

Aus der Augenklinik und Poliklinik
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

360 Grad-Trabekulotomie vs. Sonden-Trabekulotomie beim kindlichen Glaukom

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Paul Josef Oster
aus Koblenz

Mainz, 2023

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. U. Förstermann

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 05. März 2024

Meiner Familie in Liebe gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Einleitung / Ziel der Dissertation.....	1
2 Literaturdiskussion.....	3
2.1 Definition Glaukom.....	3
2.2 Augeninnendruck.....	3
2.3 Das kindliche Glaukom.....	5
2.4 Das primäre kongenitale Glaukom.....	5
2.4.1 Definition.....	5
2.4.2 Klassifikation des kongenitalen Glaukoms laut EGS Guidelines.....	7
2.4.3 Differentialdiagnosen.....	7
2.5 Kindliches Offenwinkelglaukom mit spätem Beginn/ frühes juveniles Glaukom.....	8
2.6 Sekundäre kindliche Glaukome.....	8
2.7 Glaukom nach Katarakt-Operation.....	9
2.8 Axenfeld-Rieger-Syndrom.....	9
2.9 Peters-Anomalie.....	10
2.10 Sturge-Weber-Syndrom.....	10
2.11 Folgen des Glaukoms.....	11
2.12 Therapie.....	11
2.12.1 Ziele Therapie.....	12
2.12.2 Medikamentöse Therapie.....	12
2.12.3 Chirurgische Therapie.....	12
2.12.3.1 Operationsprinzipien.....	12
2.12.3.2 Sonden-Trabekulotomie.....	14
2.12.3.3 360 Grad-Katheter-Trabekulotomie.....	15
2.12.3.4 Verlaufskontrollen und Nachbehandlung.....	15
3 Patienten, Material und Methoden.....	16
3.1 Patientenkollektiv.....	16

3.2	Datenerhebung	16
3.3	Statistische Auswertung.....	18
4	Ergebnisse.....	19
4.1	Patientenkollektiv	19
4.2	Anzahl der jeweiligen Operationen	20
4.3	Voroperationen	21
4.3.1	360 Grad-TO	21
4.3.2	Sonden-TO.....	22
4.3.3	Inkomplette 360 Grad-TO	23
4.4	Diagnosen.....	25
4.4.1	Primäres kongenitales Glaukom	26
4.4.2	Andere kindliche Glaukome	27
4.5	Revisionsoperationen	28
4.5.1	360 Grad-TO	29
4.5.2	Sonden-TO.....	29
4.5.3	Inkomplette 360 Grad-TO	29
4.5.4	Vergleich zwischen 360 Grad-TO und Sonden-TO.....	29
4.5.5	Vergleich nach Diagnosen und Operationsmethoden	30
4.5.5.1	Primäres kongenitales Glaukom	30
4.5.5.2	Andere kindliche Glaukome	31
4.6	Vergleich des IOD zum Operationszeitpunkt und Studienende.....	32
4.6.1	Gesamtkollektiv.....	32
4.6.2	IOD-Auswertung kompletter Zeitraum 360 Grad-TO	33
4.6.3	IOD-Auswertung kompletter Zeitraum Sonden-TO	34
4.6.4	IOD-Auswertung kompletter Zeitraum inkomplette 360 Grad-TO	34
4.6.5	Vergleich IOD-Differenz 360 Grad-TO und Sonden-TO kompletter Zeitraum	34
4.7	Vergleich des IOD im Kollektiv ohne Revisionsoperationen.....	36
4.7.1	Gesamtkollektiv.....	36
4.7.2	IOD-Auswertung 360 Grad-TO	37
4.7.3	IOD-Auswertung Sonden-TO	37

4.7.4	IOD-Auswertung inkomplette 360 Grad-TO	37
4.7.5	Vergleich 360 Grad-TO und Sonden-TO	38
4.8	Vergleich 360 Grad-TO und Sonden-TO nach 2 Jahren	40
4.8.1	Vergleich IOD nach 2 Jahren inklusive Revisionsoperationen	40
4.8.2	Vergleich IOD nach 2 Jahren ohne Revisionen	42
4.9	Vergleich IOD-Senkung nach Diagnose	43
4.9.1	Kongenitales Glaukom	43
4.9.1.1	Gesamtkollektiv	43
4.9.1.2	360 Grad-TO	43
4.9.1.3	Sonden-TO	44
4.9.1.4	Vergleich Sonden-TO und 360 Grad-TO	44
4.9.2	Diagnose: Andere kindliche Glaukome	45
4.9.2.1	Gesamtkollektiv	45
4.9.2.2	360 Grad-TO	45
4.9.2.3	Sonden-TO	46
4.9.2.4	Vergleich 360 Grad-TO und Sonden-TO	46
4.10	Erreichen der Erfolgskriterien	47
4.10.1	Beobachtungszeitraum	47
4.10.1.1	360 Grad-TO	47
4.10.1.2	Sonden-TO	47
4.10.1.3	Inkomplette 360 Grad-TO	47
4.10.2	Primäres Erfolgskriterium: IOD	48
4.10.2.1	360 Grad-TO	48
4.10.2.2	Sonden-TO	48
4.10.2.3	Inkomplette 360 Grad-TO	48
4.10.3	Chirurgischer Erfolg	49
4.10.3.1	360 Grad-TO	49
4.10.3.2	Sonden-TO	49
4.10.3.3	Inkomplette 360 Grad-TO	49
4.10.3.4	Vergleich kompletter chirurgischer Erfolg 360 Grad-TO und Sonden-TO ..	49

4.10.4	Qualifizierter Erfolg.....	51
4.10.5	Erfolg ohne Voroperationen	52
4.10.5.1	360 Grad-TO	52
4.10.5.2	Sonden-TO.....	52
4.10.5.3	Inkomplette 360 Grad-TO	52
4.10.5.4	Vergleich kompletter chirurgischer Erfolg 360 Grad-TO und Sonden-TO..	52
4.10.6	Erfolg nach 2 Jahren	54
4.10.6.1	360 Grad-TO	54
4.10.6.2	Sonden-TO.....	54
4.10.6.3	Inkomplette 360 Grad-TO	54
4.10.6.4	Vergleich kompletter chirurgischer Erfolg 360 Grad-TO und Sonden-TO...	54
4.11	Visus	56
4.11.1	Gesamt.....	56
4.11.1.1	Visus Studienbeginn	56
4.11.1.2	Visus Studienende	56
4.11.1.3	Visus-Entwicklung	56
4.11.2	360 Grad-TO	57
4.11.2.1	Visus Studienbeginn	57
4.11.2.2	Visus Studienende	57
4.11.2.3	Visus-Entwicklung 360 Grad-TO	57
4.11.3	Sonden-TO.....	58
4.11.3.1	Visus Studienbeginn	58
4.11.3.2	Visus Studienende	58
4.11.3.3	Visus-Entwicklung Sonden-TO	58
4.11.4	Vergleich Visus-Entwicklung 360 Grad-TO und Sonden-TO	58
4.12	Achsenlänge	60
4.12.1	Gesamt.....	60
4.12.1.1	Achsenlänge Studienbeginn	60
4.12.1.2	Achsenlänge Studienende	60
4.12.1.3	Entwicklung der Achsenlänge	60

4.12.2	360 Grad-TO	61
4.12.2.1	Achsenlänge Studienbeginn	61
4.12.2.2	Achsenlänge Studienende	61
4.12.2.3	Entwicklung der Achsenlänge 360 Grad-TO.....	61
4.12.3	Sonden-TO.....	62
4.12.3.1	Achsenlänge Studienbeginn	62
4.12.3.2	Achsenlänge Studienende	62
4.12.3.3	Entwicklung der Achsenlänge Sonden-TO	62
4.12.3.4	Vergleich Entwicklung der Achsenlänge 360 Grad-TO und Sonden-TO ...	62
4.13	Horizontaler Hornhautdurchmesser	64
4.13.1	Gesamt.....	64
4.13.1.1	HH Studienbeginn	64
4.13.1.2	HH Studienende.....	64
4.13.1.3	Entwicklung des horizontalen Hornhautdurchmessers	64
4.13.2	360 Grad-TO	65
4.13.2.1	HH Studienbeginn	65
4.13.2.2	HH Studienende.....	65
4.13.2.3	Entwicklung des horizontalen Hornhautdurchmessers 360 Grad-TO	65
4.13.3	Sonden-TO.....	66
4.13.3.1	HH Studienbeginn	66
4.13.3.2	HH Studienende.....	66
4.13.3.3	Entwicklung des horizontalen Hornhautdurchmessers Sonden-TO.....	66
4.13.4	Vergleich HH-Entwicklung 360 Grad-TO und Sonden-TO.....	66
5	Diskussion	68
5.1	Patientenkollektiv	68
5.2	Diagnosen.....	69
5.3	Voroperationen	69
5.4	Revisionsoperationen	70
5.5	Intraokulardruck	71
5.6	Erreichen der Erfolgskriterien	72

5.7	Visus	73
5.8	Achsenlänge	74
5.9	Horizontaler Hornhautdurchmesser	75
6	Zusammenfassung	75
7	Literaturverzeichnis.....	77
8	Danksagung.....	79
9	Tabellarischer Lebenslauf.....	81

Abkürzungsverzeichnis

360 Grad-TO	360 Grad-gestützte-Katheter-Trabekulotomie
ARS	Axenfeld-Rieger-Syndrom
CDR	Cup-Disc-Ratio
CGRN	Childhood Glaucoma Research Network
IOD	Intraokulärer Druck
I1	Operationszeitpunkt
I4	Intervall 4 (2 Jahre \pm 6 Monate)
PCG	primäres kongenitales Glaukom
POWG	primäres Offenwinkelglaukom
Sonden-TO	Sonden-Trabekulotomie
SWS	Sturge-Weber-Syndrom
HH	Horizontaler Hornhautdurchmesser

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Gesundheitszustand der Augen geschlechterverteilt.....	19
Abbildung 2	Anzahl der Operationen	20
Abbildung 3	Anzahl der Voroperationen in der 360 Grad-TO Gruppe	21
Abbildung 4	Anzahl der Voroperationen in der Sonden-TO Gruppe.....	22
Abbildung 5	Anzahl der Voroperationen in der inkompletten 360 Grad-TO Gruppe.....	23
Abbildung 6	Verhältnis der Voroperationen innerhalb der Operationsmethoden.....	24
Abbildung 7	Anzahl der Eingriffe bezogen auf die Operationsmethoden bei der Diagnose primäres kongenitales Glaukom.....	26
Abbildung 8	Anzahl der Eingriffe bezogen auf die Operationsmethoden bei der Diagnose andere kindliche Glaukome.....	27
Abbildung 9	Anzahl der Revisionsoperationen im Gesamtkollektiv	28
Abbildung 10	Verhältnis der Revisionsoperationen innerhalb der Operationsmethoden bei Diagnose des PCG	30
Abbildung 11	Verhältnis der Revisionsoperationen innerhalb der Operationsmethoden bei Diagnose andere kindliche Glaukome	31
Abbildung 12	IOD Gesamtkollektiv zum Operationszeitpunkt und letztem Termin.....	33
Abbildung 13	Entwicklung des Augeninnendrucks des Gesamtkollektivs nach Operationsmethoden.....	35
Abbildung 14	Entwicklung des Augeninnendrucks ohne Revisionsoperationen nach Operationsmethoden.....	39
Abbildung 15	Drucksenkung nach Operationsmethode Kollektiv ohne Revisionen.....	39
Abbildung 16	Entwicklung des durchschnittlichen IOD vom I1 bis I4 (2 Jahre ± 6 Monate)	41
Abbildung 17	Entwicklung des durchschnittlichen IOD vom I1 (Operationszeitpunkt) bis I4 (2 Jahre ± 6 Monate) ohne Revisionen	42
Abbildung 18	IOD letzter Kontrolltermin kleiner gleich 21 mmHg	48
Abbildung 19	Erfolg nach Operationsmethoden	50
Abbildung 20	Anzahl der Wirkstoffe zum letzten Kontrolltermin	51
Abbildung 21	Erfolg nach Operationsmethode ohne Voroperation.....	53
Abbildung 22	Visus-Entwicklung nach Operationsmethode.....	59
Abbildung 23	Entwicklung der Achsenlänge in mm nach Operationsmethode.....	63
Abbildung 24	HH-Entwicklung nach Operationsmethode	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Vergleich der Voroperationen innerhalb der Gruppen	24
Tabelle 2	Häufigkeit der Diagnosen.....	25
Tabelle 3	Häufigkeit der Operationsmethoden bei der Diagnose primäres kongenitales Glaukom.....	26
Tabelle 4	Häufigkeit der Operationsmethoden bei der Diagnose andere kindliche Glaukome.....	27
Tabelle 5	Vergleich der Revisionsoperationen innerhalb der Operationsmethoden.....	29
Tabelle 6	IOD Gesamtkollektiv zum Operationszeitpunkt und letztem Kontrolltermin...	32
Tabelle 7	IOD Gesamtkollektiv zum Operationszeitpunkt und letztem Kontrolltermin...	35
Tabelle 8	IOD Gesamtkollektiv zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin ohne Revisionsoperationen.....	36
Tabelle 9	IOD zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin des Kollektivs ohne Revisionsoperationen.....	38
Tabelle 10	IOD Gesamtkollektiv zum Operationszeitpunkt und I4.....	40
Tabelle 11	IOD Kollektiv ohne Revisionen zum Operationszeitpunkt und I4.....	42
Tabelle 12	IOD zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin bei Diagnose des kongenitalen Glaukoms.....	43
Tabelle 13	IOD zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin bei Diagnose des kongenitalen Glaukoms.....	44
Tabelle 14	IOD zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin bei Diagnose anderes kindliches Glaukom.....	45
Tabelle 15	IOD zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin bei Diagnose anderes kindliches Glaukom.....	46
Tabelle 16	Erfolg der Operationsmethoden	50
Tabelle 17	Erfolg nach Operationsmethode ohne Voroperation.....	53
Tabelle 18	Erfolg nach 2 Jahren +/- 6 Monaten.....	55
Tabelle 19	Visus-Entwicklung Gesamtkollektiv.....	56
Tabelle 20	Visus-Entwicklung nach Operationsmethode.....	59
Tabelle 21	Entwicklung der Achsenlänge Gesamtkollektiv.....	61
Tabelle 22	Entwicklung der Achsenlänge in mm nach Operationsmethode.....	63
Tabelle 23	HH-Entwicklung Gesamtkollektiv	64
Tabelle 24	HH-Entwicklung nach Operationsmethode	67

1 Einleitung / Ziel der Dissertation

In den ersten Lebensjahren eines Menschen ist die kortikale Entwicklung besonders ausgeprägt. Externe Stimuli sorgen für die Weiterentwicklung des Gehirns. Der Mensch nimmt über die Augen 80% der sensorischen Informationen auf. Tritt in dem komplexen System des Sehvorgangs eine Störung auf, führt dies zu einer verminderten Ausreifung des visuellen Systems und somit zu einer irreversiblen Minderung des Visus. Darüber hinaus entstehen motorische, kognitive und emotionale Entwicklungsstörungen (1).

