Kanaloplastik-Gruppe

Die SCD betrug präoperativ durchschnittlich  $809 \pm 76,2 \mu\text{m}$ , postoperativ  $1040,0 \pm 113,1 \mu\text{m}$ , einen Monat postoperativ  $999,6 \pm 116,5 \mu\text{m}$ , drei Monate postoperativ  $982,8 \pm 104,4 \mu\text{m}$  und sechs Monate postoperativ  $1023,8 \pm 88,7 \mu\text{m}$  (Abbildung 32). Die prozentuale Vergrößerung der SCD nach sechs Monaten im Vergleich zum präoperativen Wert betrug 21,0 %.

### 3.4.3 Vergleich Morphologie Kanalplastik- und Phako-Kanalplastik-Gruppe

#### 3.4.3.1 Skleraspornwinkel

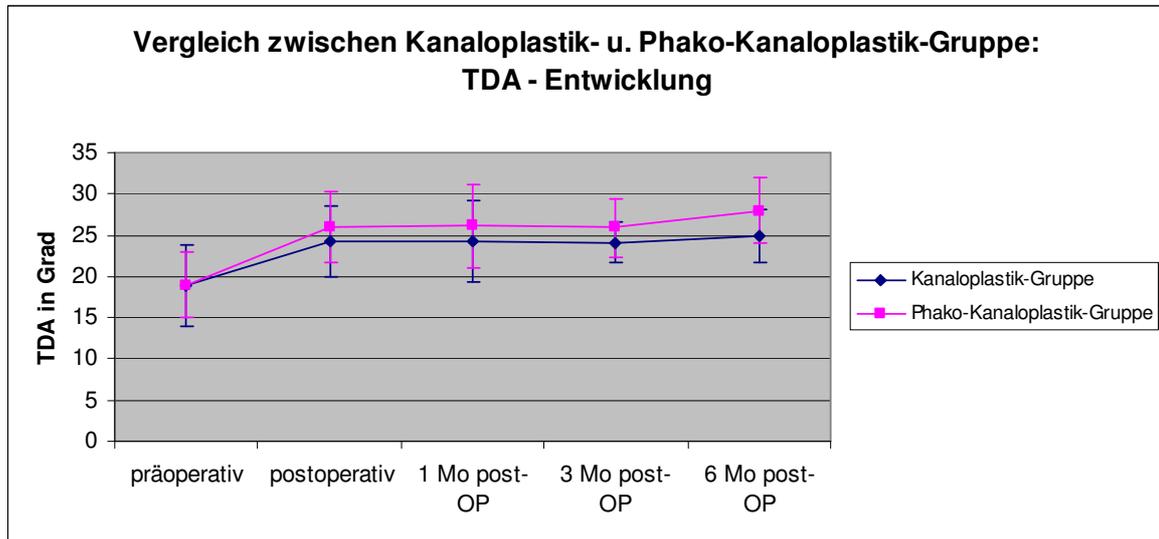


Abbildung 33 TDA-Entwicklung der Kanalplastik-Gruppe und Phako-Kanalplastik-Gruppe

Der mittlere präoperative TDA in der Phako-Kanalplastik-Gruppe ist um 0,1 Grad oder 0,5% größer als der TDA der Kanalplastik-Gruppe, postoperativ um 1,7 Grad oder 6,6%, um 1,8 Grad oder 6,9% nach einen Monat und nach drei Monaten. Nach sechs Monaten zeigt der TDA einen um 3,1 Grad oder 11,1% größeren Winkel in der Phako-Kanalplastik-Gruppe als in der Kanalplastik-Gruppe. Die prozentuale Steigerung des TDA nach sechs Monaten ist in der Phako-Kanalplastik-Gruppe um 8% höher als in der Kanalplastik-Gruppe (Abbildung 33).

### 3.4.3.2 Vorderkammerwinkel

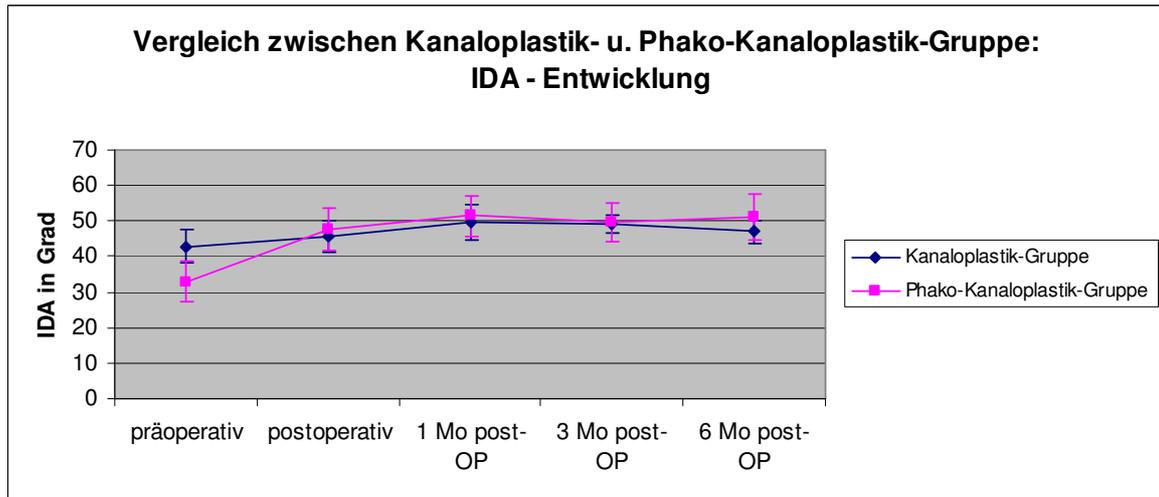


Abbildung 34 IDA-Entwicklung der Kanaloplastik-Gruppe und Phako-Kanaloplastik-Gruppe

Der präoperative Ausgangswert der Kanaloplastik-Gruppe war durchschnittlich um 10,0 Grad oder 23,3 % höher als jener der Phako-Kanaloplastik-Gruppe.

Die prozentuale Steigerung des IDA verglichen zum präoperativen Wert, liegt in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe postoperativ um 24,9% höher als in der Kanaloplastik-Gruppe, einen Monat postoperativ um 22,8% höher, drei Monate postoperativ um 20,9% höher und sechs Monate postoperativ um 27,0% höher (Abbildung 34).

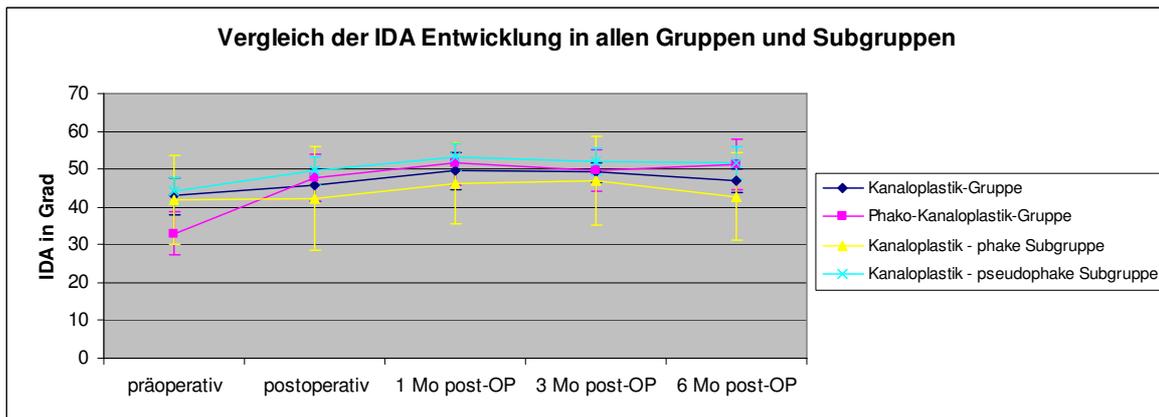


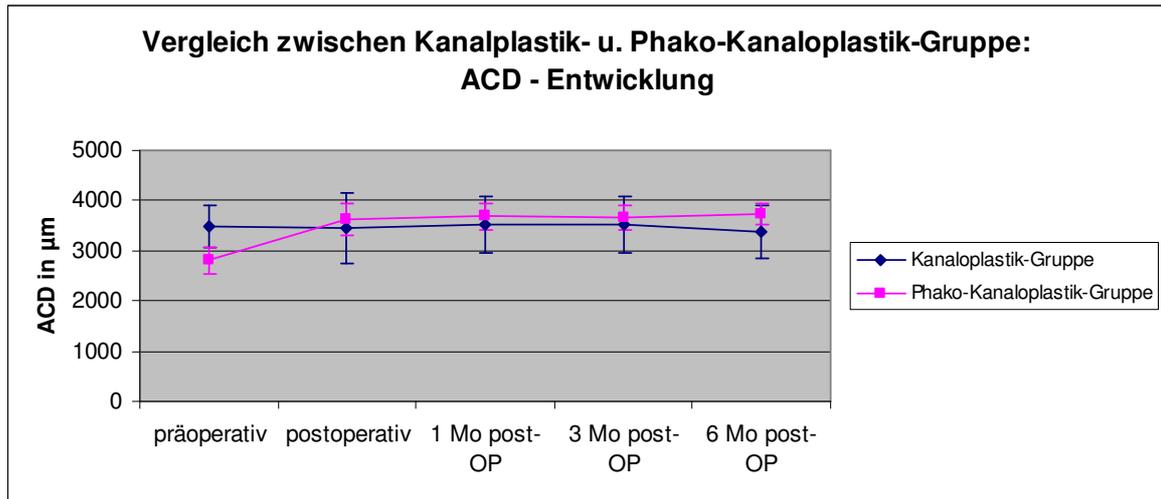
Abbildung 35 IDA-Entwicklung der Kanaloplastik-Gruppe, phaker Kanaloplastik-Subgruppe, pseudophaker Kanaloplastik-Subgruppe und Phako-Kanaloplastik-Gruppe

Der präoperative Wert der phaken Subgruppe, die sich einer Kanaloplastik unterzogen, lag um 8,9 Grad oder 21,3 % über dem der präoperativ phaken Phako-Kanaloplastik-Gruppe (Abbildung 34).