Die aktuellen Zahlen der deutschen Schwerbehindertenstatistik zum 31.12.2021 zeigen die Relevanz der von Sehbeeinträchtigungen betroffenen Personen unter 18 Jahren. Diese Statistik umfasst in der Altersklasse 0-18 Jahre, 1505 Erblindete, 650 hochgradig Sehbehinderte und 2745 sonstig sehbehinderte Personen (2).

In Europa und weltweit ist das Glaukom die zweithäufigste Ursache für Erblindung und die häufigste Ursache für eine irreversible Erblindung (3).

In Deutschland handelt es sich bei der Glaukomerkrankung um eine „Volkskrankheit“ an der 1-2% der Bevölkerung leiden. Dies entspricht 800.000-1,6 Millionen Menschen. Bei 10% der Erkrankten liegen schwerste Sehstörungen bzw. Erblindungen vor. Hierzulande ist von einer Dunkelziffer von 50% auszugehen (4). Daher kommt der Früherkennung eine besondere Bedeutung zu.

In Deutschland erblinden infolge eines Glaukoms 2,4 von 100.000 Einwohnern, was knapp 2000 Menschen pro Jahr entspricht (5).

Das kongenitale Glaukom ist eine selten auftretende Variante des Glaukoms. Es wird davon ausgegangen, dass eins von 10.000 Kinder mit dieser Erkrankung geboren wird. Erfolgt keine Behandlung, resultiert aus dem pathologisch erhöhten Augeninnendruck (IOD) ein verstärktes Größenwachstum des Auges. Dies wird als Buphthalmus bezeichnet. Der erhöhte Augeninnendruck führt zu einer progredienten Sehnervschädigung. Sofern dieser fortschreitende Prozess nicht durch eine geeignete Therapie gestoppt wird, führt diese Erkrankung zu dem vollständigen Erblinden des betroffenen Auges (6).

In dem 2017 in Mainz eröffneten Deutschen Kinder Glaukomzentrum werden Neugeborene, Säuglinge und Kinder, die an Glaukom erkrankt sind, behandelt und operiert. Für das kongenitale Glaukom gibt es verschiedene Operationstechniken. In

dieser Dissertation werden die zwei in Mainz etablierten Operationstechniken, die Sonden-Trabekulotomie (Sonden-TO) und die 360 Grad-Katheter-gestützte-Trabekulotomie (360 Grad-TO), beschrieben und verglichen.

2 Literaturdiskussion

2.1 Definition Glaukom

Der Krankheitsbegriff Glaukom umfasst eine heterogene Gruppe von Augenerkrankungen. Charakteristisches Kennzeichen dieser Augenerkrankung ist die progredient verlaufende Exkavation der Papille und die damit verbundene Schädigung der Axone des Sehnervs. Dies führt zu einem zunehmenden, irreversiblen Verlust des Gesichtsfelds und endet unbehandelt in der Erblindung des Patienten (7).

Ein individuell zu hoher Augeninnendruck ist ein wichtiger pathogenetischer Faktor und Risikofaktor, jedoch kein obligater Bestandteil der Definition des Glaukoms. „Von Bedeutung für die individuelle Pathogenese des Glaukoms scheint weniger die statistische, absolute als vielmehr die individuelle, relative Höhe des IOD zu sein“ (8).

Ein für das betroffene Auge individuell zu hoher Augeninnendruck führt zu einer Deformation der Lamina cribrosa. An dieser Stelle verlassen die Ganglienzellaxone den Bereich mit dem höheren Gewebedruck (Augeninnendruck) und treten in die Optikusscheide ein, in der ein niedrigerer Umgebungsdruck herrscht. Durch eine Veränderung der Druckverhältnisse kommt es im Bereich der Lamina cribrosa zu einer Behinderung des retrograden Axoplasmtransports. Im Verlaufe dessen erhalten die betroffenen retinalen Ganglienzellen keine Überlebenssignal-Moleküle und treten in die Apoptose ein (7).

Es wird zwischen primären und sekundären Glaukomen unterschieden. Während primäre Glaukome spontan auftreten, sind sekundäre Glaukome mit anderen Augen- oder Allgemeinerkrankungen assoziiert (7).

2.2 Augeninnendruck

Das Kammerwasser wird von dem Ziliarepithel durch aktive Sekretion und Ultrafiltration gebildet. Pro Minute werden 2,4 ml in die Hinterkammer sezerniert. Dieses fließt an der Linse vorbei durch die Pupille und gelangt in die Vorderkammer, wo es über das schwammartige Trabekelwerk im Kammerwinkel in den Schlemm-Kanal und über Venen der Sklera und Bindehaut in den Blutkreislauf gelangt. Über diesen trabekulären Abflussweg wird 85% des Kammerwassers drainiert. Die verbliebenen 15% gelangen über das uveosklerale Venensystem zurück ins Blut.

Die Kammerwasserproduktion ist unabhängig vom Augeninnendruck. Sie ist konstant, unterliegt jedoch einem Tag-Nacht-Rhythmus. Die Produktion ist nachts um 40% vermindert (7).

Der Augeninnendruck entsteht durch das Gleichgewicht zwischen der Sekretion des Kammerwassers durch den Ziliarkörper und dem Abfluss über die voneinander unabhängigen trabekulären und uveoskleralen Abflusswege (9).

Tageszeitliche Schwankungen des Augeninnendrucks um 4 mmHg sind physiologisch. Der IOD wird unter anderem durch Körperlagerung, Pressen, Hydrierungszustand und Alkoholkonsum beeinflusst.

Eine glaukomatös bedingte Steigerung des Augeninnendrucks entsteht u.a. durch einen reduzierten Kammerwasserabfluss, beispielsweise aufgrund einer degenerativen Veränderung des Trabekelwerks, nicht durch eine Überproduktion von Kammerwasser (7).

Der mittlere Augeninnendruck der gesunden Bevölkerung liegt bei 15,5 mmHg (4). Der Normbereich wird in der Medizin über die doppelte Standardabweichung nach oben und unten definiert. Somit ergibt sich für den Augeninnendruck der gesunden Bevölkerung ein Normbereich von $15,5 \pm 5,5$ mmHg, sprich 10 bis 21 mmHg. Der wichtigste Risikofaktor für das Glaukom ist der Augeninnendruck. Durch eine den Augeninnendruck senkende Therapie kann das Fortschreiten der Krankheit verlangsamt werden. Die Erkrankung Glaukom ist nicht mit einem erhöhten Augeninnendruck gleichzusetzen, da eine glaukomatöse Erkrankung auch bei normalem Augeninnendruck vorliegen kann (Normaldruckglaukom) (4).

Bei Säuglingen oder Kleinkindern gestaltet sich die genaue Messung des Augeninnendruckes meist schwierig. Der Augeninnendruck kann bei unruhigen oder schreienden Kindern, durch Abwehrreaktionen, Adrenalinausschüttung, Blutdruck und Lagerung, als auch durch Messungen unter Narkose verfälschte Werte annehmen. Laut Literatur liegt die Wahrscheinlichkeit, den korrekten Augeninnendruck bei einem wachen Kind zu messen zwischen 14-60% (10-13). Durch Palpation kann bei einem schlafenden Kind der aktuelle Augeninnendruck relativ genau geschätzt werden (6).

2.3 Das kindliche Glaukom

Das kindliche Glaukom setzt sich aus einer heterogenen Gruppe von Erkrankungen zusammen. Da alle zu einer Erblindung führen können, ist eine frühzeitige Diagnosestellung und Behandlung wichtig. Das Childhood Glaucoma Research Network (CGRN) hat ein aktuell bestehendes Klassifikationssystem erarbeitet und unterteilt das kindliche Glaukom in folgende Kategorien:

- Primäres Glaukom, bestehend aus:
 - juvenilem Offenwinkelglaukom
 - primärem kongenitalem Glaukom (PCG)
- Sekundäres kindliches Glaukom, bestehend aus:
 - Glaukom infolge einer Katarakt-Operation
 - Glaukom in Verbindung mit nicht erworbenen systemischen Erkrankungen oder Syndromen
 - Glaukom aufgrund von nicht erworbenen okulären Anomalien
 - Glaukom in Verbindung mit erworbenen Umständen (14).

2.4 Das primäre kongenitale Glaukom

2.4.1 Definition

Das primäre kongenitale Glaukom ist eine meist autosomal-rezessiv mit variabler Penetranz vererbte, embryonale oder nachgeburtliche Fehlentwicklung des im Kammerwinkel befindlichen Trabekelmaschenwerks. Selten tritt die Erkrankung sporadisch auf. Bei den betroffenen Neugeborenen entsprechen die Kammerwinkelstrukturen denen des siebten bis achten Fetalmonats. Durch den aus der (isolierten) Trabekeldysgenese resultierenden gestörten Abfluss des Kammerwassers kommt es zu einer Erhöhung des IOD (3, 7). Aus dem individuell zu hohen Augeninnendruck resultiert ein progredienter Verlust von retinalen Ganglienzellaxonen. Dies lässt sich in Untersuchungen durch eine glaukومتypisch exkavierte Papille diagnostizieren. Da die Sklera im kindlichen Alter noch sehr nachgiebig ist, führt der erhöhte IOD zu einem starken Größenwachstum des Augapfels (Buphthalmus). Ist der IOD über einen zu langen Zeitraum erhöht, kann es zur Hornhautvergrößerung, Hornhauttrübung und zum Epithelödem kommen. Darüber hinaus können die sogenannten „Haab-Linien“ entstehen. Dies sind wellenförmige,

gerade oder bogenförmig verlaufende Risse in der Descemet-Membran, welche an den Rändern leistenförmig verdickt sind. Die Descemet-Risse sind ein diagnostischer Nachweis für das kongenitale Glaukom (6).

In vielen Fällen resultiert aus der Erkrankung eine schwere Sehbehinderung. Das PCG tritt in der westlichen Welt bei ungefähr 1 von 12.000-18.000 (3) bzw. bei 1:10.000 bis 1:30.000 Geburten auf (15, 16). In einer Subgruppe von in der Slowakei lebenden Roma wurde eine Inzidenz von 1:1250 festgestellt (17). Die Inzidenz liegt bei Blutsverwandtschaft der Eltern um das 5-10 fache höher (3). Jungen sind mit 65% häufiger als Mädchen von PCG betroffen. Das PCG tritt zu 70% bilateral, jedoch meist in unterschiedlichem Ausmaß auf (3, 18). Die Erkrankung äußert sich in Photophobie, vermehrtem Tränenfluss, Blepharospasmus und in vermehrtem Augenreiben (3).

Bei gesunden Kindern beträgt der Hornhautdurchmesser zur Geburt und im ersten Lebensjahr weniger als 10,5 mm und vergrößert sich nach dem 1. Lebensjahr auf bis zu 12 mm. Ab dem dritten Lebensjahr kann der Hornhautdurchmesser bis zu 12,5 mm annehmen. Bei Vorliegen von PCG ist der Hornhautdurchmesser meist vergrößert und kann bereits im ersten Lebensjahr oft 13-15 mm betragen. Die Achsenlänge beträgt bei gesunden Neugeborenen 17-20 mm und kann bei PCG auf 24-30 mm verlängert sein. Mit einer unbehandelten, fortschreitenden Erkrankung geht ein extremes Wachstum des Augapfels (Buphthalmus) einher, außerdem entsteht eine druckbedingte Exkavation des Sehnervkopfes, welche sich nach Normalisierung des Augeninnendrucks wieder zurückbilden kann (3).

2.4.2 **Klassifikation des kongenitalen Glaukoms laut EGS Guidelines**

Das primäre kongenitale Glaukom wird laut den EGS Guidelines wie folgt klassifiziert:

- 1) „Beginn bei Geburt oder in Neugeborenenalter (0-1 Monat)
- 2) Beginn im infantilen Alter (>1 bis 24 Monate)
- 3) Später Beginn oder späte Diagnosestellung (>2 Jahre)
- 4) Krankheitsverläufe mit normalem IOD, fehlender Progression aber typischen klinischen Befunden eines PCG können als PCG klassifiziert werden“ (3)

2.4.3 **Differentialdiagnosen**

Vom PCG gilt es folgende Krankheitsbilder abzugrenzen:

- 1) Angeborene Tränenwegstenose:

Die Kinder sind ebenfalls lichtscheu und haben einen verstärkten Tränenfluss. Die Hornhaut erscheint jedoch klar und nicht im Durchmesser vergrößert. Die Tränenwegstenose führt zu einer gelblichen Schleimansammlung im Auge.

- 2) Megalocornea:

Bei der Erkrankung handelt es sich um eine anlagebedingte Hornhautvergrößerung.

Die Megalocornea zeichnet sich jedoch nicht durch eine vergrößerte Achsenlänge aus und es fehlen die Einrisse der Descemet-Membran. Außerdem tritt kein erhöhter IOD auf und es kommt nicht zu Hornhautödemen.

- 3) Stoffwechselstörungen

Vor der Diagnose des PCG müssen Stoffwechselstörungen wie zum Beispiel Mukopolysaccharidose ausgeschlossen werden, welche mit einer Hornhauttrübung einhergehen können.

- 4) Sekundäre kongenitale Glaukome

Vom PCG müssen genetische Anomalien wie die Axenfeld-Rieger und Peters-Anomalie abgegrenzt werden (7).

2.5 Kindliches Offenwinkelglaukom mit spätem Beginn/ frühes juveniles Glaukom

Das kindliche Offenwinkelglaukom mit spätem Beginn und das frühe juvenile Glaukom entwickeln sich in dem Alter ab 2 Jahren bis zur Pubertät. In der Ätiologie und Pathophysiologie entsprechen sie dem PCG. Anders als beim PCG liegt jedoch kein Buphthalmus vor. Wie auch beim PCG existieren keine kongenitalen Augenanomalien oder Syndrome. Zu Beginn handelt es sich um einen asymptomatischen Verlauf, dies ändert sich jedoch mit fortschreitenden Gesichtsfeldverlusten. Klinisch liegt ein erhöhter IOD bei offenem Kammerwinkel mit zunehmenden Papillenveränderungen und Gesichtsfelddefekten vor (3).