### 3.4.3.3 Pachymetrie

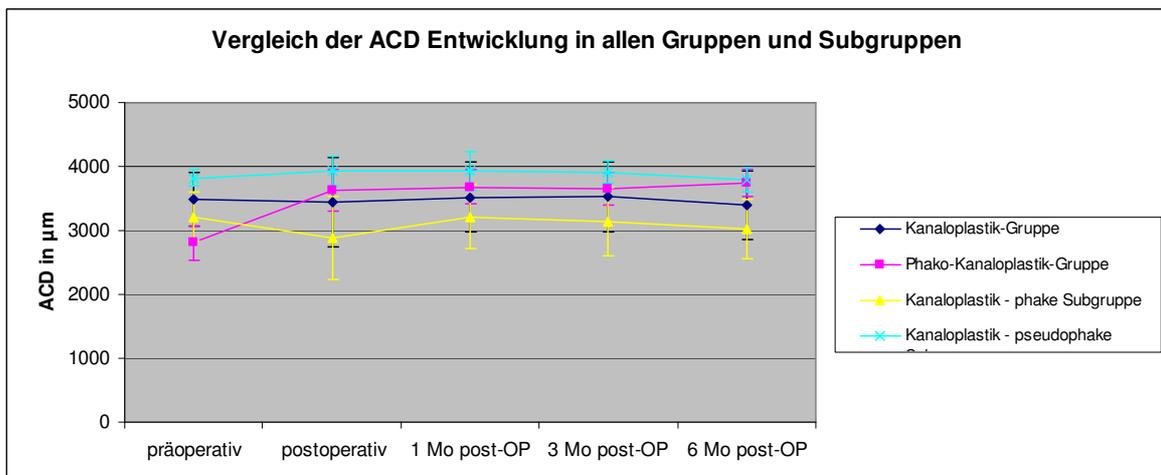
Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Cornea-Dicke betrug im Durchschnitt 3,1  $\mu\text{m}$  bzw. 0,6%.

### 3.4.3.4 Vorderkammertiefe



**Abbildung 36** ACD-Entwicklung der Kanalplastik-Gruppe und Phako-Kanalplastik-Gruppe

Der präoperative Ausgangswert der Kanalplastik-Gruppe war durchschnittlich um 676,3  $\mu\text{m}$  oder 19,4 % höher als jener der Phako-Kanalplastik-Gruppe. Die Steigerung der ACD-Entwicklung war in der Phako-Kanalplastik-Gruppe postoperativ um 23,9 %, einen Monat postoperativ 22,8%, drei Monate 22,0% und sechs Monate postoperativ 27,7% größer als in der Kanalplastik-Gruppe (Abbildung 36).



**Abbildung 37** ACD-Entwicklung in Kanalplastik-Gruppe, phaker Kanalplastik-Subgruppe, pseudophaker Kanalplastik-Subgruppe und Phako-Kanalplastik-Gruppe

### 3.4.3.5 Sickerkissendicke

Die Sickerkissendicke war in der Kanaloplastik-Gruppe nach drei Monaten durchschnittlich um 63,7  $\mu\text{m}$  oder 29,8 % größer als in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe und nach sechs Monaten um 56,3  $\mu\text{m}$  oder 38,5 %.

### 3.4.3.6 Descemetfenster

Das Descemetfenster der Phako-Kanaloplastik-Gruppe war im Durchschnitt um 32,1  $\mu\text{m}$  oder 5,7% größer als jenes in der Kanaloplastik-Gruppe.

### 3.4.3.7 Sklerakanalikuläre Distanz

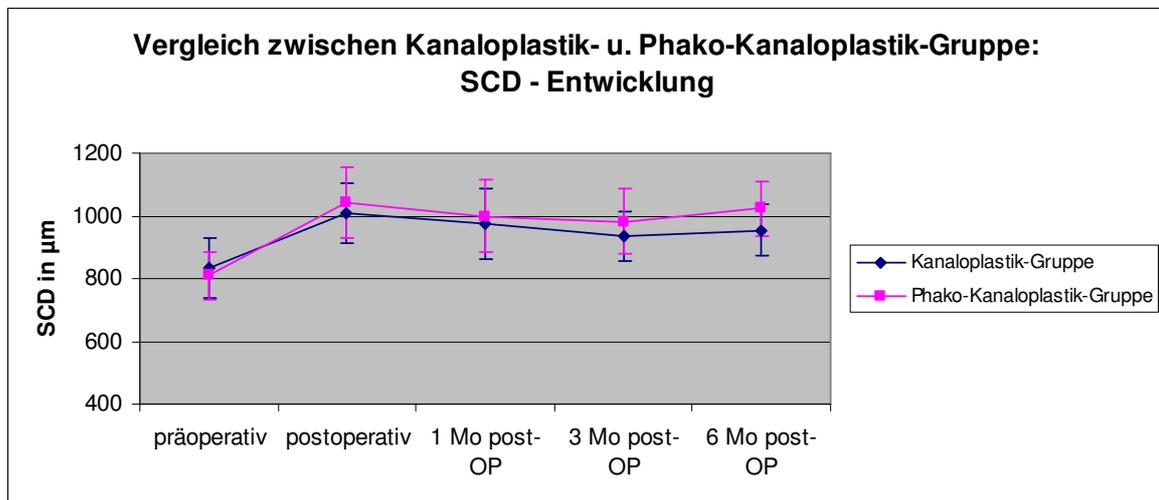


Abbildung 38 SCD-Entwicklung in Kanaloplastik-Gruppe und Phako-Kanaloplastik-Gruppe

Abbildung 38 zeigt die SCD-Entwicklung in beiden Gruppen. Die mittlere präoperative SCD war in der Kanaloplastik-Gruppe um 25,7  $\mu\text{m}$  bzw. 3,1% größer als in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe. Postoperativ war die mittlere SCD der Phako-Kanaloplastik-Gruppe um 32,7  $\mu\text{m}$  bzw. 3,1% größer als die SCD der Kanaloplastik-Gruppe, einen Monat postoperativ um 25,3  $\mu\text{m}$  bzw. 2,5%, drei Monate postoperativ um 48,0  $\mu\text{m}$  bzw. 4,9% und sechs Monate postoperativ um 69,4  $\mu\text{m}$  bzw. 6,8 % größer.

## **3.5 Besonderheiten und Komplikationen**

### **3.5.1 Intraoperativ**

In der Kanaloplastik-Gruppe gab es bei 5 von 18 Patienten bei der Katheterisierung intraoperativ kurzfristige Besonderheiten: bei drei Patienten kam es zu einem Stopp des Katheters, bei einem zum Abweichen in Kollektorkanäle und bei einem weiteren Patienten die Summe der beiden Besonderheiten. In allen Fällen wurde ein Richtungswechsel des Mikrokatheters in den jeweils anderen Uhrzeigersinn und/oder eine Manipulation des Katheters durchgeführt. In allen Fällen konnte der Mikrokatheter erfolgreich bei 360 Grad platziert werden. Bei zwei Patienten kam es zu einer Mikroperforation des TDW (Tabelle 8).

In der Phako-Kanaloplastik-Gruppe kam es bei 8 von 29 Patienten bei der Katheterisierung intraoperativ zu kurzfristigen Besonderheiten: bei vier Augen kam es zu einem Stopp, bei zwei zum Abweichen des Mikrokatheters in Kollektorkanäle und bei zwei weiteren Augen eine Kombination von Stopp und Abweichen. Alle konnten durch Richtungswechsel und/oder Manipulation gelöst werden. Wegen posteriorem Verschluss des SKs war bei einem Patienten der intraoperative Umstieg auf eine Viskokanalostomie und zusätzliche Trabekulektomie notwendig. Bei einem weiteren Patienten verursachte eine sehr dünne Sklera ein positives Seidelphänomen und erforderte den Verschluss mit Histoacrylkleber und im Verlauf eine Bindehautnaht (Tabelle 9).

### **3.5.2 Postoperativ**

In der Kanaloplastik-Gruppe musste bei zwei Patienten postoperativ Diamox gegeben werden, wobei bei einem der beiden Patienten nur eine zweimalige Gabe notwendig war, während bei dem anderen Patienten postoperativ wegen Steroidresponse die Dexamethason-Lokaltherapie abgesetzt und Diamox systemisch angesetzt werden musste, welches im Verlauf dann durch Metipranolol AT ersetzt wurde.

Bei einem Patienten trat am dritten postoperativen Tag für wenige Stunden eine IOD-Erhöhung auf 34 mmHg auf. Bei einem weiteren Patienten führte vier Wochen postoperativ eine Iris-Apposition zu einer Druckerhöhung von 36 mmHg, welche nach

erfolgreicher Irisreposition und Vorderkammer-Lavage wieder auf 10 mmHg zurückging. Bei zwei Patienten kam es zu einer Durchwanderung des Fadens durch die Innenwand des SK mit Sichtbarwerden, einem sogenannten Cheese Wiring (CW), wie es beispielhaft in Abbildung 39 dargestellt ist.



**Abbildung 39** a. CW (Cheese Wiring) im SL-OCT Übersichtsbild axial,  
b. Schnittebene des SL-OCTs entlang des CW

Ein weiterer Patient verletzte sich am fünften postoperativen Tag selbst mit der AT-Flasche, was zu einem Bindehaut-Riss führte (Tabelle 8).

Nach Phako-Kanaloplastik zeigte sich bei drei Patienten ein CW. Zwei Patienten entwickelten Keratokonjunktivitiden epidemicae und ein Patient entwickelte eine nichtinfektiöse Keratitis. Vier Patienten brauchten postoperativ antiglaukomatöse topische oder systemische Medikamente. Postoperativ wurde eine YAG-Kapsulotomie, eine Phakoemulsifikation und eine YAG-Iridotomie durchgeführt. Bei einem Patienten war nach acht Wochen eine Bindehautnaht erforderlich. Bei zwei Patienten kam es postoperativ zu IOD-Entgleisungen (Tabelle 9).

Postoperativ zeigten sich bei je zwei Patienten aus jeder Gruppe ein Hyphäma, welche größer als 2 mm waren. In der Kanaloplastik-Gruppe wiesen sieben Patienten kein Hyphäma auf, bei weiteren sieben Patienten war das Hyphäma kleiner als 1 mm und bei drei Patienten war das Hyphäma zwischen 1 und 2 mm groß. In der Phako-Kanaloplastik-Gruppe hatten 15 Patienten kein Hyphäma, bei neun Patienten zeigte sich ein Hyphäma von kleiner als 1 mm und bei vier Patienten maß das Hyphäma zwischen 1 und 2 mm (Tabellen 8 und 9).