2.6 Sekundäre kindliche Glaukome

Sekundäre kindliche Glaukome können auf verschiedenste pathogenetische Mechanismen zurückgeführt werden. Es kann unterschieden werden in:

- 1) Glaukome, die mit nicht erworbenen okulären Anomalien assoziiert sind.
Zum Beispiel: Axenfeld-Rieger Anomalität/ Syndrom, Peters-Anomalie/ Syndrom, Ektropium uveae, Aniridie, Mikrophtalmus
- 2) Glaukome, die mit nicht erworbenen systemischen Erkrankungen oder Syndromen assoziiert sind.
Zum Beispiel: Trisomie 21, Marfan-Syndrom, Weill-Marchesani-Syndrom, Mukopolysaccharidosen, Sturge-Weber-Syndrom
- 3) Glaukome, die mit erworbenen Erkrankungen assoziiert sind.
Zum Beispiel: Uveitis, Trauma, steroidinduziert, Tumore, Frühgeborenenretinopathie
- 4) Glaukom nach Kataraktchirurgie in der Kindheit.
Bei kataraktchirurgischen Eingriffen vor dem 9. Lebensmonat kann die Inzidenz für ein sekundäres Glaukom bei bis zu 50% liegen. Es ist die häufigste und schwerwiegendste Komplikation der Kataraktchirurgie bei jungen Kindern (3).

2.7 Glaukom nach Katarakt-Operation

Entwickelt sich ein Glaukom infolge einer Katarakt-Operation oder einer Entfernung der klaren Linse, wird dies als Glaukom nach Katarakt-Operation definiert. Diese Definition umfasst keine präoperativ bestehenden Glaukome. Das Glaukom nach Katarakt-Operation beinhaltet alle Formen der Katarakt: Kongenitale idiopathische Katarakt, kongenitale Katarakt assoziiert mit systematischen Syndromen oder okulären Anomalien und erworbene Katarakt. Mittels Gonioskopie unterteilt man in Offenwinkelglaukom (Winkel $\geq 50\%$) und Engwinkelglaukom ($< 50\%$ offen oder akut geschlossener Winkel) (14).

2.8 Axenfeld-Rieger-Syndrom

Das Axenfeld-Rieger-Syndrom (ARS) ist eine seltene Erkrankung, die mit einer Prävalenz von 1: 50.000-100.000 Neugeborenen auftritt. Die Erkrankung äußert sich in okulären Fehlbildungen, insbesondere der Iris, Hornhaut und des Kammerwinkels. Es tritt unter anderem eine Irishypoplasie, Korektomie und Polykorie auf. Das Axenfeld-Rieger-Syndrom kann auch zu Zahnanomalien (Mikrodontie, Hypodontie, Oligodontie, Anodontie), leichten kraniofazialen Dismorphien (Hypertelorismus, prominente Stirn, Telekanthus, Oberkieferhypoplasie, abgeflachtes Mittelgesicht, breiter flacher Nasenrücken) und zu vermehrter periumbilikaler Haut führen (19).

Das ARS umfasst die drei autosomal dominant vererbten, größtenteils bilateralen Entwicklungsanomalien: Axenfeld-Anomalie, Rieger-Anomalie und Rieger-Syndrom. Häufig finden sich Genanomalien auf den Chromosomen 4q25, 6p25 und 13q14. Aufgrund schwankender Expressivität können Generationen übersprungen werden, jedoch nimmt häufig die Expressivität über die Generationen zu. Auch sporadische Fälle von ARS können auftreten (7).

Die Axenfeld-Anomalie äußert sich im Auftreten eines Embryotoxon posterius (20).

Bei der Rieger-Anomalie kann ebenfalls ein Embryotoxon posterius auftreten, jedoch lassen sich auch eine Irisstroma-Hypoplasie, Ektropium uveae, Korektomie und durchgreifende Irisdefekte feststellen (20).

Das Rieger-Syndrom ist die Verbindung der Rieger-Anomalie mit extraokulären Fehlbildungen wie zum Beispiel Hypodontie, Mikrodontie und Gesichtsanomalien (20).

Das Axenfeld-Rieger-Syndrom birgt in über 50% der Fälle das Risiko ein Glaukom zu entwickeln. Das Glaukom tritt gewöhnlich in der Kindheit oder im frühen Erwachsenenalter auf (21).

2.9 Peters-Anomalie

Die Peters-Anomalie ist eine seltene, angeborene Augenfehlbildung, die in mehr als der Hälfte der Fälle bilateral auftritt. Sie entsteht in der fetalen Entwicklung durch eine fehlerhafte Migration der Neuralrohrzellen. Die Peters-Anomalie wird in Typ 1 (betrifft nur die Hornhaut) und Typ 2 (betrifft Hornhaut und Linse) unterschieden (20). Die Peters-Anomalie wird autosomal rezessiv oder dominant vererbt, genetisch ähnelt sie dem Axenfeld-Rieger-Syndrom (7).

Typisch für die Peters-Anomalie ist eine häufig bereits bei Geburt bestehende zentrale Hornhauttrübung, das Fehlen von Hornhautendothel, Descemet-Membran und des posterioren Hornhautstromas. Es können auch iridokorneale oder keratolentikuläre Adhäsionen auftreten. Der Phänotyp kann sehr stark variieren, Fälle von dezenter bis sehr stark ausgeprägter Hornhauttrübung sind bekannt (22).

In 50% der Fälle tritt in Folge der Erkrankung ein Glaukom auf, in seltenen Fällen schon bei Geburt (22).

2.10 Sturge-Weber-Syndrom

Das Sturge-Weber-Syndrom (SWS) ist eine seltene, sporadisch angeborene neurokutane Erkrankung, die zu den Phakomatosen gezählt wird. Die Häufigkeit liegt bei 1:20.000-50.000 Neugeborenen. An SWS erkrankte Menschen sind durch Portweinflecken im Gesicht, leptomeningeale Angiomasen und Glaukome charakterisiert. Als häufigste neurologische Erscheinung treten bereits in den ersten Lebensmonaten Krampfanfälle auf. Ein Glaukom tritt bei 30-70% der Fälle auf und ist meist ipsilateral zu den Portweinflecken. Der Entstehung eines Glaukoms können unterschiedliche Ursachen zu Grunde liegen. Zum einen kann durch Fehlbildungen der Vorderkammer ein erhöhter Abflusswiderstand für das Kammerwasser entstehen und somit der IOD erhöht werden. Außerdem kann aus den vorliegenden Angiomen ein erhöhter episkleraler Venendruck resultieren, wodurch ein erhöhter IOD zu der Ausbildung eines Glaukoms führen kann (23).

2.11 Folgen des Glaukoms

Vor dem Aufkommen von chirurgischen und medizinischen Behandlungen entwickelte sich bei den meisten Kinder nur eine geringe oder gar keine relevante Sehkraft auf den betroffenen Augen (18).

Glaukome führen zum Verlust des peripheren Sehens, der Tiefenwahrnehmung und der Kontrastempfindlichkeit bis hin zur Erblindung (24).

Der erhöhte IOD, welcher allen Formen des kindlichen Glaukoms gemein ist, kann zu einer Dehnung der äußeren Hülle des Augapfels führen. Daraus resultiert eine Vergrößerung der Hornhaut, Ausdünnung der Sklera und ein verstärktes Wachstum der Achsenlänge. Daran anschließend können sich eine Myopie und eine Anisometropie entwickeln (25).

Im Verlauf der Glaukomerkrankung kommt es als Folge der irreversiblen Sehnervschädigung zunehmend zu Gesichtsfeldschäden. Diese Ausfälle im Gesichtsfeld, die sich außerhalb des Fixierpunktes befinden, werden von den Patienten nicht direkt bemerkt. Die Bereiche, in denen keine Sehwahrnehmung mehr stattfindet, werden durch das Gehirn über das „filling – in Phänomen“ kompensiert. Der Gesichtsfeldschaden kann dem Patienten auffallen, wenn dieser zunächst ein Objekt übersieht und es erst bei Fixation wahrnimmt. Durch die augenärztliche Untersuchung der Perimetrie kann ein Gesichtsfeldschaden erkannt und quantifiziert werden (4).

2.12 Therapie

Das Ziel der Therapie des Glaukoms besteht vor allem in der Senkung des Augeninnendrucks. Je nach Schwere des Glaukomschadens soll ausgehend von dem unbehandelten Augeninnendruck eine Drucksenkung um 20% bei geringen Schäden, um 30% bei mittelschweren Schäden und eine stärkere Senkung bei schweren Schäden erreicht werden.

Bei sehr fortgeschrittenen Glaukomschäden sowie bei Patienten mit einer noch hohen Lebenserwartung, werden Drücke unter 15 mmHg angestrebt. Auch bei einem sehr hohen Schadensdruck kann eine stärkere Senkung indiziert sein, vor allem wenn ein Zieldruck von unter 21 mmHg nicht zu erwarten ist (7, 26).

Bei frühzeitig diagnostiziertem kongenitalem Glaukom schwanken die operativen Erfolgsraten zwischen 70 und 80% (15, 27-30).

2.12.1 Ziele Therapie

Die Ziele der modernen Glaukomtherapie können wie folgt definiert werden:

- 1) Erhalt der Funktion (Gesichtsfeld und Sehschärfe)
- 2) Das Verhindern einer progressiven glaukomatös bedingten Sehnervschädigung
- 3) Die Lebensqualität des Patienten zu sichern (26)

2.12.2 Medikamentöse Therapie

Bei kongenitalem Glaukom ist eine medikamentöse Therapie langfristig nicht wirksam. Sie kann während der Entscheidung über einen chirurgischen Eingriff und bei unzureichender Senkung des IOD nach erfolgten chirurgischem Vorgehen angewandt werden (3).

Für die medikamentöse Monotherapie kann auf 5 Substanzklassen zurückgegriffen werden:

- 1) Betarezeptorenblocker
- 2) Parasympathomimetika (Pilocaprin)
- 3) Lokale Carboanhydrasehemmer (Dorzolamid, Brinzolamid)
- 4) Alpha-2-Agonisten
- 5) Prostaglandinderivate (Latanoprost)

2.12.3 Chirurgische Therapie

2.12.3.1 Operationsprinzipien

Es werden drei verschiedene Operationsprinzipien unterschieden:

- 1) Perforierende Operationsverfahren
- 2) Nicht-perforierende Operationsverfahren
- 3) Minimal-invasive Glaukomchirurgie

Die Diagnose eines kongenitalen Glaukoms geht in der Regel mit einer absoluten Operationsindikation einher. Vor einer Operation werden folgende Parameter unter Narkose erhoben:

- 1) „Einrisse der Descemet-Membran
- 2) Messung des horizontalen Hornhautdurchmessers
- 3) Ultraschallmessung der Augapfellänge
- 4) [Objektive] Refraktionsbestimmung
- 5) Ophthalmoskopie der Papille
- 6) Gonioskopie
- 7) Messung des Augeninnendrucks''(7)

Bei der Diagnose des kongenitalen Glaukoms werden klassisch die Goniotomie und die Trabekulotomie durchgeführt. Sollte der gewünschte Operationserfolg ausbleiben, kann auf Filtrationschirurgie zurückgegriffen werden. Des Weiteren kann eine mehrfache Wiederholung des Eingriffes erforderlich sein. Die Zykloablation kann als vorübergehende Therapie oder nach vorangegangener Trabekulotomie durchgeführt werden. In besonders schweren Fällen oder bei sekundärem kindlichem Glaukom (vor allem bei aphakem kindlichem Glaukom) kann neben der Goniotomie, Trabekulotomie und filtrierenden Operation eine drainierende Operation mit Implantation eines Ventils erforderlich sein (3).

Im Folgenden wird nur auf die beiden zum Vergleich stehenden Operationstechniken eingegangen. Gemeinsam haben beide, dass die innere Schlemm-Kanalwand eröffnet wird. Der Unterschied beider Methoden besteht in der Gradzahl und somit der eröffneten Strecke des Schlemm-Kanals.

Die Trabekulotomie kann sowohl bei klarer als auch bei eingetrübter Hornhaut durchgeführt werden (31). Bei der Sonden-Trabekulotomie erfolgt die Eröffnung der inneren Schlemm-Kanalwand über circa 120 Grad. Die 360 Grad-Katheter-Trabekulotomie ermöglicht in einem einzigen Eingriff eine Eröffnung von bis zu 360 Grad der Kanalwand (25).

Die Erfolgsraten für die klassische Trabekulotomie liegt zwischen 60 und 87% innerhalb der ersten drei Jahre (18, 32-34). Für die 360 Grad-Trabekulotomie wird ein Erfolg mit 77-92% in einer Nachkontrollzeit von 1-4 Jahren angegeben (35). Die

Erfolgsraten der Operationen steigen mit einem früh gewählten Operationszeitpunkt, vorzugsweise innerhalb des ersten Lebensjahres (18).

2.12.3.2 Sonden-Trabekulotomie

Die Sonden-Trabekulotomie wird in Mainz wie folgt durchgeführt: Nach Abjodieren, Abdecken und Ausspülen des Auges mit Jodpolyvidon werden Hornhautzugnähte am Limbus mit 7,0 Seide durchgeführt. Je nach Präferenz des Chirurgen wird entweder ein Fornix- oder Limbus-basierter Bindehautdeckel präpariert. Anschließend wird der Skleradeckel von 1/2 bis 2/3 der Skleradicke bis 1mm in die klare Hornhaut präpariert. Anschließend wird ein weiterer Deckel bis zum Dach des Schlemm'schen Kanals angelegt.

Durch Verschieben dieses zweiten Deckels nach anterior wird der Schlemm'sche Kanal erreicht, leicht geöffnet und entdacht. Die Ostien des Schlemm'schen Kanals können auf beiden Seiten aufgefunden werden. Anschließend wird der Kanal mit einer Spülkanüle gespült und der Durchflussfähigkeit in die Kollektorkanäle überprüft.