Kanaloplastik-Gruppe							
Patient	Antigl. präop.	Antigl. bis 6 Mo post-OP	Kath. probl.	Lösg. Kath. Probl.	intraop. Komplikationen	Hyphäma	postoperative Besonderheiten
1	4	0	0	0	Mikroperforation Descemetfenster	2	0
2	3	0	0	0	0	1	0
3	3	0	0	0	0	1	0
4	2	0	0	0	0	0	0
5	4	0	0	0	0	2	0
6	3	0	0	0	Mikroperforation Descemetfenster	0	0
7	2	0	0	0	0	1	< 1 Wo: IOD 34 (kurzfristig)
8	3	0	0	0	0	1	0
9	3	0	0	0	0	0	0
10	1	0	1	mit UZS	Mikroperforation Descemetfenster	1	0
11	3	1	1	gegen UZS	0	0	< 4Wo: IOD 25, Diamox mehrfach, danach Betamann AT; Steroidresponder
12	3	0	0	0	0	0	< 1 Wo: BH-Riss mit Tropfenflasche
13	3	0	2	mit UZS	Mikroperforation Descemetfenster	0	> 4 Wo: t 42 (kurzfristig), Diamox zweimalig
14	3	0	1	0	0	0	0
15	2	0	0	0	kleine Blutung, Fadenntfernung, 2. Katheterisierung,	1	< 1 Wo: CW, Sanguis, < 4 Wo: IOD 28 (kurzfristig)
16	2	0	1 + 2	Manipulation	0	1	< 4Wo: t 36 wegen Iris-Apposition >> Irisreposition, VK-Lavage >> t 10
17	2	0	0	0	CW	3	Notfall < 1 Wo, wg. plötzl. Schmerzen wegen CW Berührung Irisvorderfläche bei freier optischer Achse
18	1	0	0	0	0	2	0
			0...kein Stopp 1...Stopp 2...Abweichen in Kollateralkanäle 2...Abweichen in Kollateralkanäle			0..kein Hyhäma 1..<1mm Hyphäma 2..<2mm Hyphäma 3..>2mm Hyphäma	

**Tabelle 8** Intra- u. postoperative Besonderheiten u. Komplikationen der Kanaloplastik-Gruppe  
UZS...Uhrzeigersinn, CW...Cheese Wiring, VK...Vorderkammer, BH...Bindehaut

Phako-Kanaloplastik-Gruppe							
Patient	Antigl. Präop.	Antigl. Bis 6 Mo post-OP	Kath. Probl.	Lösg. Kath. Probl.	Intraop. Komplikationen	Hyphäma	postoperative Besonderheiten
1	4	0	0	0	0	0	< 4 Wo t 22 >> KKE
2	2	0	0	0	0	0	< 3 Mo Mo: CW
3	2	0	0	0	0	1	passager Descemet peripher
4	2	0	0	0	0	0	0
5	2	0	2	gegen UZS	0	1	0
6	2	0	0	0	0	1	auffällige Blutung in VK
7	4	0	0	0	0	2	0
8	4	0	0	0	Umstieg auf Viscocanalostomie, Trabekulektomie wg. Posteriorem Verschluss SK, Riss Descemetfenster	0	0
9	3	0	1 + 2	Manipulation	0	1	< 4 Wo CW, 1xDiamox, 4 Wo AT, Steroidresponder
10	2	0	0	0	0	1	Sicca, unklare Keratitis
11	2	0	1 + 2	Manipulation	Sklera dünn, Seidel	2	< 3 Mo: Bindehautdehiszenz, Konjunktivitis >> Amniontransplantation, Histoacrylkleber, Skleradeckel, Sicca
12	4	0	0	0	0	1	0
13	3	0	0	0	0	1	< 4 Wo: YAG-Kapsulotomie
14	3	0	0	0	0	0	0
15	2	0	0	0	0	1	0
16	4	0	0	0	0	2	0
17	2	0	0	0	0	1	0
18	3	0	0	0	0	2	< 1 Wo: 1xDiclofenamide, <4Wo: 1xDiamox i.v., Steroidresponse
19	3	0	0	0	kl. Blutung, Flossen schwierig	3	< 4 Wo: CW, KKE
20	4	1	0	0	0	0	< 4Wo: IOD 17-28, Taflotan sine
21	3	0	0	0	0	0	funktioneller Unicus
22	3	0	1	gegen UZS	0	0	< 3 Mo: YAG-IRT; Steroidresponder
23		0	0	0	0	0	0
24	1	0	1	gegen UZS	0	0	0
25	2	0	0	0	0	0	< 4Wo: Diclofenamide einmalig
26	3	0	0	0	0	0	0
27	3	0	1	gegen UZS	0	0	< 6 Mo: Cat-OP
28	2	0	2	gegen UZS	0	0	0
29	3	0	1	0	½ Umdrehung zur Viskogabe	0	0
			0...kein Stopp 1...Stopp 2...Abweichen in Kollektorkanäle			0..kein Hyphäma 1..<1mm Hyphäma 2..<2mm Hyphäma 3..>2mm Hyphäma	

**Tabelle 9** Intra- u. postoperative Besonderheiten und Komplikationen der Phako-Kanaloplastik-Gruppe

## 4 Diskussion

### 4.1 IOD-Entwicklung

Erfolgsparameter eines jeden glaukomatösen Eingriffs ist die postoperativ mittel- und langfristig erzielte intraokulare Drucksenkung. Hierdurch wird bei Erreichen des Zieldruckes eine Progression der Erkrankung vermieden. Als wichtiges Kriterium unserer Studie konnten wir den IOD bestimmen mit einer lückenlosen Nachbeobachtungszeit von sechs Monaten, an der sich alle Probanden einer IOD-Messung vor, einen Tag nach, einen Monat nach, sowie drei und sechs Monate nach Kanaloplastik oder Phako-Kanaloplastik unterzogen haben. Somit ist die direkte Zeit nach der Operation sehr genau dokumentiert und mit vielen Ergebnissen in der internationalen Kanaloplastik-Studienliteratur vergleichbar.

Die statistische Auswertung der vorliegenden Arbeit bezieht sich auf den postoperativen Zeitraum von sechs Monaten, wobei unsere 47 Patienten zu einem überwiegenden Teil bis zu einem Jahr postoperativ ( $n = 42$ ) und 23 Patienten auch noch zwei Jahre postoperativ überwacht worden sind. Nach einem Jahr maßen wir bei unseren Patienten einen mittleren IOD von  $13,2 \pm 3,1$  mmHg und nach zwei Jahren  $12,7 \pm 3,9$ . In der Kanaloplastik-Gruppe betragen die Mittelwerte jeweils  $13,8 \pm 4,0$  mmHg nach einem Jahr, bei  $n = 17$  und  $12,5 \pm 5,2$  mmHg nach zwei Jahren bei  $n = 11$ . In der Phako-Kanaloplastik-Gruppe betrug der durchschnittliche IOD nach einem Jahr  $12,8 \pm 3,2$  mmHg bei  $n = 25$  und nach zwei Jahren  $13,0 \pm 2,2$  mmHg bei  $n = 12$ .

Auch in Studien, die an anderen Zentren durchgeführt worden waren, konnte bereits die Effektivität der Kanaloplastik auf die IOD-Senkung nachgewiesen werden. So wurde Anfang 2012 eine Studie veröffentlicht, in der sich 15 Patienten mit pOWG an je einem Auge einer Kanaloplastik und am anderen Auge einer Viskokanalostomie unterzogen haben, eine Reduktion des IODs nach Kanaloplastik von ursprünglich durchschnittlich  $26,5 \pm 2,7$  mmHg auf  $14,3 \pm 2,8$  mmHg nach sechs Monaten und  $14,5 \pm 2,6$  mmHg nach 18 Monaten postoperativ erreicht werden. Die durchschnittliche Medikamentenapplikation sank dabei von  $2,1 \pm 1,0$  auf  $0,1 \pm 0,3$  nach 6 und auf  $0,3 \pm 0,5$  nach 18 Monaten (Körper et al., 2012). Die durchschnittliche 44%ige Reduktion des IODs nach sechs Monaten ist

bereits beachtlich, liegt aber dennoch deutlich unter der von uns erreichten Senkung von rund 59%.

Matthaei et al. konnten 2011 im Rahmen ihrer einjährigen Studie positive IOD-Messergebnisse erzielen, welche sich in ihrer Signifikanz allerdings deutlich von dem Lübecker Kollektiv unterscheiden. Der Grund dafür liegt auch in einem wesentlich niedrigeren präoperativen IOD in dieser Studie bei durchschnittlich  $18,2 \pm 5,8$  mit  $2,3 \pm 1,2$  antiglaukomatösen Augentropfen (AT) im Gegensatz zum präoperativen Mittelwert unserer Studie von  $29,3 \pm 6,2$  mmHg mit  $2,6 \pm 0,8$  AT. Sechs Monate postoperativ erzielten Matthaei et al. in der Kanaloplastik-Gruppe einen IOD von  $12,1 \pm 3,0$  mit  $1,5 \pm 1,4$  AT und in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe einen IOD von  $10,7 \pm 2,8$  mmHg mit  $0,3 \pm 0,7$  AT, welche wiederum mit unseren Ergebnissen von jeweils  $12,0 \pm 3,3$  mmHg mit  $0,1 \pm 0,2$  AT Kanaloplastik-Gruppe bzw.  $12,0 \pm 3,2$  mmHg mit  $0,03 \pm 0,2$  AT der Phako-Kanaloplastik-Gruppe konform gehen. Im Gegensatz zum Lübecker Kollektiv, mit 18 Patienten in der Kanaloplastik-Gruppe und 29 Patienten in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe, umfasste die erste Gruppe bei Matthaei 33 und die zweite Gruppe 13 Patienten und war somit in ihrer zahlenmäßigen Repräsentanz umgekehrt vertreten.

In einer Multicenterstudie mit 109 Patienten mit pOWG konnte in der Kanaloplastik-Gruppe eine IOD-Senkung von  $23,0 \pm 4,3$  mmHg präoperativ, bei einem durchschnittlichen Gebrauch von  $1,9 \pm 0,7$  AT auf einen mittleren IOD von  $15,1 \pm 3,1$  mmHg mit  $0,9 \pm 0,9$  AT nach drei Jahren postoperativ erreicht werden. Nach Phako-Kanaloplastik konnte bei einem Ausgangswert von  $24,3 \pm 6,0$  mmHg mit  $1,5 \pm 1,2$  AT eine IOD-Senkung auf  $13,8 \pm 3,2$  mmHg mit  $0,5 \pm 0,7$  AT nach drei Jahren erreicht werden (Bull et al., 2011).

Auch Ayyalla et al. konnten 2011 bei 33 Patienten, die sich an einem Auge einer Kanaloplastik unterzogen hatten, eine deutliche durchschnittliche IOD-Senkung nachweisen. Der mittlere präoperative IOD betrug in dieser Gruppe  $21,2 \pm 6,6$  mmHg bei durchschnittlichen 2,5 AT. Nach sechs Monaten war der IOD auf  $12,1 \pm 4,0$  mmHg gefallen bei einer mittleren AT-Anzahl von 2,3, welche im Vergleich zu unseren Ergebnissen sehr hoch anmutet, wobei diese nach 12 Monaten auf 0,6 sank. Der durchschnittliche IOD lag zu diesem Zeitpunkt bei  $13,8 \pm 4,9$  mmHg.