Die Metallsonde (Harms Trabekulotom, Geuder AG, Heidelberg, Deutschland) wird anschließend in den Kanal eingeführt und auf beiden Seiten in die Vorderkammer gedreht, wobei die Perforation der Trabekel-Descemet-Brücke an der Stelle des tiefen Deckels vermieden wird. Während dieses Manövers wird der Limbus im Bereich der Sondenspitze von außen mit einer Kolibri-Pinzette stabilisiert, da die Rotationsebene dann besser definiert ist.

Intraoperativ wird nach Abschluss der Trabekulotomie über die Anlage einer Naht des zweiten Deckels durch den Operateur entschieden.

Sollte eine partielle Filtration in Betracht gezogen werden, wird der zweite Deckel entfernt. Der oberflächliche Deckel wird mit vier 10/0-Nylonnähten genäht. Die Bindehaut wird mit einer mäanderförmig verlaufenden Naht ("Mainzer Schlossnaht") aus 10/0-Nylon am Limbus verschlossen. (6, 36).

2.12.3.3 **360 Grad-Katheter-Trabekulotomie**

Bei der 360 Grad-Katheter-Trabekulotomie wird bis zu der Eröffnung der Ostien des Schlemm'schen Kanals dieselbe Vorgehensweise wie bei der Sonden-Trabekulotomie vollzogen. Im Anschluss wird der Schlemm'sche Kanal mit einer Spülkanüle gespült und die Durchflussfähigkeit in die Kollektorkanäle überprüft (BSS-Instillation getestet). Zum Schutz von Hornhaut und Linse werden vor dem Einführen des Katheters Acetylcholin (Miochol-E; Bausch & Lomb Inc., NJ) und ein kohäsives ophthalmisches viskoelastisches Mittel (Healon GV; Abbott Laboratories Inc., Abbott Park, IL) über eine Parazentese in die Vorderkammer injiziert, um eine Miosis und eine tiefe, stabile Vorderkammer zu erreichen. Der beleuchtete Katheter (iTrack™ surgical System von Nova Eye Medical, Australien) wird mit Viskoelastikum befüllt. Mit zwei Pinzetten wird der Katheter im Uhrzeigersinn um 360 Grad vorgeschoben. Sobald das vordere Ende des Katheters aus dem anderen Ostium austritt, wird dieser ergriffen und an den Enden vorsichtig gezogen, bis das Trabekelwerk in Form einer Trabekulotomie durchtrennt wird. Wird der Katheter so entfernt, dass das Trabekelwerk an der Durchtrennungsstelle geschont wird, muss keine Iridektomie durchgeführt werden. Andernfalls wird zur Vermeidung einer sekundären Irisadhäsion eine kleine basale Iridektomie durchgeführt. Der Verschluss der Wunde erfolgt auf die gleiche Weise wie unter der Sonden-Trabekulotomie beschrieben (6, 36).

2.12.3.4 **Verlaufskontrollen und Nachbehandlung**

Nach einer erfolgten Operation sollten die Befunde vierteljährlich kontrolliert werden. Da die Kontrolluntersuchung bei Säuglingen und Kleinkindern Schwierigkeiten birgt, wird die Untersuchung oft in Kurznarkose vollzogen. Zeigt sich ein guter Verlauf, kann das Kontrollintervall auf einmal im Jahr verlängert werden.

Beim Kleinkind kann sich, im Gegensatz zum Erwachsenen, die glaukomatöse Papillenexkavation nach Senkung des Augeninnendrucks wieder zurückbilden.

Im Verlaufe der Nachbehandlung kann zur Vermeidung einer Amblyopie eine Okklusionstherapie notwendig sein (7).

3 Patienten, Material und Methoden

3.1 Patientenkollektiv

Die vorliegende Dissertation ist eine klinische retrospektive Studie der Augenklinik und Poliklinik der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. In das Patientenkollektiv wurden zunächst alle Patienten aufgenommen, die zu dem Operationszeitpunkt das 17. Lebensjahr nicht vollendet hatten und in dem Zeitraum vom 01.01.2015 bis zum 16.02.2021 in der Universitätsmedizin Mainz mit einer Sonden-Trabekulotomie oder einer 360 Grad-Trabekulotomie operiert wurden. Das Patientenkollektiv wurde anhand der für die Operationsmethode spezifischen Operationen- und Prozeduren-Schlüssel (OPS-Code) 5-134.00, 5-134.01, 5-131.7 ermittelt.

3.2 Datenerhebung

Die patientenbezogenen Daten wurden anhand der Fallnummer aus dem klinischen Patientenprogramm SAP abgerufen. Alle Daten aus den Arztbriefen und Operationsberichten wurden vor dem Zugriff vollständig pseudonymisiert.

Bis auf 3 Patienten wurden alle Patienten in die Studie eingeschlossen. Von diesen 3 waren 2 für die Operation aus dem Ausland nach Mainz eingereist und es standen keine aktuellen Kontaktdaten zur Verfügung. Ein Patient musste aufgrund der Vielzahl von Voroperationen ausgeschlossen werden. Die Studie umfasst 109 Probanden.

Folgende Daten wurden erhoben: Geschlecht, Geburtsdatum, Seite des erkrankten Auges, Diagnose, Familienanamnese, Pachymetrie, Datum und Wert des höchsten Augeninnendruckes sowie Datum und Operationsart von externen Voroperationen.

Sofern eine Voroperation in der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität stattgefunden hatte, wurden für die Voroperation folgende Parameter erfasst: Datum der OP, Art der OP, Operateur, IOD, Messart des IOD, IOD bei Entlassung, Visus, Sphäre, Zylinder, Grad des Zylinders, horizontaler Hornhautdurchmesser, Achsenlänge, Anzahl der Wirkstoffe in den verordneten Augentropfen und ob Acetazolamid eingenommen wurde.

Zu den zu untersuchenden Operationen wurden die folgenden Parameter erhoben: Datum der OP, Alter bei OP, OP-Methode, IOD vor der OP, Messart des IOD, IOD bei

Entlassung, Visus, Sphäre, Zylinder, Grad des Zylinders, horizontaler Hornhautdurchmesser, Achsenlänge, Anzahl der Wirkstoffe in den verordneten Augentropfen und ob Acetazolamid eingenommen wurde.

Die Kontrolltermine wurden in die folgenden Zeitintervalle eingeordnet: 0-6 Monate, 1 Jahr \pm 6 Monate, 2 Jahre \pm 6 Monate, 3 Jahre \pm 6 Monate, 4 Jahre \pm 6 Monate, 5 Jahre \pm 6 Monate, usw.

Als Kontrolltermin wurden alle nachfolgenden Termine definiert, bei denen die Augen untersucht wurden. Aus den Daten der Kontrolltermine wurden folgende Parameter erhoben: Datum der Kontrolluntersuchung, Typ der Kontrolluntersuchung (Narkoseuntersuchung (NKU) oder ambulant), IOD, Messart des IOD, Visus, Sphäre, Zylinder, Grad des Zylinders, horizontaler Hornhautdurchmesser, Achsenlänge, Anzahl der Wirkstoffe in den verordneten Augentropfen und ob Acetazolamid eingenommen wurde.

Sofern es zu einer Revision am operierten Auge gekommen ist, wurden folgende Parameter sowohl als Kontrolltermin als auch gesondert als Revision erhoben: Datum der Revision, Art der Revision, Operateur, IOD vor Revision, Messart des IOD, IOD bei Entlassung, horizontaler Hornhautdurchmesser, Achsenlänge, Anzahl der Wirkstoffe in den verordneten Augentropfen und ob Acetazolamid eingenommen wurde.

Bei Angaben von mehreren Augeninnendruckmessungen, die mit demselben Messgerät vorgenommen wurden, wurde der Mittelwert berechnet und notiert. Folgende Messgeräte/-methoden wurden verwendet: Applanationstonometer nach Goldmann, Applantationstonometer nach Perkins (Haag-Streit Group, Köniz, Schweiz), I-care® -Tonometer (iCare Finland Oy, Vantaa, Finnland), I-care®-Pro (iCare Finland Oy, Vantaa, Finnland) oder palpatorische Augeninnendruckmessung.

Aufgrund der retrospektiven Datenerhebung lagen die Daten teilweise unvollständig vor. Einige Patienten sind nicht bzw. in unregelmäßigen Abständen zu den Kontrollterminen erschienen.

3.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde von dem Verfasser mit der Statistik- und Analysesoftware SPSS (SPSS 27.0 IBM, USA) durchgeführt. Neben der deskriptiven Statistik wurden die erhobenen Daten wie folgt ausgewertet: Für gepaarte Stichproben wurde der Wilcoxon-Test, für unabhängige Stichproben der Mann-Whitney-U-Test und für kategoriale Daten der Chi-Quadrat-Test verwendet. Die graphische Darstellung erfolgte durch Kreisdiagramme, Balkendiagramme, Boxplots und Liniendiagramme.

Es handelt sich um eine explorative Studie, ein p-Wert von 0,05 oder weniger wurde als statistisch signifikant angesehen. In Tabellen negativ auftretende Werte entsprechen einer Zunahme der jeweiligen Parameter.

4 Ergebnisse

4.1 Patientenkollektiv

Diese retrospektive Studie umfasst 109 Probanden, von denen 64 (58,7%) weiblich und 45 (41,3%) männlich sind. 192 (88,1%) der 218 analysierten Augen waren erkrankt. Die erkrankten Augen verteilten sich auf die Geschlechter mit 111 (57,81%) weibliche und 81 (42,19%) männliche Augen (siehe Abbildung 1). 83 (76,1%) Patienten waren bilateral und 26 (23,9%) Patienten unilateral vom Glaukom betroffen.

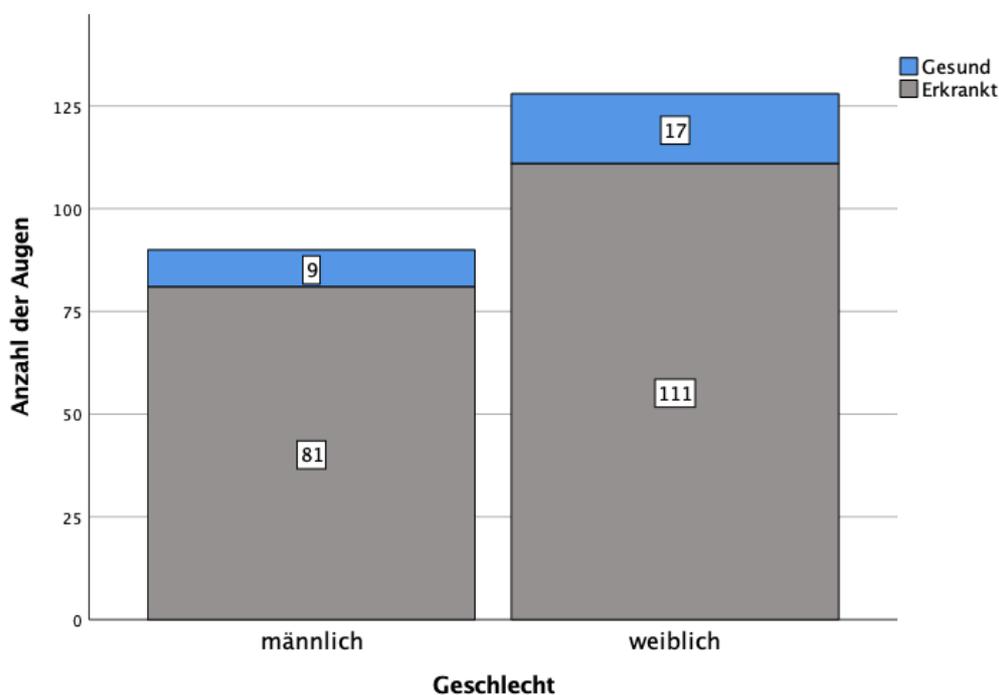


Abbildung 1 Gesundheitszustand der Augen geschlechterverteilt

Das durchschnittliche Alter zum Operationszeitpunkt betrug 54,44 (SD= 61,53) Monate, der Median liegt bei 25 Monaten. Das Minimum und Maximum des Alters zum Operationszeitpunkt erstreckten sich zwischen 13 Tagen und 214 Monaten.

Der durchschnittliche Untersuchungszeitraum variierte zwischen 1 und 101 Monaten (8,41 Jahren). Der Mittelwert betrug 34,35 (SD= 22,54) Monate, der Median 30 Monate.

4.2 Anzahl der jeweiligen Operationen

Die 360 Grad-TO wurde in 65 Fällen (43%), die inkomplette 360 Grad-TO wurde in 13 Fällen (8,6%) und die Sonden-TO in 73 Fällen (48,3%) durchgeführt (siehe Abbildung 2).

In 6 Fällen wurde die ursprünglich geplante 360 Grad-TO intraoperativ in eine Sonden-TO umgewandelt.

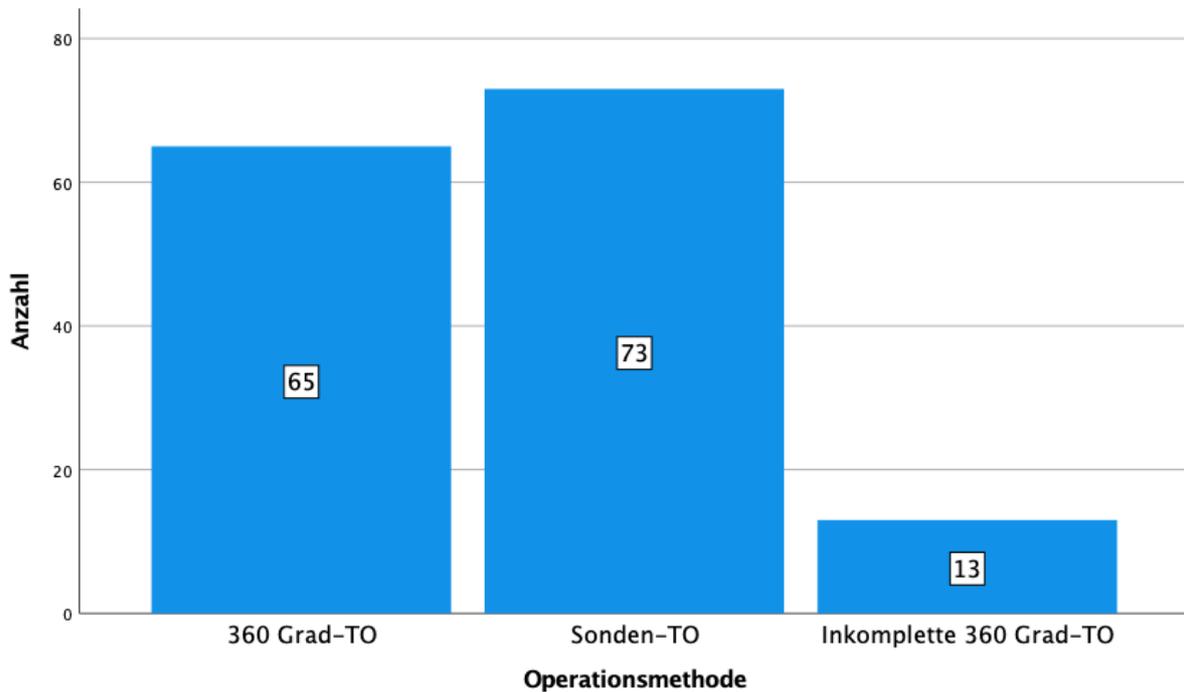


Abbildung 2 Anzahl der Operationen

4.3 Voroperationen

Von den 151 operierten Augen hatten 64 (42,4%) mindestens eine Voroperation, bei 87 (57,6%) der operierten Augen handelte es sich um eine Erstoperation.