Lewis et al. berichteten 2007 im Rahmen einer internationalen Multicenterstudie mit insgesamt 94 Probanden erstmals von den Erfolgen der Kanaloplastik. In dieser Studie, war die erfolgreiche Durchführung einer Kanaloplastik bzw. Phako-Kanaloplastik bei 74

Probanden möglich. Bei diesen Patienten gelang eine 33%ige Drucksenkung von  $23,9 \pm 4,3$  mmHg präoperativ auf  $15,6 \pm 4,0$  mmHg sechs Monate nach Intervention. Bei den 54 Patienten, bei denen alleinig eine Kanalplastik durchgeführt worden war, konnte eine durchschnittliche IOD-Senkung von  $24,1 \pm 3,9$  mmHg präoperativ auf  $16,8 \pm 4,0$  mmHg nach sechs Monaten erreicht werden. 20 Patienten unterzogen sich im Rahmen dieser Studie einer Phako-Kanalplastik. Hier konnte eine Senkung des mittleren IOD von  $23,5 \pm 5,4$  mmHg auf  $12,7 \pm 2,2$  mmHg erreicht werden. Im Gegensatz zum durchschnittlichen Kanalplastik-IOD-Wert dieser Studie, welche durchschnittlich um 4,8 mmHg höher ist, als jener in unserer Studie, ist der IOD nach Phako-Kanalplastik dem unseren, mit nur 0,7 mmHg Unterschied sehr nahe (Lewis et al., 2007).

Zwei Jahre später konnte dieselbe Forschergruppe mit einem ähnlichen Patientenkollektiv sehr ähnliche Ergebnisse erzielen, wobei hierbei erstmals Zweijahresdaten veröffentlicht wurden (Lewis et al., 2009).

Lewis et al. veröffentlichten 2011 erstmals Dreijahresergebnisse in einer weiteren internationalen Multicenterstudie, die insgesamt 157 Patienten einschloss. Von 103 Patienten, die sich einer Kanalplastik unterzogen haben, konnte eine Senkung des mittleren IODs von  $23,5 \pm 4,5$  mmHg bei einer mittleren Medikamentenapplikation von  $1,9 \pm 0,8$  auf  $16,1 \pm 3,4$  mmHg mit  $0,4 \pm 0,7$  Medikamenten nach sechs Monaten und  $15,5 \pm 3,5$  mit  $0,9 \pm 0,9$  Medikamenten nach 36 Monaten erreicht werden. Bei der Phako-Kanalplastik-Gruppe mit  $n = 30$  konnte eine IOD Senkung von  $23,5 \pm 5,2$  mmHg präoperativ auf  $12,8 \pm 2,9$  mmHg nach sechs Monaten und auf  $13,6 \pm 3,6$  mmHg nach 36 Monaten erreicht werden. Die mittlere Medikamenteneinnahme sank von  $1,5 \pm 1,0$  präoperativ auf  $0,1 \pm 0,3$  sechs Monate postoperativ und auf  $0,3 \pm 0,5$  nach 36 Monaten (Lewis et al., 2011).

Eine im Rahmen der Kanalplastik zusätzlich durchgeführte Kataraktoperation hat im Lübecker Kollektiv durchschnittlich zu keiner zusätzlichen IOD-Senkung gegenüber der Kanalplastik ohne diese geführt. Wie der Vergleich mit den oben genannten Studien zeigt, erzielten Matthaei et al. 2011 und Lewis et al. 2007 eine zusätzliche IOD-Senkung von 1,4 bzw. 2,9 mmHg, nach sechs Monaten, während unsere beiden Kollektive einen identischen IOD nach sechs Monaten aufwiesen.

In der von Shingleton et al. 2008 veröffentlichten Studie mit 54 Patienten nach Phako-Kanalplastik konnte eine durchschnittliche IOD-Senkung von  $24,4 \pm 6,1$  mmHg auf  $13,0 \pm 2,9$  mmHg sechs Monate postoperativ erreicht werden. (Shingleton et al., 2008) Diese

Werte gehen wiederum konform mit allen bisher genannten IOD-Werten nach Phako-Kanaloplastik. Die Frage, ob in der Gesamtschau ein positiver Effekt durch eine zusätzliche Kataraktoperation erzielt wird, kann somit in unserem Kollektiv mit nein beantwortet werden und die positiven Effekte auf den IOD können in unserer Studie alleine der Kanaloplastik zugeschrieben werden bzw. wirkt sich eine simultane Kataraktoperation nicht negativ auf den IOD aus.

Die Tabellen 10 und 11 zeigen die Ergebnisse der oben genannten Studien im direkten Vergleich.

Kanaloplastik									
	Ergebnisse 6 Monate postoperativ					Ergebnisse der maximalen Studienlaufzeit			
Studie	IOD präoperativ in mmHg	IOD 6 Mo post-OP in mmHg	antiglauk. Med. präoperativ	antiglauk. Med. 6 Mo post-OP	n	Laufzeit in Mo	IOD in mmHg	antiglauk. Med.	n
Moser-Notbom 2012	29,3 ± 6,2	12,0 ± 3,3	2,6 ± 0,8	0,1 ± 0,2	18	24	12,5 ± 5,2	0,2 ± 0,4	11
Körber 2012	26,5 ± 2,7	14,3 ± 2,8	2,1 ± 1,0	0,1 ± 0,3	15	18	14,5 ± 2,6	0,3 ± 0,5	15
Bull 2011	23,0 ± 4,3	15,8 ± 3,2	1,9 ± 0,7	0,4 ± 0,7	65	36	15,1 ± 3,1	0,9 ± 0,9	74
Ayyala 2011	21,2 ± 6,6	12,1 ± 4,0	2,5*	2,3*	33	12	13,8 ± 4,9	0,6*	33
Matthaei 2011	18,5 ± 6,3	12,1 ± 3,0	2,3 ± 1,2	1,5 ± 1,4	23	12	12,4 ± 3,1	1,6 ± 1,1	5
Lewis 2011	23,5 ± 4,5	16,1 ± 3,4	1,9 ± 0,8	0,4 ± 0,7	86	36	15,5 ± 3,5	0,9 ± 0,9	89
Lewis 2009	23,2 ± 4,0	16,5 ± 3,9	2,0 ± 0,8	0,4 ± 0,6	53	24	16,3 ± 3,7	0,6 ± 0,8	72

n...Anzahl, bezieht sich auf Teilnehmer an postoperativem Überprüfungszeitpunkt, Gesamtprobandenzahl siehe Text

\* keine Standardabweichung verfügbar

antiglauk. Med. ... Antiglaukomatöse Medikation

**Tabelle 10** Internationale Studienergebnisse zur IOD-Entwicklung nach Kanaloplastik

Phako-Kanaloplastik									
	Ergebnisse 6 Monate postoperativ					Ergebnisse der maximalen Studienlaufzeit			
Studie	IOD präoperativ in mmHg	IOD 6 Mo post-OP in mmHg	Antiglauk Med. präoperativ	antiglauk. Med. 6 Mo post-OP	n	Laufzeit in Mo	IOD in mmHg	antiglauk. Med.	n
Moser-Notbom 2012	31,9 ± 7,5	13,0 ± 3,2	2,8 ± 0,8	0,0 ± 0,2	29	24	13,0 ± 2,2	0,1 ± 0,3	12
Bull 2011	24,3 ± 6,0	12,8 ± 3,0	1,5 ± 1,2	0,1 ± 0,3	13	36	13,8 ± 3,2	0,5 ± 0,7	13
Matthaei 2011	17,5 ± 4,2	12,1 ± 3,0	2,5 ± 1,3	0,3 ± 0,7	9	12	12,8 ± 1,9	0,4 ± 0,6	5
Lewis 2011	23,5 ± 5,2	12,8 ± 2,9	1,5 ± 1,0	0,1 ± 0,3	25	36	13,6 ± 3,6	0,3 ± 0,5	27
Lewis 2009	23,1 ± 5,5	12,8 ± 2,5	1,7 ± 1,0	0,1 ± 0,2	18	24	13,4 ± 4,0	0,2 ± 0,4	20
Shingelton 2008	24,4 ± 6,1	13,0 ± 2,9	1,5 ± 1,0	0,1 ± 0,4	42	12	13,7 ± 4,4	0,2 ± 0,4	25

n...Anzahl, bezieht sich auf Teilnehmer an postoperativem Überprüfungszeitpunkt, Gesamtprobandenzahl siehe Text

**Tabelle 11** Internationale Studienergebnisse zur IOD-Entwicklung nach Phako-Kanaloplastik

Um eine noch bessere Vergleichsmöglichkeit zu erlauben, werden im Folgenden die durchschnittlichen IOD-Reduktionen in mmHg und in Prozent dargestellt.

Kanaloplastik					
		Abnahme des IOD in mmHg		Prozentuale Erniedrigung des IOD in Prozent	
Studie	IOD präoperativ in mmHg	nach 6 Monaten	nach Gesamtlaufzeit	nach 6 Monaten	nach Gesamtlaufzeit
Moser-Notbom 2012	29,3 ± 6,2	17,3	16,8	59,0	57,3
Körber 2012	26,5 ± 2,7	12,2	12	46,0	45,3
Bull 2011	23,0 ± 4,3	7,2	7,9	31,3	34,3
Ayyala 2011	21,2 ± 6,6	9,1	7,4	42,9	34,9
Matthaei 2011	18,5 ± 6,3	6,4	6,1	34,6	33,0
Lewis 2011	23,5 ± 4,5	7,4	8	31,5	34,0
Lewis 2009	23,2 ± 4,0	6,7	6,9	28,9	29,7

**Tabelle 12** Internationale Studienergebnisse zur prozentualen IOD-Reduktion nach Kanaloplastik

Tabelle 13 zeigt eindrucksvoll die hochsignifikante IOD-Senkung von durchschnittlich 59,0 % sechs Monate postoperativ durch Kanaloplastik. Sowohl die durchschnittliche IOD-Abnahme als auch die prozentuale IOD-Abnahme, jeweils nach sechs Monaten und nach der Gesamtlaufzeit ist in unserem Kollektiv höher als in sämtlichen zum Thema vergleichbaren internationalen Studien.

Phako - Kanaloplastik					
		Abnahme des IOD in mmHG		Prozentuale Erniedrigung des IOD in Prozent	
Studie	IOD präoperativ in mmHg	nach 6 Monaten in mmHg	nach Gesamtlaufzeit in mmHg	nach 6 Monaten	nach Gesamtlaufzeit
Moser-Notbom 2012	31,9 ± 7,5	18,9	18,9	59,2	59,2
Bull 2011	24,3 ± 6,0	11,5	10,5	47,3	43,2
Matthaei 2011	17,5 ± 4,2	5,4	4,7	30,9	26,9
Lewis 2011	23,5 ± 5,2	10,7	9,9	45,5	42,1
Lewis 2009	23,1 ± 5,5	10,3	9,7	44,6	42,0
Shingelton 2008	24,4 ± 6,1	11,4	10,7	46,7	43,9

**Tabelle 13** Internationale Studienergebnisse zur prozentualen IOD-Abnahme nach Phako-Kanaloplastik

Auch in der Phako-Kanaloplastik können wir im Vergleich zu allen bisherigen diesbezüglichen Studien überragende Ergebnissen vorweisen. Selbstverständlich sehen wir diese Ergebnisse in Relation zu dem bei uns höchsten gemessenen IOD, welcher unabhängig von der Therapie im Monitoringzeitraum vor Operation gemessen wurde.

## **4.2 Visus-Entwicklung**

Bei einem guten Ausgangsvisus unserer Glaukoma-Patienten interessiert der Visusverlauf. Es ist wichtig, dass durch den Eingriff kein permanenter Visusabfall in Kauf genommen werden muss, da hierdurch der Zeitpunkt der Operation zusätzlich bestimmt wird. In dieser Arbeit zeigt die Visus-Entwicklung das wünschenswerte Ergebnis von identischen prä- und postoperativen Werten, welche auch erreicht worden sind, wenn man vom kurzfristigen Visusabfall am postoperativen Tag absieht. Der Großteil der internationalen Literatur geht hier mit unseren Ergebnissen konform (Bull et al., 2011; Ayyala et al., 2011; Brüggemann et al., 2012; Lewis et al., 2011; Lewis et al., 2009; Lewis et al., 2007). Shingleton et al. 2008 berichten bei einem reinen Phako-Kanaloplastik-Kollektiv von einer postoperativen Verbesserung des BCVA (best corrected visual acuity) von durchschnittlich logMAR 0,21 nach sechs Monaten verglichen mit logMAR-Werten direkt nach Operation, verzichten allerdings darauf die präoperativen Werte anzugeben (Shingleton et al., 2008). Obwohl hier der Eindruck entstehen könnte, dass es durch die Phako-Kanaloplastik zu einer Visus-Verbesserung gekommen ist, ergeben sich nach genauerer Analyse Ergebnisse, die mit unseren und sämtlichen dazu veröffentlichten Studien konform gehen. Der unmittelbar postoperative Visuseinbruch ist durch die Induktion einer Hornhautverkrümmung erklärt und Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Die Frage, warum bei einem guten Ausgangsvisus überhaupt eine Kataraktoperation durchgeführt wurde, wenn sich die Sehschärfe durch die Kunstlinse nicht wesentlich verbessert, ist damit begründet, dass vorwiegend Augen mit eher engen Vorderabschnittsstrukturen einer Katarakt-Operation unterzogen wurden. Die Indikation war also weniger von der tatsächlichen Linsentrübung, sondern mehr von der morphologischen Darstellung der Vorderkammerstrukturen abhängig. Umso wichtiger ist es, dass bei diesen Patienten der gute Ausgangsvisus erhalten bleibt. Über die passageren Visuseinbußen wurden die Patienten aufgeklärt.

### **4.3 Morphologische Darstellung mittels SL-OCT**

Das SL-OCT hat sich bereits in der Vergangenheit bewährt, um Vorderabschnittsmorphologien zu beurteilen (Sakata et al., 2010; Hüttmann et al., 2009; Müller et al., 2010; Wong et al., 2009). Bisher wurden nur Einzelfalldarstellungen veröffentlicht, in der diese Untersuchungsmethode im Zusammenhang mit Kanaloplastik oder Phako-Kanaloplastik angewandt worden ist. Mehr Studiendaten ergeben sich mit Ultraschallbiomikroskopie (UBM)-Messungen, die im Rahmen von Kanaloplastik-Studien angewandt worden sind (Lewis et al., 2007; Shingleton et al., 2008; Körber et al., 2012; Lewis et al., 2009; Lewis et al., 2011). Die UBM ist zwar in ihrer Anwendung eine vom SL-OCT verschiedene Technik, gilt aber in ihren Ergebnissen als vergleichbare Methode (Müller und Geerling, 2008; Ursea und Silverman), die zur Messung von Vorderkammerstrukturen herangezogen werden kann.

In der ersten Studie, in der UBM-Messungen mit einer bisher kaum in der Ophthalmologie eingesetzten 50 MHz-Sonde, im Rahmen einer Kanaloplastik angewandt worden sind, wurden prä-, intra- und postoperative Vermessungen des SKs vorgenommen. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die Strukturen des TMWs gelegt. Es wurde hierbei untersucht, inwieweit eine Beziehung zwischen dem TDA und dem IOD besteht. Um diese Ausdehnung quantifizieren zu können, wurde nach der Operation vom jeweiligen TDA auf einen ‚Distension Grade‘, die Fadenspannung, geschlossen (Lewis et al., 2007). Die Fadenspannung ist somit ein Kunstprodukt von Lewis et al., worauf in weiteren Studien der Autoren wieder Bezug genommen wird (Lewis et al., 2009; Lewis et al., 2011). Während in der ersten Studie von Lewis et al. lediglich zwischen einer Fadenspannung von  $< 0,5$  bzw.  $\geq 0,5$  unterschieden wird, liefern die Autoren zwei Jahre später eine Konvertiertabelle für den TDA und die daraus zu schließende Fadenspannung, wobei die höchste angegebene Fadenspannung mit 3,00 angegeben wird, welche einem TDA von 22,0 Grad oder größer entspricht. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem mittleren TDA unserer Studie weisen unsere Patienten nach sechs Monaten durchschnittlich einen TDA von  $24,9 \pm 3,2$  Grad bzw.  $28,0 \pm 3,9$  Grad nach Kanaloplastik bzw. Phako-Kanaloplastik auf. Die Spannbreiten der Winkel bewegen sich bei  $n = 17$  in der Kanaloplastik-Gruppe zwischen 20,5 und 27,8 Grad und in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe bei  $n = 23$ , zwischen 22,0 und 36,8 Grad. Somit liegt unser Probandenkollektiv fast zur Gänze über dem Höchstwert von 3,00, was wir als Teil des guten Abschneidens unseres Kollektivs

bewerten und die Fadenspannung als wichtiges Kriterium qualifiziert. Nur lediglich vier Patienten aus unserer Kanaloplastik-Gruppe würden unter dem Höchstwert von 3,00 mit einer Fadenspannung von 2,75 liegen. Die Messmethode, die Lewis et al. mittels UBM angewandt haben, gleicht der SL-OCT-Messmethode, indem der Scheitelpunkt des TDA am Sklerasporn, der obere Schenkel entlang der Verlängerung des SKs und der untere Schenkel am verlängertem TMW angesetzt wird (Lewis et al., 2009). Das Vorgehen ist mit unserem Messvorgehen zur Auswertung des TDA identisch (vgl. Kapitel 2.5.1.1). Leider wurde auf eine Veröffentlichung eines Mittelwerts dieses Winkels verzichtet, weswegen eine direkte Vergleichbarkeit dieser Winkel nicht möglich war. In Lewis et al. 2011 verweisen die Autoren auf zukünftige Daten bezüglich der Vermessung der postoperativen Vorderabschnittsmorphologien, welche jedoch zwischenzeitlich noch nicht publiziert worden sind (Lewis et al., 2011).

Während sich in beiden Gruppen in unserer Studie der TDA relativ zum präoperativen Wert deutlich erhöht, verändert sich der IDA ausschließlich in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe, während dieser Winkel in der Kanaloplastik-Gruppe nahezu identisch bleibt und bei manchen Patienten postoperativ sogar unter dem Ausgangswert liegt. Die Antwort ist hier wohl in der bereits erwähnten Fadenspannung zu suchen, welche einen Einfluss auf den TDA zu haben scheint, nicht aber auf den IDA. Es drängt sich somit die Schlussfolgerung auf, dass eine Fadenlegung unabhängig von zusätzlicher Phako/HKL zu einem größeren TDA führt. Da in beiden Gruppen der IOD sehr stark gesunken ist, bedeutet dies, dass es der durch die Fadenspannung erreichte vergrößerte TDA ist, der zur IOD-Senkung führt. Da sich die mittleren IOD-Senkungen in unseren beiden Gruppen kaum voneinander unterscheiden, kann man daraus schließen, dass alleine dieser Parameter für die positive IOD-Veränderung verantwortlich gemacht werden kann, während weder der IDA noch die ACD hier eine zentrale Rolle zu spielen scheinen.

Auch Shingleton et al. haben 2008 mittels UBM nach Phako-Kanaloplastik Vorderkammerwinkel vermessen. Es wird für diese Studie ein mittlerer postoperativer Vorderkammerwinkel von  $29,4 \pm 14,0$  Grad ( $n = 23$ ) angegeben, welcher am ehesten mit unserem IDA vergleichbar ist. In der Publikation von Shingleton et al. findet sich noch der Hinweis darauf, dass UBM-Aufnahmen von Kanaloplastiken ohne Phako/HKL einen Vorderkammerwinkel von  $14,4 \pm 9,5$  Grad ( $n = 8$ ) ergeben haben (Shingleton et al., 2008). Obwohl sich die Größen der Vorderkammerwinkel in der Shingleton-Studie von unseren

IDA-Werten unterscheiden, liefert doch die jeweils signifikante Differenz zwischen den gemessenen Winkeln nach Kanaloplastik bzw. nach Phako-Kanaloplastik, die in beiden Studien nachgewiesen worden ist, einen deutlichen Hinweis darauf, dass eine alleinige Kanaloplastik den IDA nennenswert erhöht und nur die Kombination mit einer Phako/HKL hier signifikante Unterschiede zum präoperativen Bild liefert.

In Bezug auf den IDA ergibt sich in unserer Studie des weiteren die interessante Tatsache, dass die Ausgangswinkel der IDAs in den beiden verschiedenen Gruppen deutlich unterschiedliche Werte zeigten. Selbst die Aufteilung der Kanaloplastik-Gruppe in die beiden Subgruppen mit phaken bzw. pseudophaken Patienten, kann nicht den Unterschied der Ausgangswinkel erklären, wobei dieses Phänomen alleine auf den IDA zutrifft, während die durchschnittlichen Ausgangswerte der TDAs in der Kanaloplastik- und Phako-Kanaloplastik-Gruppe fast identisch sind. Vergleiche mit den Ausgangswerten anderer Autoren können hier nicht angestellt werden, da im Rahmen dieser Studie das erste Mal auch präoperative Winkel veröffentlicht werden.