4.3.1 360 Grad-TO

Insgesamt wurden 65 Augen mit der 360 Grad-TO Methode operiert. Bei 46 (70,8%) Augen handelte es sich um eine Erstoperation, die anderen 19 (29,2%) Augen hatten mindestens eine Voroperation (siehe Abbildung 3 und Abbildung 6).

Die Gesamtzahl der Voroperationen betrug 39 (siehe Tabelle 1), rechnerisch hatte jedes Auge 0,6 (SD= 1,56) Voroperationen. Bei einem Patienten wurden an einem Auge 11 Voroperationen durchgeführt.

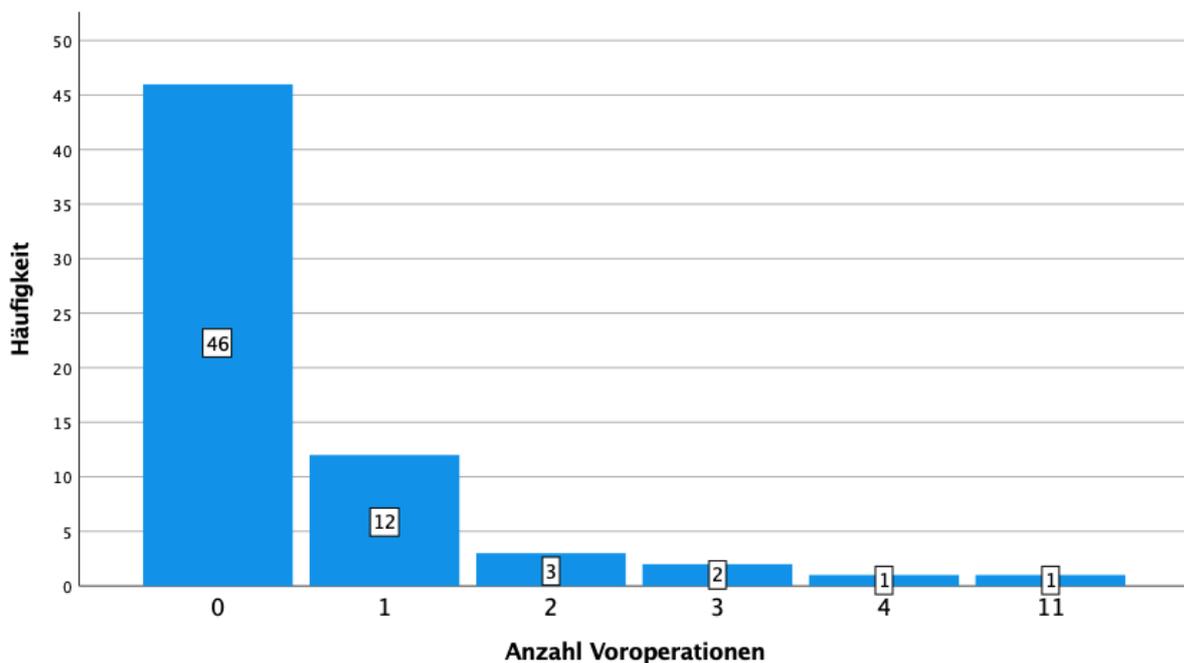


Abbildung 3 Anzahl der Voroperationen in der 360 Grad-TO Gruppe

4.3.2 Sonden-TO

Insgesamt wurden 73 Augen mit der Sonden-TO operiert. Bei 35 Augen (47,9%) handelte es sich um eine Erstoperation, die anderen 38 (52,1%) Augen hatten mindestens eine Voroperation (siehe Abbildung 4).

Die Gesamtzahl der Voroperationen betrug 100, rechnerisch hatte jedes Auge 1,37 (SD= 1,90) Voroperationen. Bei drei Patienten wurden jeweils an einem Auge 7 Voroperationen durchgeführt.

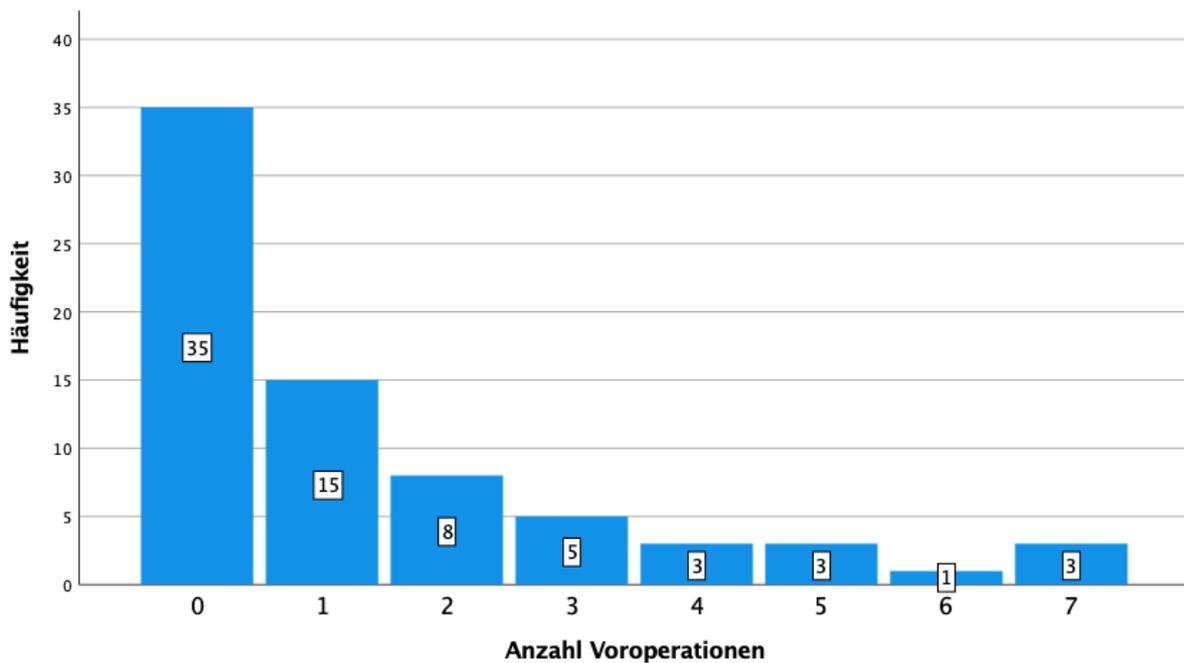


Abbildung 4 Anzahl der Voroperationen in der Sonden-TO Gruppe

4.3.3 Inkomplette 360 Grad-TO

Insgesamt wurden 13 Augen mit der inkompletten 360 Grad-TO Methode operiert. Bei 6 Augen (46,2%) handelte es um eine Erstoperation, die restlichen 7 (53%) Augen hatten mindestens eine Voroperation (siehe Abbildung 5).

Die Gesamtzahl der Voroperationen betrug 11, rechnerisch hatte jedes Auge 0,85 (SD= 0,99) Voroperationen. Bei einem Patienten wurden an einem Auge 3 Voroperationen durchgeführt.

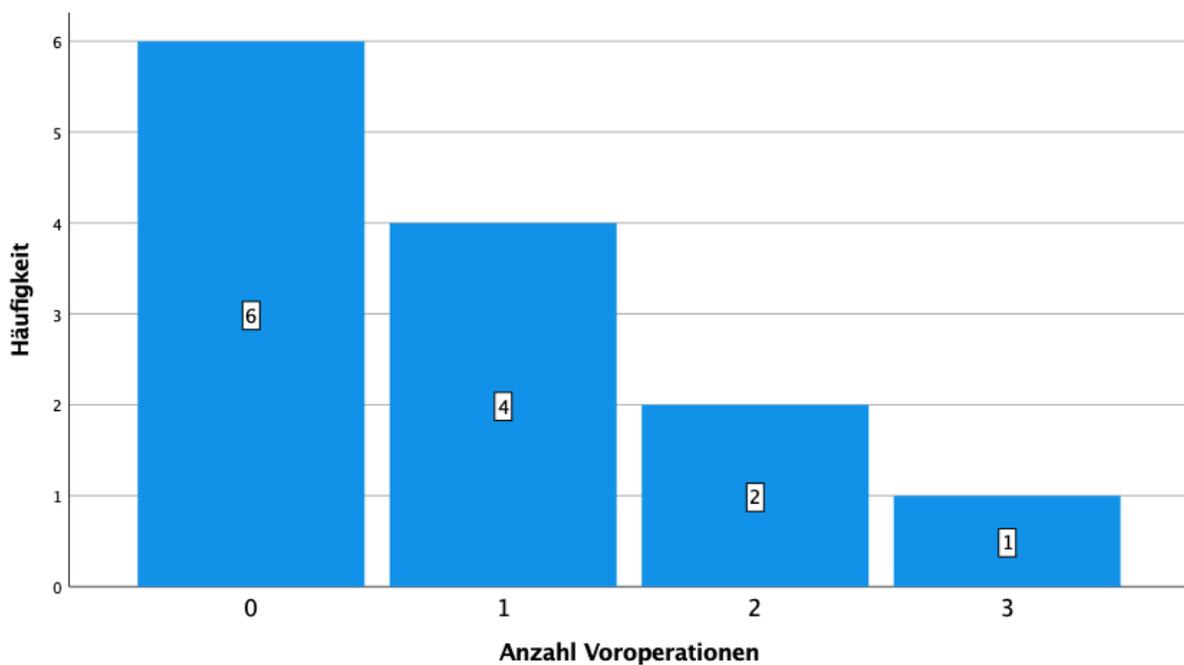


Abbildung 5 Anzahl der Voroperationen in der inkompletten 360 Grad-TO Gruppe

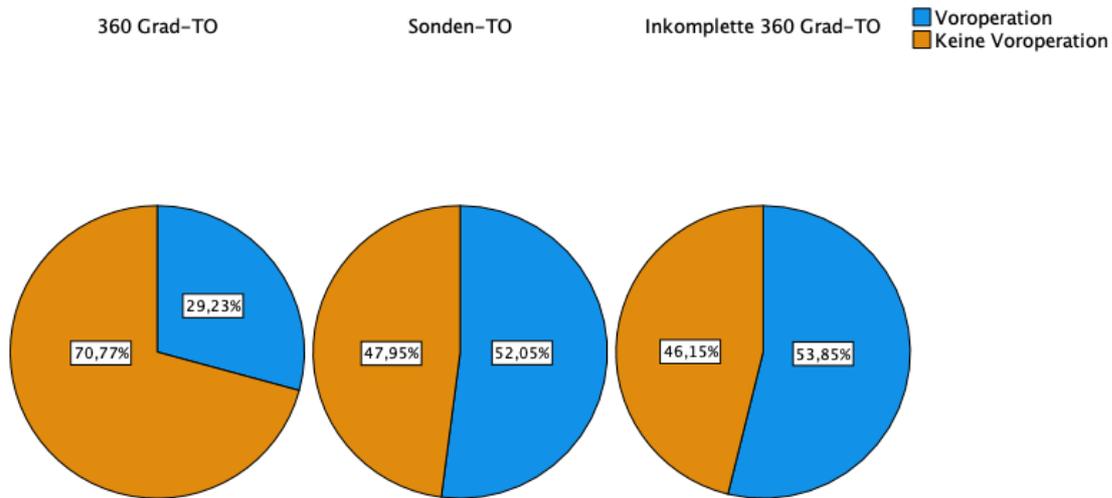


Abbildung 6 Verhältnis der Voroperationen innerhalb der Operationsmethoden

Tabelle 1 Vergleich der Voroperationen innerhalb der Gruppen

Voroperationen	Insgesamt	360 Grad-TO	Inkomplette 360 Grad-TO	Sonden-TO
360 Grad-TO	1	1		
Sonden-TO	30	8	3	19
Trabekulektomie	4			4
Trabekulotomie mit Trabekulektomie	10	2	2	6
Lentektomie	22	7		15
Zyklokryokoagulation	24	5	2	17
Kontrollierte Zyklophotokoagulation	40	10	1	29
Vitrektomie	5	2		3
Ahmed-Ventil	1			1
Kanaloplastik	1			1
Keratoplastik	2	1		1
Needeling	1			1
mehrfache OPs	3	1	1	1
	150	39	11	100

4.4 Diagnosen

98 (51,04%) der erkrankten Augen hatten die Diagnose kongenitales Glaukom. 94 (48,96%) der erkrankten Augen haben die Diagnose eines anderen kindlichen Glaukoms.

Von den 151 operierten Augen hatten 79 (52,3%) die Diagnose eines kongenitalen Glaukoms. Bei 72 (47,7%) lag eine andere Form des kindlichen Glaukoms vor.

Die Verteilung der Häufigkeiten der verschiedenen kindlichen Glaukom-Diagnosen des Patientenkollektivs sind in Tabelle 2 veranschaulicht.