Der mittlere IDA-Ausgangswert in der phaken Subgruppe war mit  $41,8 \pm 11,7$  Grad nur unbedeutend geringer als jener der pseudophaken Subgruppe mit  $44,3 \pm 3,6$  Grad, obwohl die gesamte Kanaloplastik-Gruppe einen deutlich höheren Ausgangswert hat als die Phako-Kanaloplastik-Gruppe mit  $32,2 \pm 5,7$  Grad. Hier kann letztendlich die Antwort auf die Frage gegeben werden, warum im Rahmen von Kanaloplastiken Kataraktoperationen durchgeführt werden, obwohl keine Visusverbesserung zu erwarten ist (vergleiche Kapitel 4.2) und es ist auch die Erklärung dafür, warum sich die präoperativen IDAs des Kanaloplastik- und Phako-Kanaloplastik-Kollektives stark voneinander unterscheiden: Eine HKL ist in ihrer vertikalen Ausdehnung wesentlich schmaler als die natürliche Linse und schafft so zusätzlich Platz in der Vorderkammer und somit einen größeren IDA. Somit wird Patienten, die präoperativ einen relativ flachen IDA vorweisen, eine zusätzliche Kataraktoperation angeboten, um den Erfolg der Operation zu gewährleisten und um eine kontraproduktiv wirkende Kammerwinkeleinengung durch die Fadenspannung zu vermeiden. Patienten, die präoperativ bereits über einen weiten IDA verfügen, würden von einer zusätzlichen Kataraktoperation nicht profitieren.

Ähnlich verhält es sich mit dem Ausgangswert der Vorderkammertiefe, der ACD. Selbstverständlich ist wegen der deutlich geringeren Dicke einer HKL, der durchschnittliche präoperative ACD der pseudophaken Kanaloplastik-Subgruppe mit

3815,9 ± 129,0 µm höher als jener der phaken Kanaloplastik-Subgruppe oder jener der phaken Phako-Kanaloplastik-Gruppe. Dass sich auch die beiden ACD-Ausgangswerte der phaken Kanaloplastik-Gruppe mit 3218,8 ± 385,2 µm und der phaken Subgruppe der Phako-Kanaloplastik-Gruppe mit 2807,9 ± 272,1 µm deutlich voneinander unterscheiden ist, wie auch schon beim IDA, dadurch zu erklären, dass bei Patienten mit einer eher flachen Vorderkammer eine zusätzliche Kataraktoperation indiziert war und diese davon zu profitieren zu scheinen, um eine Vertiefung zu erreichen. Der überragende Vorteil dieses Vorgehens liegt darin, dass es so auch jenen Patienten ermöglicht von den Vorteilen einer Kanaloplastik zu profitieren, die wegen einer zu flachen Vorderkammer nicht für diese Operation in Frage gekommen wären. Selbstverständlich ist die Indikation für eine Kataraktoperation auch dann gegeben, wenn die Patienten bereits eine fortschreitende Katarakt aufweisen und somit der Visus reduziert ist und statt einer Kanaloplastik eine Phako-Kanaloplastik durchgeführt wird. Bei dem o.g. guten Ausgangsvisus war dies bei unserem Kollektiv nicht häufig der Fall.

Wenn in der Literatur auch ein drucksenkender Effekt durch eine alleinige Kataraktoperation beschrieben ist (Grehn und Klink, 2004; Klink et al., 2010), so zeigen unsere Ergebnisse, dass die nahezu identische IOD-Entwicklung der beiden Gruppen beweisend für die Effektivität der Kanaloplastik ist, unabhängig davon, ob durch eine HKL-Implantation mehr Platz in der Vorderkammer geschaffen wird und folglich auch höhere ACD und IDA zu erreichen sind.

Ein weiteres interessantes Ergebnis ist, dass hinsichtlich der IDA-Entwicklung ein Unterschied zwischen den beiden Kanaloplastik-Subgruppen besteht. Laut unserer Ergebnisse profitierten pseudophake Patienten hinsichtlich ihrer IDA-Entwicklung von der Kanaloplastik, während die phake Subgruppe nicht davon profitiert hat, welches auch die IDA-Entwicklung der gesamten Kanaloplastik-Gruppe widerspiegelt. Mit der ACD verhält es sich nicht so, denn es gibt hier bei keiner der beiden Kanaloplastik-Subgruppen eine nennenswerte Veränderung. Als interessantes Detail sei hier auch die besonders geringe Standardabweichung des ACD-Mittelwerts von 129,0 µm präoperativ und 185,8 µm sechs Monate postoperativ in der pseudophaken Subgruppe der Kanaloplastik-Gruppe zu nennen. Die Standardabweichung des ACD-Mittelwerts in der phaken Kanaloplastik-Gruppe beträgt mit 385,2 µm präoperativ und 467,6 µm sechs Monate wesentlich mehr und zeugt von einer großen Homogenität der pseudophaken Subgruppe.

#### **4.4 Komplikationen**

In der internationalen Literatur findet man intra- und postoperative Komplikationen, welche sehr ähnlich zu denen unserer Daten sind und in denselben auch schon sehr ausführlich diskutiert wurden. Bei einer Komplikationsrate von unter 10% wird von vereinzelt Folge-Operationen wie Kataraktoperation, Trabekulektomie und YAG-Laser-Intervention, Bindhautnahtrevisionen, Irisreposition und Goniopunktion berichtet (Brüggemann et al., 2012/1; Brüggemann et al., 2012/2; Bull et al., 2011; Grieshaber et al., 2011; Koerber et al., 2012; Körber et al., 2008; Lewis et al., 2009; Lewis et al., 2007; Lewis et al., 2011; Matthaei et al., 2011; Shingleton et al., 2008).

Bei der Fadendurchwanderung aus dem SK nach zentral auf die Irisvorderfläche, dem sogenannten Cheese Wiring, konnten wir in unserer Studie feststellen, dass bei den einzelnen Patienten, bei denen diese Komplikation auftrat, trotzdem eine signifikante Senkung des IODs ohne zusätzliche antiglaukomatöse lokale Medikation erreicht werden konnte. Auch ästhetisch kam es dahingehend zu keinen Einbußen, da der Faden nur in der Spaltlampenuntersuchung sichtbar war, wie es in Abbildung 39 auf S. 53 dargestellt ist.

Eine häufige Begleiterscheinung an den ersten postoperativen Tagen nach Kanaloplastik-Operationen ist das Hyphäma, welches sich bei insgesamt 25 von 47 oder 53,2 % unserer Patienten zeigte und sich in insgesamt 16 von 25 oder 64,0 % dieser Fälle als Mikrohyphäma äußerte und nicht als Komplikation gewertet werden kann, sondern generell nach komplikationsloser Operation den IOD betreffend sogar als prognostisch günstiger Faktor erweist. Tatsächlich kann ein Mikrohyphäma ein Zeichen für ein funktionierendes und physiologisch offenes kanalikuläres Abflusssystem sein. Die physiologische Erklärung dafür ist die postoperative IOD-Senkung, die zu einer Druckumkehr zwischen episkleralem venösem Druck und IOD führt. Der daraus resultierende Blutreflux aus den Kollektorkanälen erzeugt das Mikrohyphäma.

(Grieshaber et al., 2011).

Insgesamt gehen unsere Ergebnisse, die Komplikationen betreffend, mit denen aller internationalen Studien zur Kanaloplastik und Phako-Kanaloplastik einher, die einhellig darauf hinweisen, dass die Kanaloplastik ein sehr komplikationsarmes Operationsverfahren darstellt (Bull et al., 2011; Körber et al., 2008).

In unserer Studie kann es außerdem als Komplikation angesehen werden, wenn nach der Kanaloplastik oder Phako-Kanaloplastik noch IOD-senkende AT nötig waren. Nur je ein

Proband aus je einer Gruppe benötigte nach der Operation im Verlauf noch Augentropfen. Rechnet man diese eine Person auf die jeweilige Gruppe um, so haben wir in der Kanaloplastik-Gruppe nach sechs Monaten einen mittleren AT-Gebrauch von  $0,06 \pm 0,2$  und in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe von  $0,03 \pm 0,2$ . Im Rahmen der IOD-Diskussion wurde dieser Wert bereits mit denen anderer Studien verglichen.

## 5 Schlussfolgerungen

Die deutliche Abnahme des IODs nach Kanaloplastik, unabhängig davon, ob in ihrem Rahmen auch eine Kataraktoperation erfolgt, zeugt von der überragenden Effektivität dieses Verfahrens und zeigt, dass unsere Ergebnisse dem internationalen Vergleich nicht nur standhalten, sondern mit einer mittleren IOD-Senkung um 59% an erster Stelle liegen.

Der Visus hat sich bei den Patienten, abgesehen von einem kurzen postoperativen Visusabfall, durch die Kanaloplastik nicht verändert. Eine Visusverbesserung durch Kanaloplastik, wie sie vereinzelt in Studien beschrieben worden ist, konnte in der vorliegenden Studie nicht nachvollzogen werden.

Dies ist die erste Kanaloplastik-Studie, in der Vorderkammerstrukturen prä- und postoperativ ausgewertet wurden und das erste Mal fand das patientenfreundliche SL-OCT in einer solchen Studie Anwendung. Weiterhin ist durch unsere Ergebnisse erkennbar, dass das Modell der Fadenspannung von Lewis et al. bestätigt werden kann, seine Skalierung jedoch überdacht werden sollte.

Die spannendste Aussage dieser Arbeit ist jene, dass nicht die Vorderkammertiefe (ACD) oder der Vorderkammerwinkel (IDA), sich durch die Kanaloplastik alleine verändern, sondern der Skleraspornwinkel (TDA), dessen Erhöhung durch die Kanaloplastik für einen besseren Abfluss des Vorderkammerwassers sorgt und letztlich den entscheidenden Beitrag zur Senkung des IODs leistet. Durch die jeweilige Fadenspannung wird, unabhängig davon ob eine zusätzliche Phako/HKL erfolgt, eine Erhöhung dieses besonderen Winkels erreicht, während der IDA und die ACD von dieser Operation praktisch unberührt bleiben. Eine Erhöhung dieser beiden Winkel ist durch eine zusätzliche Kataraktoperation zu erreichen.

Die zusätzliche Kataraktoperation wird bei relativ klarer Linse, dann angeboten, wenn eine Engwinkelkomponente vorliegt und somit die Kanaloplastik auch jenen Patienten zugänglich gemacht werden kann, die ansonsten für die Kanaloplastik nicht in Frage kommen würden. Der TDA wird durch eine Kataraktoperation um 8% mehr gesteigert als durch eine alleinige Kanaloplastik, wobei die signifikanten Veränderungen bezüglich der Vorderkammerstrukturen im Rahmen dieser Zusatzoperation nur für den IDA und die ACD erreicht werden, welche für den weiteren Verlauf des IODs eine geringere Bedeutung spielen als der TDA. Die Frage, ob diese 8% den Unterschied zwischen Erfolg und Misserfolg der Kanaloplastik ausmachen, bleibt noch zu beantworten und wirft

interessante Fragen auf, die im Rahmen zukünftiger Studien noch beantwortet werden müssen.

Das Komplikationsspektrum der Kanaloplastik und Phako-Kanaloplastik erweist sich als wesentlich geringer als jenes von filtrierenden Eingriffen. Ein erfreulicher Umstand, der in unserer Studie bestätigt werden konnte und die abschließende und wichtigste Bestätigung dieser qualitativ hochwertigen Intervention darstellt.

## 6 Zusammenfassung

Die Kanaloplastik stellt eine junge Operationsmethode in der Behandlung des Offenwinkelglaukoms dar. Die Auswirkung dieser Intervention auf verschiedene Vorderkammerstrukturen wurde in der vorliegenden Arbeit das erste Mal mittels dem patientenfreundlichen SL-OCT biomorphometrisch untersucht.

Die vorliegende Studie ist ein prospektiver konsekutiver Fallserienvergleich von 47 Patienten, die eine Kanaloplastik oder eine Phako-Kanaloplastik erhielten. Neben den Vorderkammerstrukturen wurde der IOD und der Visus präoperativ, einen Tag postoperativ, einen Monat postoperativ, sowie drei und sechs Monate postoperativ vermessen. Im Zentrum der Ausmessung der Vorderkammerstrukturen standen dabei zwei Winkel: der Skleraspornwinkel (Trabecular Distension Angle, TDA) und der Vorderkammerwinkel (Irido-Trabecular Distention Angle, IDA). Weitere biomorphometrische Parameter waren die Vorderkammertiefe (Anterior Chamber Depth, ACD), die sklerakanalikuläre Distanz (SCD), die Hornhautdicke, die radiäre Descemetfensterausdehnung sowie die Sickerkissendicke. Insgesamt hat die Autorin mittels SL-OCT rund 3500 Einzelmessungen der o.g. Vorderkammerstrukturen vorgenommen, tabellarisch protokolliert und die jeweiligen Mittelwerte miteinander verglichen. Die Untersuchung der jeweiligen Komplikationen nach Kanaloplastik bzw. Phako-Kanaloplastik runden das Untersuchungsspektrum ab.

Der IOD betrug in der Kanaloplastik-Gruppe präoperativ durchschnittlich  $29,3 \pm 6,2$  mmHg und in der Phako-Kanaloplastik-Gruppe  $31,9 \pm 7,5$  mmHg und lag sechs Monate postoperativ in beiden Gruppen bei  $12,0 \pm 3,3$  mmHg bzw.  $12,0 \pm 3,2$  mmHg bei einem Visus von logMAR von  $0,1 \pm 0,1$  in beiden Gruppen. Der TDA stieg von präoperativ  $18,9 \pm 4,9$  Grad bzw.  $19,0 \pm 4,0$  Grad auf postoperativ  $24,9 \pm 3,2$  Grad bzw.  $28,0 \pm 3,9$  Grad. Der IDA lag präoperativ bei  $42,9 \pm 8,9$  Grad bzw. bei  $32,2 \pm 5,7$  Grad und postoperativ bei  $47 \pm 9,7$  Grad bzw.  $51,2 \pm 6,5$  Grad was einer Steigerung von 8,7% bzw. 35,7% entspricht. Das Descemetfenster maß durchschnittlich  $535,6 \pm 241,8$   $\mu\text{m}$  bzw.  $567,7 \pm 245,6$   $\mu\text{m}$ . Die SCD betrug durchschnittlich präoperativ  $834,7 \pm 94,5$   $\mu\text{m}$  bzw.  $809 \pm 76,2$   $\mu\text{m}$  und postoperativ  $954,4 \pm 79,5$   $\mu\text{m}$  bzw.  $1023,8 \pm 88,7$   $\mu\text{m}$ . Es zeigte sich somit in beiden Gruppen eine identische Reduktion des IOD, wobei der TDA für die Kanaloplastik und für die Phako-Kanaloplastik den entscheidenden drucksenkenden Parameter darstellt.

## 7 Literaturverzeichnis

- Auffarth GU, Borkenstein AFM, Ehrner A, Mannsfeld A, Rabsilber TM, Holzer MP (2008) Scheimpflug- und Topographiesysteme in der ophthalmologischen Diagnostik. *Ophthalmologie* 105: 810-817
- Ayyala RS, Chaudhry AL, Okogbaa CB, Zurakowski D (2011) Comparison of surgical outcomes between canaloplasty and trabeculectomy at 12 months' follow-up. *Ophthalmology* 118(12): 2427-2433
- Best UP, Domack H, Schmidt V (2007) Augendrucksenkung nach Selektiver Lasertrabekuloplastik (SLT) mit zwei unterschiedlichen Lasersystemen und nach Argonlasertrabekuloplastik (ALT) – Eine kontrollierte prospektive klinische Studie an 284 Augen. *Klin Monbl Augenheilkd* 224(3): 173-179
- Brüggemann A, Torrent Despouy J, Wegent A, Müller M (2012a) Intra-individual comparison of canaloplasty versus trabeculectomy with Mitomycin C in a single surgeon series. accepted in press
- Brüggemann A, Torrent Despouy J, Wegent A, Müller M (2012b) Trabeculectomy versus Canaloplasty - utility and cost-effectiveness analysis. *Klin Monbl Augenheilkd* 229(11): 1118-1123
- Bull H, von Wolff K, Körber N, Tetz M (2011) Three-year canaloplasty outcomes for the treatment of open-angle glaucoma: European study results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 249(10): 1537-1545
- Cameron B, Field M, Ball S, Kearney J (2006) Circumferential viscodilation of Schlemm's canal with a flexible microcannula during non-penetrating glaucoma surgery. *Digital Journal of Ophthalmology* 12(1)
- Carassa RG, Bettin P, Fiori M, Brancato R (2003) Visco canalostomy versus trabeculectomy in white adults affected by open-angle glaucoma: a 2-year randomized, controlled trial. *Ophthalmology* 110(5): 882-887
- Dinc UA, Kulacoglu DN, Oncei B, Yalvac IS (2010) Quantitative assessment of anterior chamber parameters in pigmentary glaucoma using slit-lamp optical coherence tomography. *Eur J Ophthalmol* 20(4): 702-707
- Fyodorov SN, Ioffe DI, Ronkina TI (1984) Deep sclerotomy: technique and mechanism of a new glaucomatous procedure. *Glaucoma* 6: 281-283

- Grehn F, Klink T (2004) Kombinierte Glaukom-Katarakt-Operation. *Ophthalmologie* 101: 661-666
- Grehn F (2011) Glaukom. In: Grehn F (Hrsg.): *Augenheilkunde*. 31. Aufl., 295-332, Springer, Heidelberg
- Griehaber MC, Schoetzau A, Flammer J, Orgul S (2011) Postoperative microhyphema as a positive prognostic indicator in canaloplasty. *Acta Ophthalmol*
- Holladay JT (2004) Visual acuity measurements. *J Cataract Refract Surg* 30: 287-290  
<http://cms.augeninfo.de/nc/hauptmenu/presse/statistiken/statistik-glaukom.html> (Tag des Zugriffs: 14.09.2011)
- <http://www.gbe-bund.de> (Tag des Zugriffs: 06.06.2012)
- <http://www.staar.com/html/aquaflow.html> (Tag des Zugriffs: 18. 07. 2013)
- <http://www.who.int/blindness/causes/priority/en/index7.html>  
 (Tag des Zugriffs: 14.09.2011)
- Hüttmann G, Lankenau E, Schulz-Wackerbarth C, Müller M, Steven P Birngruber R (2009) Optical coherence tomography: from retina imaging to intraoperative use - a review. *Klin Monbl Augenheilkd* 226(12): 958-964
- Johnstone MA (1974) Pressure dependent changes in configuration of the endothelial tubules of Schlemm's canal. *American Journal of Ophthalmology* 78: 630-638
- Karow T, Lang-Roth R (2011) Arzneimittel in der Ophthalmologie. *Allgemeine und Spezielle Pharmakologie und Toxikologie* Karow T, Lang-Roth R, Pulheim, Karow T 1027-1036
- Khalili M A, Diestelhorst M, Krieglstein G K (2000) Long-term follow-up of 700 trabeculectomies. *Klin Monbl Augenheilkd* 217(1): 1-8; discussion 9
- Klink TH, Müller M, Zierhut M, Geerling G (2010) Glaucoma and cataract. *Ophthalmologie* 107(5): 403-408
- Körper N (2008) Canaloplasty: The less traumatic alternative. *Ophthalmology Times Europe*: 20-23
- Körper N (2012) Canaloplasty in one eye compared with viscocanalostomy in the contralateral eye in patients with bilateral open-angle glaucoma. *J Glaucoma* 21(2): 129-134
- Krasnov MM (1968) Externalization of Schlemm's canal (sinusotomy) in glaucoma. *Br J Ophthalmol* 52(2): 157-161