Tabelle 2 Häufigkeit der Diagnosen

Diagnose	Häufigkeit
Juveniles Glaukom	8
Spätjuveniles Glaukom	5
Primär kongenitales Glaukom	98
Aphakieglaukom	29
Rieger-Axenfeld	26
Peters-Anomalie	5
Sturge-Webers	12
Steroidinduziertes Sekundärglaukom	2
Sekundärglaukom	3
Sekundärglaukom bei Aniridie	2
Sekundärglaukom bei Weill-Marchesani Syndrom	2
	192

4.4.1 Primäres kongenitales Glaukom

Die Diagnose des primären kongenitalen Glaukoms wurde bei 98 Augen gestellt. Von diesen 98 Augen wurden in dem beobachteten Zeitraum 79 Augen (80,6%) mit einer der drei Operationsmethoden operiert. Die restlichen 19 Augen (19,4%) erhielten in diesem Zeitraum eine andere oder keine Operationen (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3 Häufigkeit der Operationsmethoden bei der Diagnose primäres kongenitales Glaukom

	360 Grad-TO	Sonden-TO	Inkomplette 360 Grad-TO	Keine/ andere OP	Insgesamt
N	43	30	6	19	98
%	43,9%	30,6%	6,1%	19,4%	100%

Von den 79 am primären kongenitalen Glaukom erkrankten und operierten Augen erhielten 43 (54,43%) eine 360 Grad-TO, 30 (37,98%) eine Sonden-TO und 6 (7,59%) eine inkomplette 360 Grad-TO (siehe Abbildung 7).

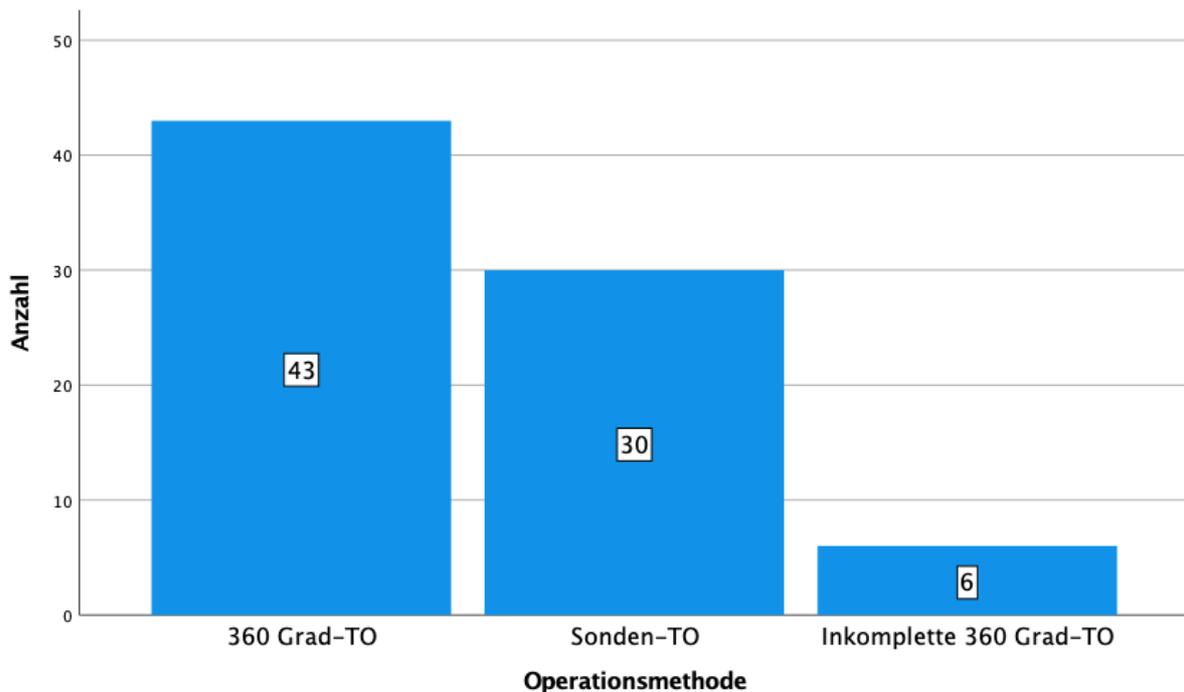


Abbildung 7 Anzahl der Eingriffe bezogen auf die Operationsmethoden bei der Diagnose primäres kongenitales Glaukom

4.4.2 Andere kindliche Glaukome

Von den 94 erkrankten Augen, deren Diagnose nicht dem primären kongenitalen Glaukom entsprach, wurden in dem beobachteten Zeitraum 72 Augen (76,6%) mit einer der drei beobachteten Operationsmethoden operiert. Die restlichen 22 Augen (23,4%) erhielten in diesem Zeitraum eine andere oder keine Operation (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4 Häufigkeit der Operationsmethoden bei der Diagnose andere kindliche Glaukome

	360 Grad-TO	Sonden-TO	Inkomplette 360 Grad-TO	Keine/ andere OP	Insgesamt
N	22	43	7	22	94
%	23,4%	45,7%	7,4 %	23,4%	99,9%

Von den 72 an anderen kindlichen Glaukomen erkrankten und operierten Augen erhielten 22 (30,56%) eine 360 Grad-TO, 43 (59,72%) eine Sonden-TO und 7 (9,72%) eine inkomplette 360 Grad-TO (siehe Abbildung 8).

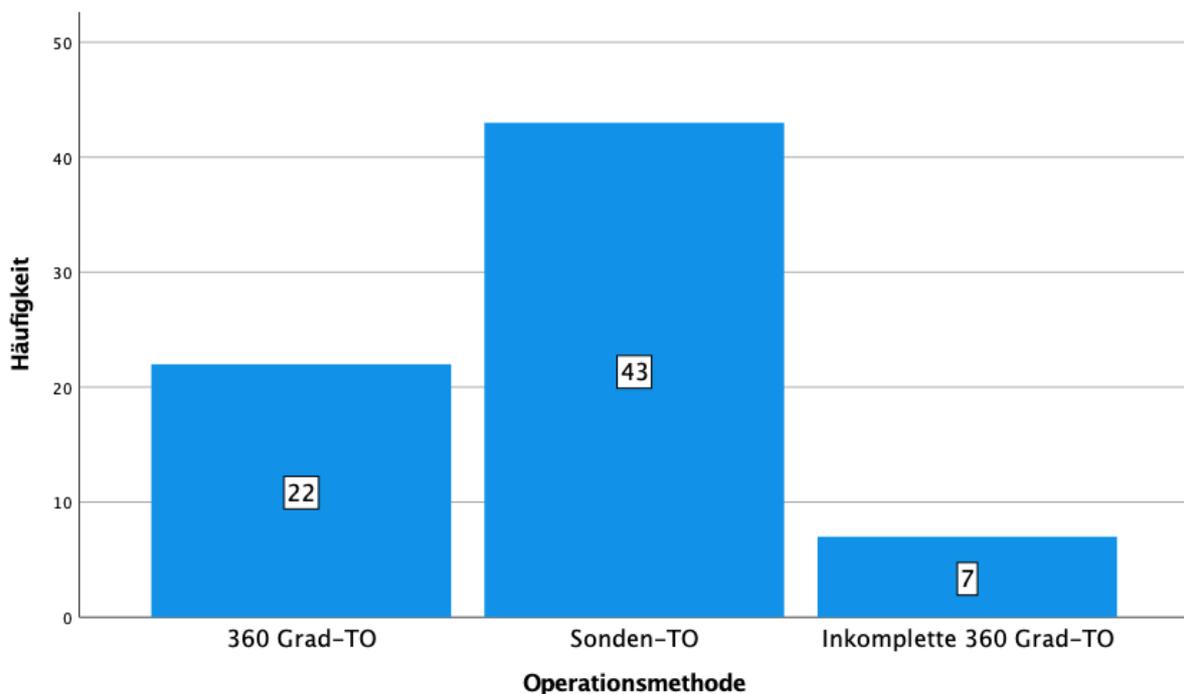


Abbildung 8 Anzahl der Eingriffe bezogen auf die Operationsmethoden bei der Diagnose andere kindliche Glaukome

4.5 Revisionsoperationen

Von den 151 durchgeführten Operationen mussten im Anschluss in 47 (31,1%) Fällen mindestens eine Revisionsoperation durchgeführt werden (siehe Abbildung 9). Pro operiertem Auge mussten im Durchschnitt 0,48 (SD= 0,9) Revisionsoperationen durchgeführt werden.

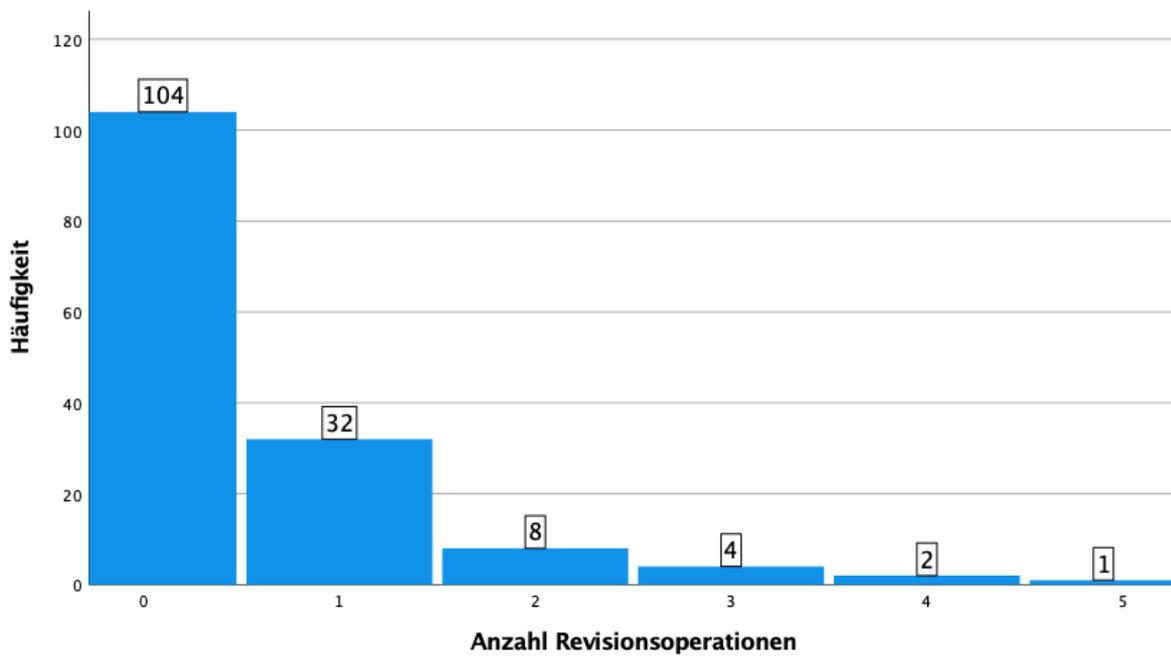


Abbildung 9 Anzahl der Revisionsoperationen im Gesamtkollektiv

4.5.1 360 Grad-TO

Von den 65 Augen, die mit der 360 Grad-TO Methode operiert wurden, musste bei 4 Augen (6,2%) mindestens eine Revisionsoperation durchgeführt werden (siehe Tabelle 5). Bei einem dieser Augen wurde ein Ahmed-Ventil implantiert.

4.5.2 Sonden-TO

Von den 73 Augen, die mit der Sonden-TO Methode operiert wurden, musste bei 40 Augen (54,8%) mindestens eine Revisionsoperation durchgeführt werden. In 7 Fällen wurde ein Ahmed-Ventil implantiert.

4.5.3 Inkomplette 360 Grad-TO

Von den 13 Augen, die eine inkomplette 360 Grad-TO erhielten, musste bei 3 Augen (23,1%) mindestens eine Revisionsoperation durchgeführt werden. Bei einem dieser Augen musste ein Ahmed-Ventil implantiert werden.

4.5.4 Vergleich zwischen 360 Grad-TO und Sonden-TO

Die 360 Grad-TO benötigte statistisch signifikant weniger Revisionsoperationen als die Sonden-TO ($p < 0,001$).

Tabelle 5 Vergleich der Revisionsoperationen innerhalb der Operationsmethoden

Revisionsoperation	Insgesamt	360 Grad-TO	Inkomplette 360 Grad-TO	Sonden-TO
360 Grad-TO	8	1		7
Sonden-TO	12			12
Trabekulektomie	2			2
Trabekulotomie mit Trabekulektomie	3			3
Zyklokryokoagulation	21	1	1	19
Kontrollierte	8			8
Zyklophotokoagulation				
Ahmed-Ventil	9	1	1	7
Synechiolyse	2	1	1	
Zilliarkörperoperation	1			1
Sonden-TO + Iridektomie	4			4
Undefinierte Revision	2			2
Aderhautpunktion	1			1
	73	4	3	66

4.5.5 Vergleich nach Diagnosen und Operationsmethoden

4.5.5.1 Primäres kongenitales Glaukom

In der Gruppe des primären kongenitalen Glaukoms mussten sich von den 79 operierten Augen 21 (26,6%) einer Revisionsoperation unterziehen. Dies entspricht 44,7% aller Augen mit Revisionsoperationen.

Aus der Gruppe der 360 Grad-TO mussten 3 (6,98%) von 43, bei der Sonden-TO 16 (53,33%) von 30 und bei der inkompletten 360 Grad-TO 2 (33,33%) von 6 Augen eine Revision erhalten (siehe Abbildung 10).

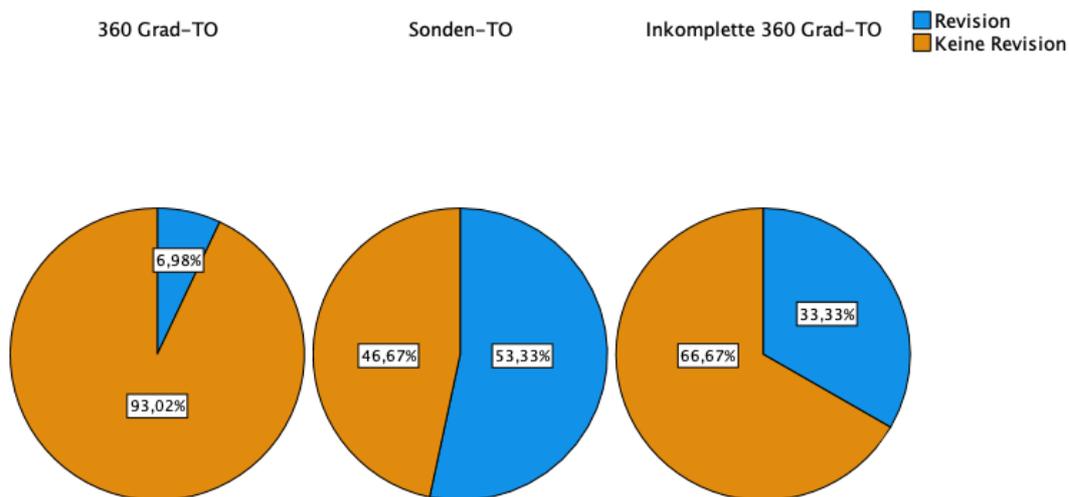


Abbildung 10 Verhältnis der Revisionsoperationen innerhalb der Operationsmethoden bei Diagnose des PCG

4.5.5.2 Andere kindliche Glaukome

Von den 72 operierten Augen, bei denen ein anderes kindliches Glaukom vorlag, mussten 26 Augen (36,11%) erneut operiert werden. Dies entspricht 55,3% aller Augen mit Revisionsoperationen.