- Lang GK (2008) Glaukom. In: Lang GK, Gareis O, Lang GE, Recker D, Spraul CW, Wagner P (Hrsg.): *Augenheilkunde*. 4. Aufl., 225-271, Thieme, Stuttgart
- Lewis RA, von Wolff K, Tetz M, Körber N, Kearney JR, Singelton BJ, Samuelson TWK (2009) Canaloplasty: Circumferential viscodilation and tensioning of Schlemm's canal using a flexible microcatheter for the treatment of open-angle glaucoma in adults. Two-year interim clinical study analysis. *J Cataract Refract Surg* 35: 814-824
- Lewis RA, von Wolff K, Tetz M, Körber N, Kearney JR, Singelton BJ, Samuelson TWK (2011) Canaloplasty: Three-year results of circumferential viscodilation and tensioning of Schlemm canal using a microcatheter to treat open-angle glaucoma. *J Cataract Refract Surg* 37(4): 682-690
- Lewis RA, von Wolff K, Tetz M, Körber N, Kearney JR, Singelton BJ, Samuelson TWK (2007) Canaloplasty: Circumferential viscodilation and tensioning of Schlemm's canal using a flexible microcatheter for the treatment of open-angle glaucoma in adults. Interim clinical study analysis. *J Cataract Refract Surg* 33: 1217-1226
- Matthaei M, Steinberg J, Wiermann A, Richard G, Klemm MK (2011) Kanaloplastik. Eine neue Alternative in der nicht penetrierenden Glaukomchirurgie. *Ophthalmologie* 108: 637-647
- Müller M, Geerling G (2008) Anterior segment optical coherence tomography in glaucoma. *Klin Monbl Augenheilkd* 225(3): 194-199
- Müller M, Schulz-Wackerbarth C, Steven P, Lankenau E, Bonin T, Müller H, Brüggemann A, Birngruber R, Grisanti S, Hüttmann G (2010) Slit-lamp-adapted fourier-domain OCT for anterior and posterior segments: preliminary results and comparison to time-domain OCT. *Curr Eye Res* 35(8): 722-732
- Niegel M, Körber N (2012) Die nichtpenetrierende Glaukomchirurgie. *Augenheilkunde up2date* 2: 111-122
- O'Brart DP, Shiew M, Edmunds B (2004) A randomised, prospective study comparing trabeculectomy with viscocanalostomy with adjunctive antimetabolite usage for the management of open angle glaucoma uncontrolled by medical therapy. *Br J Ophthalmol* 88(8): 1012-1017
- Olthoff CM, Schouten JS, van de Borne BW, Webers CA (2005) Noncompliance with ocular hypotensive treatment in patients with glaucoma or ocular hypertension an evidence-based review. *Ophthalmology* 112(6): 953-961

- Sakata LM, Wong TT, Wong HT, Kumar RS, Htoon HM, Aung HM, He M, Aung T (2010) Comparison of Visante and slit-lamp anterior segment optical coherence tomography in imaging the anterior chamber angle. *Eye (Lond)* 24(4): 578-587
- Sbeity Z, Baydoun, L (2009) World glaucoma day. Gain awareness of a leading cause of avoidable blindness. *Ophthalmologie* 106(4): 368-369
- Shingleton B, Tetz M, Körber N (2008) Circumferential viscodilation and tensioning of Schlemm canal (canaloplasty) with temporal clear corneal phacoemulsification cataract surgery for open-angle glaucoma and visually significant cataract: one-year results. *J Cataract Refract Surg* 34(3): 433-440
- European Glaucoma Society (2008) Terminology and Guidelines for Glaucoma, 3<sup>rd</sup> edition, Savona, Italy, Dogma
- Stegmann R, Pienaar A, Miller DK (1999) Visco canalostomy for open-angle glaucoma in black African patients. *J Cataract Refract Surg* 25(3): 316-322.
- Toris CB, Yablonski M, Tamesis R (2007) Aqueous humor dynamics. In: Choplin NT, Lundy DC (Hrsg.): *Atlas of Glaucoma*. 13-27, Informa Healthcare, London
- Ursea R, Silverman RH (2010) Anterior-segment imaging for assessment of glaucoma. *Expert Rev Ophthalmol* 5(1): 59-74
- Viestenz A, Vogt S, Langenbacher A, Walter S, Behrens-Baumann W (2009) Biometry of the anterior segment using optical coherence tomography: Evaluation of different devices and analysis programs. *Ophthalmologie* 106(8): 723-728
- Wong HT, Chua JL, Sakata LM, Wong MH, Aung HT, Aung T (2009) Comparison of slitlamp optical coherence tomography and scanning peripheral anterior chamber depth analyzer to evaluate angle closure in Asian eyes. *Arch Ophthalmol* 127(5): 599-603
- Yalvac IS, Sahin M, Eksioglu U, Midillioglu IK, Aslan BS, Duman S (2004) Primary visco canalostomy versus trabeculectomy for primary open-angle glaucoma: three-year prospective randomized clinical trial. *J Cataract Refract Surg* 30(10): 2050-2057

## 8 Abkürzungsverzeichnis

ACD	Anterior Chamber Depth (Vorderkammertiefe)
AS	Augensalbe
AT	Augentropfen
BCVA	best corrected visual acuity (bestkorrigierter Visus)
B-MICS	biaxial micro-incision cataract surgery
CW	cheese wiring (Fadenausriss)
HKL	Hinterkammerlinse
IDA	Irido-Trabecular Distention Angle (Vorderkammerwinkel)
IOD	Intraokulardruck
LK	Laserkoagulation
LTG	Low tension glaucoma (Normaldruckglaukom)
OCT	Optische Kohärenztomographie (optical coherence tomography)
pOWG	primäres Offenwinkelglaukom
Phako	Phakoemulsifikation
PEX	Pseudoexfoliationsglaukom
PDG	Pigmentdispersionsglaukom
SCD	Sclera-Canalicular-Distance (Sklerakanalikuläre Distanz)
SK	Schlemmkanal
SL-OCT	Spaltlampenadaptierte-OCT
SLT	Selektive Lasertrabekuloplastik
TDA	Trabecular Distention Angle (Skleraspornwinkel)
TE	Trabektulektomie
TMW	Trabekelmaschenwerk
YAG-IRT	Yttrium-Aluminium-Granat-Laser-Iridotomie
UBM	Ultrasound Biomicroscopy (Ultraschall-Biomikroskopie)

## 9 Danksagungen

Ich möchte meiner Doktormutter Frau Professor Dr. med. Maya Müller für die Überlassung des Themas und für ihre intensive Unterstützung danken. Obwohl sie während der Korrekturphase ihren Umzug ins Ausland organisieren musste und am Beginn einer Chefarztstelle stand, fand sie die Zeit meine Doktorarbeit zu betreuen.

Frau Dr. med. Anne Brüggemann danke ich für ihre unermüdliche Bestärkung und Aufmunterung und ihre prompten Antworten auf meine vielfältigen Fragen. Durch unsere gemeinsame Zusammenarbeit hat sich für mich der Terminus konstruktive Kritik in anschaulicher Weise neu definiert.

Frau Petra Hammermeister danke ich fürs Korrekturlesen, für die Hilfe bei der Bereitstellung von Literatur und dafür, dass ich mich im Wissenschaftssekretariat immer so wohl fühlen durfte.

Herrn Professor Dr. med. Salvatore Grisanti danke ich dafür, dass ich an seiner Klinik meine Doktorarbeit ausführen durfte.

Herrn Zjelko Stimac und Herrn Dr. med. Joshua Torrent Despouy danke ich für die Hilfe mit vielen technischen Details des SL-OCTs.

Ich danke Frau Dr. rer. nat. Aysegul Tura vom Forschungslabor der Universitätsaugenklinik Lübeck, dass sie mich zum richtigen Zeitpunkt in ein paar entscheidende Geheimnisse der Statistik eingeführt hat.

Großer Dank gilt meinem Ehemann Ralph Notbom und meinen beiden Kindern Sophie Marie und Philipp Alexander, die mich nicht nur bei der Verwirklichung dieser Doktorarbeit bestärkt und unterstützt haben, sondern auch von Anfang bis Ende mein Großprojekt Medizinstudium tapfer mitgetragen haben.

## 10 Lebenslauf



### Berufserfahrung:

seit August 2013	Assistenzärztin an der Klinik für Gefäß- und Thoraxchirurgie, Sana Klinik Lübeck
2011 – 2013	Studentische Hilfskraft an der Klinik für Chirurgie, Universität zu Lübeck
2008 – 2009	Tutorin am Anatomischen Institut, Universität zu Lübeck
2010 – 2011	Lehrerin für Sport am Europagymnasium Schwarzenbek
2007 – 2008	Lehrerin für Sport am Leibniz-Gymnasium Bad Schwartau
1999 – 2006	Lehrerin für Englisch und Sport und Referentin für Jugendrotkreuzarbeit an der Handelsakademie Rudigierstraße, Linz, Österreich

### Bisherige Famulaturen und Praktika:

Sept./Oktober 2011	Praxis für Chirurgie, Dr. Busse/Dr. Sagebiel, Lübeck
August 2011	Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinik Lübeck
September 2010	Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinik Lübeck
September 2009	Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe, Universitätsklinik Lübeck
Mai/Juni 1998	Institut für Sportmedizin der Universität Hamburg

### Universitätsstudien:

2006 – 2013	Studium Humanmedizin an der Universität zu Lübeck
1992 - 1998	Studium Lehramt Sport und Englisch an der Universität Wien Hauptfach: Therapeutische und prophylaktische Aspekte des Sports <u>Diplomarbeitsthema:</u> Die Einflüsse von sportlicher Aktivität auf maligne Tumoren – Ansätze zur Trainingsgestaltung bei Krebspatienten

### Schulbildung:

1990 – 1991	High School Equivalency Diploma, Great Neck, N.Y., USA
1986 – 1990	Bundesoberstufenrealgymnasium, Perg, Österreich
1982 – 1986	Hauptschule, Bad Zell, Österreich
1978 – 1982	Volksschule, Bad Zell, Österreich

### Familienstand:

Verheiratet und zwei Kinder (9 und 11 Jahre alt)

## 11 Publikationen

### Paper:

Brüggemann A, Wegent A, Torrent Despouy J, Ranjbar M, Schulz-Wackerbarth C, **Moser-Notbom K**, Müller M (2013) Canaloplasty versus concurrent Phaco-Canaloplasty. Spectrum of Complications after Canaloplasty and Phacocanaloplasty: Factors for Surgical Success, (submitted in Current Eye Research)

### Buchbeiträge:

Müller M, **Moser-Notbom K**, Ranjbar M, Schulz-Wackerbarth C, Wegent A, Torrent J, Brüggemann A (2013) Biomorphometrie vor und nach Kanaloplastik und Phako-Kanaloplastik. In: Kuchenbecker J, Kohnen T (Hrsg.): Jahresband des 27. Kongresses der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation, interventionelle und refraktive Chirurgie DGII, Biermann, Köln (in press)

### Vorträge:

Müller M, **Moser-Notbom K**, Ranjbar M, Schulz-Wackerbarth C, Wegent A, Torrent J, Brüggemann A (2013) Biomorphometrie vor und nach Kanaloplastik und Phako-Kanaloplastik, 27. Kongress der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation, interventionelle und refraktive Chirurgie DGII am 12. 04. 2013, Heidelberg

Müller M, **Moser-Notbom K**, Ranjbar M, Schulz-Wackerbarth C, Wegent A, Torrent J, Brüggemann A (2013) Biomorphometrie vor und nach Kanaloplastik und Phako-Kanaloplastik. Kongress der Schweizerischen Ophthalmologischen Gesellschaft am 30. 08. 2013, Locarno