Aus der Gruppe der 360 Grad-TO musste 1 (4,55%) von 22, bei der Sonden-TO 24 (55,81%) von 43 und bei der inkompletten 360 Grad-TO 1 (14,29%) von 7 Augen eine Revision erhalten (siehe Abbildung 11).

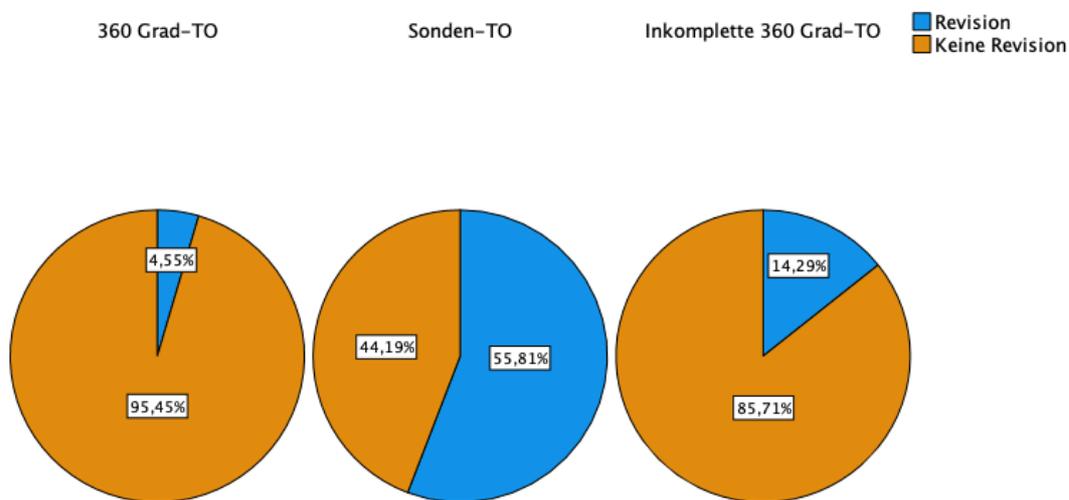


Abbildung 11 Verhältnis der Revisionsoperationen innerhalb der Operationsmethoden bei Diagnose andere kindliche Glaukome

4.6 Vergleich des IOD zum Operationszeitpunkt und Studienende

4.6.1 Gesamtkollektiv

Bei 147 der 151 operierten Augen konnte der IOD zum Operationszeitpunkt mit einem weiteren postoperativen IOD verglichen werden.

Zum Operationszeitpunkt lag der IOD im Durchschnitt bei 25,08 (SD= 7,91) mmHg. Der Median lag bei 25 mmHg (siehe Tabelle 6 und Abbildung 12).

Der IOD betrug bei der letzten Messung im Durchschnitt 16,39 (SD= 6,82) mmHg. Der Median lag bei 16,0 mmHg.

Der IOD war somit bei der letzten Messung statistisch signifikant niedriger als zum Operationszeitpunkt ($p < 0,001$).

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug 30,34 (SD= 21,39) Monate. Der Median lag bei 24 Monaten.

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 55,35 (SD= 62) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 214 Monate. Der Median lag bei 27 Monaten.

Tabelle 6 IOD Gesamtkollektiv zum Operationszeitpunkt und letztem Kontrolltermin

	N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
IOD Operationszeitpunkt	147	25,08	7,91	25,0	4,0	44,0	
IOD letzter Kontrolltermin	147	16,39	6,82	16,0	3,0	56,0	
Differenz IOD	147	8,68	9,11	9,0	-20,0	33,0	<0,001

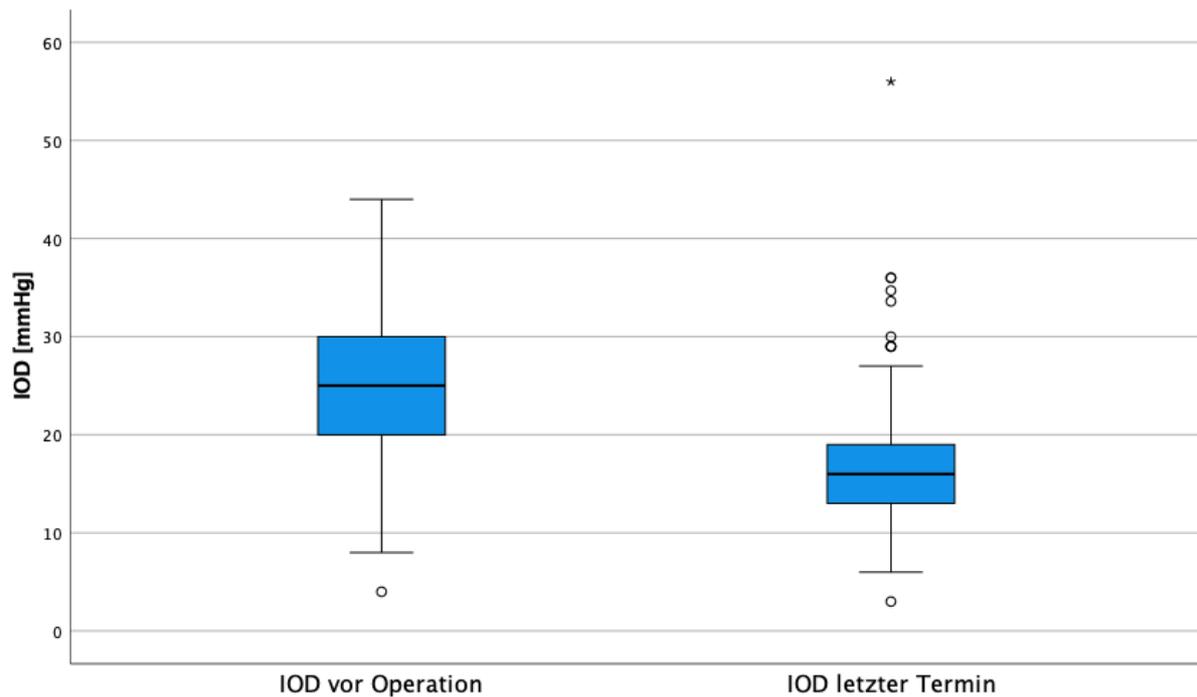


Abbildung 12 IOD Gesamtkollektiv zum Operationszeitpunkt und letztem Termin

4.6.2 IOD-Auswertung kompletter Zeitraum 360 Grad-TO

Im kompletten Nachverfolgungszeitraum haben die 65 mit der 360 Grad-TO operierten Augen eine statistisch signifikante IOD-Senkung erfahren ($p < 0,001$). Im Durchschnitt wurde der IOD um 10,12 (SD= 8,66) mmHg gesenkt (siehe Tabelle 7 und Abbildung 13). Der Median lag bei 10 mmHg.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug, 22,63 (SD= 17,52) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die maximale 70 Monate. Der Median lag bei 18 Monaten.

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 46,25 (SD= 59,87) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 202 Monate. Der Median lag bei 11 Monaten.

4.6.3 IOD-Auswertung kompletter Zeitraum Sonden-TO

Im kompletten Nachverfolgungszeitraum haben die 69 mit der Sonden-TO operierten Augen eine statistisch signifikante ($p < 0,001$) IOD-Senkung erfahren. Im Durchschnitt wurde der IOD um 8,13 (SD= 8,98) mmHg gesenkt. Der Median lag bei 8 mmHg.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug 39,55 (SD= 22,23) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die maximale 101 Monate. Der Median lag bei 41 Monaten.

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 67,49 (SD= 65,33) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 214 Monate. Der Median lag bei 45 Monaten.

4.6.4 IOD-Auswertung kompletter Zeitraum inkomplette 360 Grad-TO

Im kompletten Nachverfolgungszeitraum haben die 13 mit der inkompletten 360 Grad-TO operierten Augen eine nicht statistisch signifikante ($p = 0,173$) IOD-Senkung erfahren. Im Durchschnitt wurde der IOD um 4,44 (SD= 10,92) mmHg gesenkt. Der Median lag bei 7 mmHg.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug 20 (SD= 14,28) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die maximale 49 Monate. Der Median lag bei 18 Monaten.

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 36,46 (SD= 42,15) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 156 Monate. Der Median lag bei 29 Monaten.

4.6.5 Vergleich IOD-Differenz 360 Grad-TO und Sonden-TO kompletter Zeitraum

Zum Operationszeitpunkt lag kein statistisch signifikanter Unterschied im IOD zwischen beiden Operationsverfahren vor ($p = 0,055$).

Bei der IOD-Differenz zwischen Operationszeitpunkt und letztem Kontrolltermin ist kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der 360 Grad-TO (65 Augen) und der Sonden-TO (70 Augen) festzustellen ($p = 0,240$).

Tabelle 7 IOD Gesamtkollektiv zum Operationszeitpunkt und letztem Kontrolltermin

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
360 Grad-TO	IOD Operationszeitpunkt	65	23,71	8,50	24,0	4,0	44,0	
	IOD letzter Kontrolltermin	65	13,59	4,77	14,00	3,0	27,0	
	Differenz IOD	65	10,12	8,66	10,0	-8,30	33,0	<0,001
Sonden-TO	IOD Operationszeitpunkt	69	26,64	6,96	26,0	8,5	44,0	
	IOD letzter Kontrolltermin	69	18,51	7,25	17,2	7,0	56,0	
	Differenz IOD	69	8,13	8,98	8,00	-20,00	32,00	<0,001
Inkomplette 360 Grad-TO	IOD Operationszeitpunkt	13	23,62	8,63	23,0	8,0	38,0	
	IOD letzter Kontrolltermin	13	19,18	8,33	17,0	10,0	34,7	
	Differenz IOD	13	4,44	10,92	7,0	-13,7	19,00	0,173

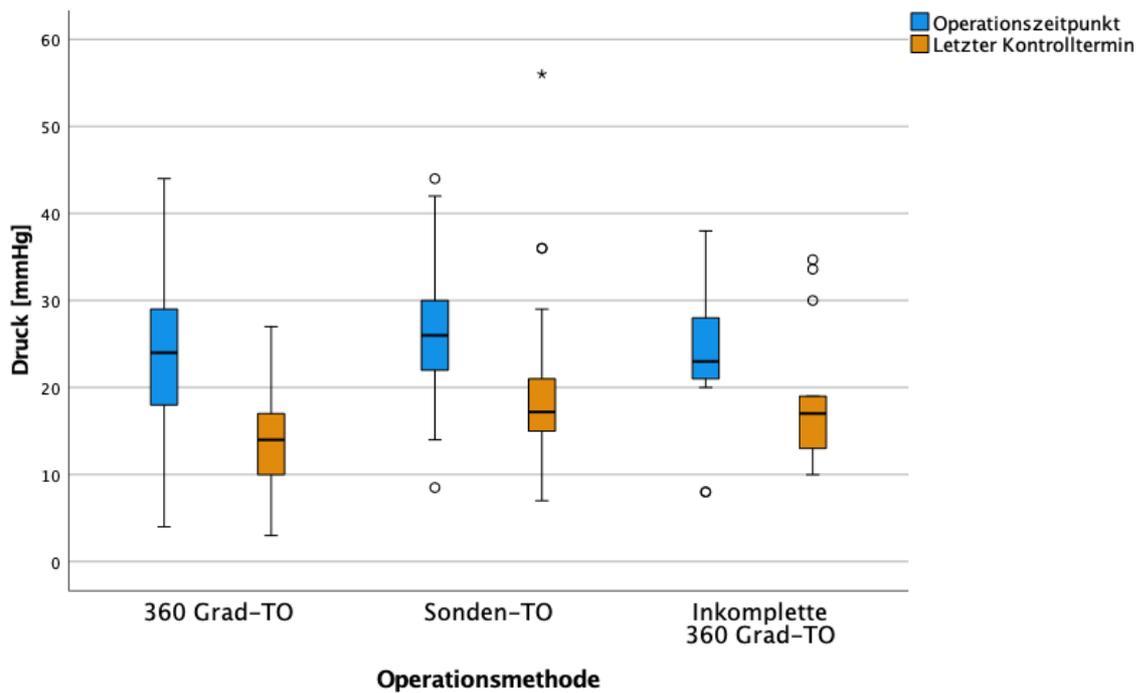


Abbildung 13 Entwicklung des Augeninnendrucks des Gesamtkollektivs nach Operationsmethoden

4.7 Vergleich des IOD im Kollektiv ohne Revisionsoperationen

4.7.1 Gesamtkollektiv

In 104 Fällen konnte der IOD nachverfolgt werden, ohne dass eine Revisionsoperation erfolgen musste. Durchschnittlich wurde der IOD um 8,95 (SD= 9,14) mmHg gesenkt. Der Median der IOD-Senkung lag bei 9 mmHg (siehe Tabelle 8). Der IOD wurde statistisch signifikant gesenkt ($p < 0,001$).

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug 26,84 (SD= 22,22) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die maximale 77 Monate. Der Median lag bei 20 Monaten.

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 52,8 (SD= 60,36) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 209 Monate. Der Median lag bei 23,5 Monaten.

Tabelle 8 IOD Gesamtkollektiv zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin ohne Revisionsoperationen

	N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
IOD	104	24,7	7,82	24,5	4	44	
Operationszeitpunkt							
IOD letzter Kontrolltermin	104	15,76	7,09	15	3	56	
Differenz IOD	104	8,95	9,14	9	-20	33	< 0,001

4.7.2 IOD-Auswertung 360 Grad-TO

In der 360 Grad-TO Gruppe musste während des kompletten Nachverfolgungszeitraums bei 61 Augen keine Revision durchgeführt werden. Die durchschnittliche Drucksenkung betrug 10,61 (SD= 8,39) mmHg (siehe Tabelle 9). Der Median lag bei 10 mmHg. Der IOD ist statistisch signifikant gesenkt worden ($p < 0,001$).

Die durchschnittliche Beobachtungsdauer betrug 22,82 (SD= 17,59) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die Maximale 70 Monate. Der Median lag bei 18 Monaten.

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 47,92 (SD= 61,16) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 202 Monate. Der Median lag bei 11 Monaten.

4.7.3 IOD-Auswertung Sonden-TO

In der Sonden-TO Gruppe musste während des kompletten Nachverfolgungszeitraum bei 33 Augen keine Revision durchgeführt werden. Die durchschnittliche Drucksenkung betrug 7,06 (SD= 9,61) mmHg. Der Median lag bei 8 mmHg. Der IOD ist statistisch signifikant gesenkt worden ($p < 0,001$).

Die durchschnittliche Beobachtungsdauer betrug 36,03 (SD= 23,32) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die Maximale 77 Monate. Der Median lag bei 31 Monaten.

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 66,79 (SD= 61,51) Monaten. Das Minimum betrug 1, das Maximum 209 Monate. Der Median lag bei 45 Monaten.

4.7.4 IOD-Auswertung inkomplette 360 Grad-TO

In der inkompletten 360 Grad-TO Gruppe musste im kompletten Nachverfolgungszeitraum bei 10 Augen keine Revision durchgeführt werden. Die durchschnittliche Drucksenkung betrug 5,13 (SD= 10,43) mmHg. Der Median lag bei 7,5 mmHg. Der IOD ist nicht statistisch signifikant gesenkt worden ($p = 0,139$).

Die durchschnittliche Beobachtungsdauer betrug 21 (SD= 15,14) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die Maximale 49 Monate. Der Median lag bei 18,5 Monaten.

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 36,4 (SD= 46,16) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 156 Monate. Der Median lag bei 28 Monaten.

4.7.5 Vergleich 360 Grad-TO und Sonden-TO

Zwischen den beiden Gruppen bestand zum Operationszeitpunkt kein statistisch signifikanter Unterschied des IODs ($p = 0,140$) (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15).

Die IOD-Differenz zwischen Operationszeitpunkt und letztem Kontrolltermin bei den Patientenaugen ohne Revisionsoperationen zeigt keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der 360 Grad-TO Methode (61 Augen) und der Sonden-TO Methode (33 Augen) ($p = 0,072$).

Der Beobachtungszeitraum war im Durchschnitt 27,46 (SD= 20,66) Monate. Minimum waren 1, Maximum waren 77 Monate. Der Median lag bei 20 Monaten.

Tabelle 9 IOD zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin des Kollektivs ohne Revisionsoperationen

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
360 Grad-TO	IOD Operationszeitpunkt	61	23,87	8,45	24,0	4,0	44,0	
	IOD letzter Kontrolltermin	61	13,26	4,56	14,0	3,0	22,6	
	Differenz IOD	61	10,61	8,39	10,0	-6,5	33,0	< 0,001
Sonden-TO	IOD Operationszeitpunkt	33	26,65	6,48	25,00	14,0	40	
	IOD letzter Kontrolltermin	33	19,59	8,70	18,00	8,0	56	
	Differenz IOD	33	7,06	9,61	8,00	-20	25	< 0,001
Inkomplette 360 Grad-TO	IOD Operationszeitpunkt	10	23,5	7,50	23	8	38	
	IOD letzter Kontrolltermin	10	18,37	8,03	16	10	34,7	
	Differenz IOD	10	5,13	10,43	7,5	-13,7	19	0,139

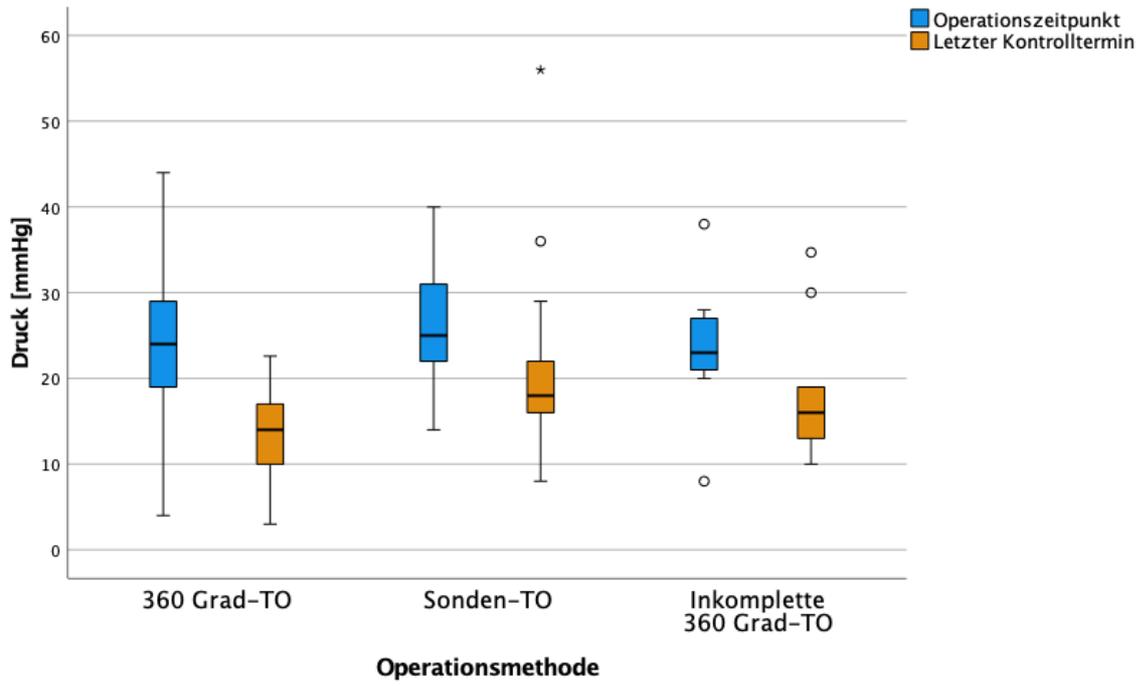


Abbildung 14 Entwicklung des Augeninnendrucks ohne Revisionsoperationen nach Operationsmethoden

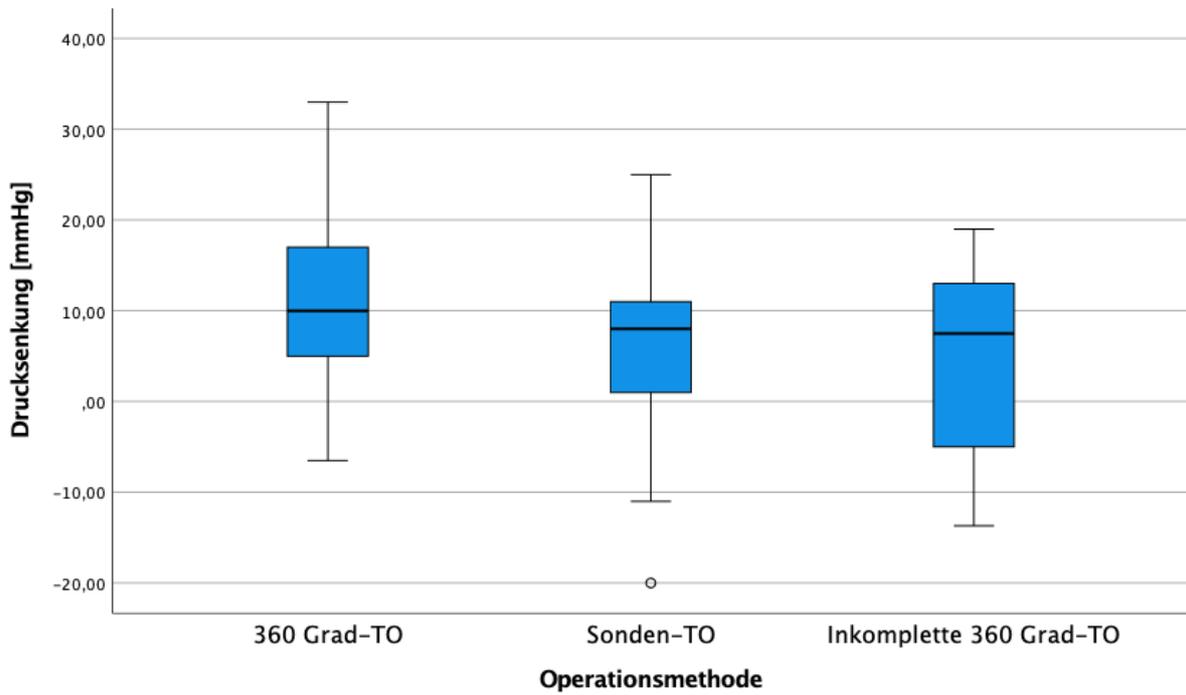


Abbildung 15 Drucksenkung nach Operationsmethode Kollektiv ohne Revisionen

4.8 Vergleich 360 Grad-TO und Sonden-TO nach 2 Jahren

Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum der 360 Grad-TO beträgt 2 Jahre \pm 6 Monate (Intervall 4 (I4)).

4.8.1 Vergleich IOD nach 2 Jahren inklusive Revisionsoperationen

In dem Zeitintervall I1 (Operationszeitpunkt) bis I4 senkten sowohl die 360 Grad-TO als auch die Sonden-TO den IOD statistisch signifikant ($p < 0,001$) (siehe Tabelle 10 und Abbildung 16). Es war kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Drucksenkung beider Gruppen zu verzeichnen ($p = 0,464$).

Tabelle 10 IOD Gesamtkollektiv zum Operationszeitpunkt und I4

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
360 Grad-TO	IOD	27	24,26	8,65	26	8	44	
	Operationszeitpunkt							
	IOD Intervall 4	27	12,98	4,57	13	7	27	
	Differenz IOD	27	11,28	8,9	11	-4	29	< 0,001
Sonden-TO	IOD	42	26,53	7,47	26,25	8,5	44	
	Operationszeitpunkt							
	IOD Intervall 4	42	17,24	8,01	16	4	39	
	Differenz IOD	42	9,29	10,46	9	-22	37	< 0,001
Inkomplette 360 Grad-TO	IOD	8	27,25	6,32	25,5	20	38	
	Operationszeitpunkt							
	IOD Intervall 4	8	15,75	2,96	15,5	11	20	
	Differenz IOD	8	11,5	5,98	10,5	4	19	0,012

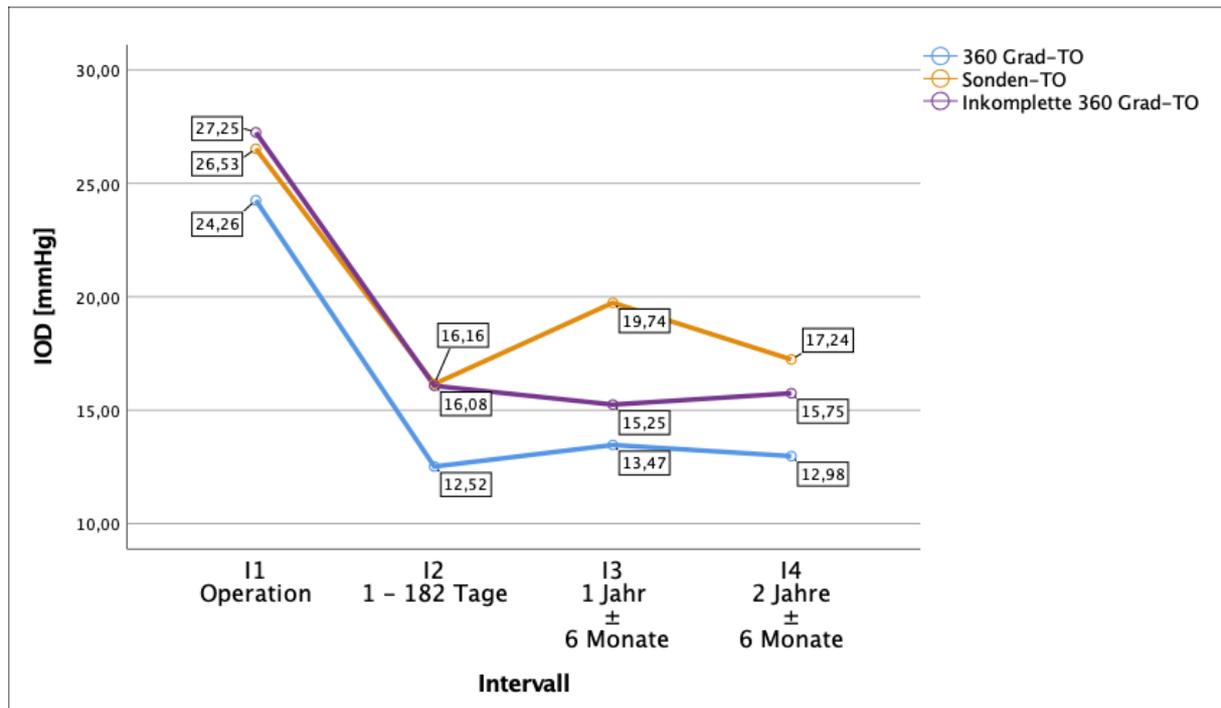


Abbildung 16 Entwicklung des durchschnittlichen IOD vom I1 bis I4 (2 Jahre ± 6 Monate)

4.8.2 Vergleich IOD nach 2 Jahren ohne Revisionen

In dem Kollektiv in denen keine Revisionsoperationen stattgefunden hatten, senkten im Zeitintervall I1 bis I4 sowohl die 360 Grad-TO als auch die Sonden-TO den IOD statistisch signifikant ($p < 0,001$) (siehe Tabelle 11 und Abbildung 17). Es war kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Drucksenkung beider Gruppen zu verzeichnen ($p = 0,887$).

Tabelle 11 IOD Kollektiv ohne Revisionen zum Operationszeitpunkt und I4

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
360 Grad-TO	IOD Operationszeitpunkt	25	23,84	8,87	25	8	44	
	IOD Intervall 4	25	12,34	3,72	12	7	22	
	Differenz IOD	25	11,5	9,04	11	-4	29	< 0,001
Sonden-TO	IOD Operationszeitpunkt	19	25,97	6,04	25	14	38	
	IOD Intervall 4	19	14,03	4,61	14	5	26,1	
	Differenz IOD	19	11,94	6,53	10	1	25	< 0,001
Inkomplette 360 Grad-TO	IOD Operationszeitpunkt	6	25,67	6,59	23	20	38	
	IOD Intervall 4	6	15,5	2,66	15,5	11	19	
	Differenz IOD	6	10,17	6,24	7,5	4	19	0,028

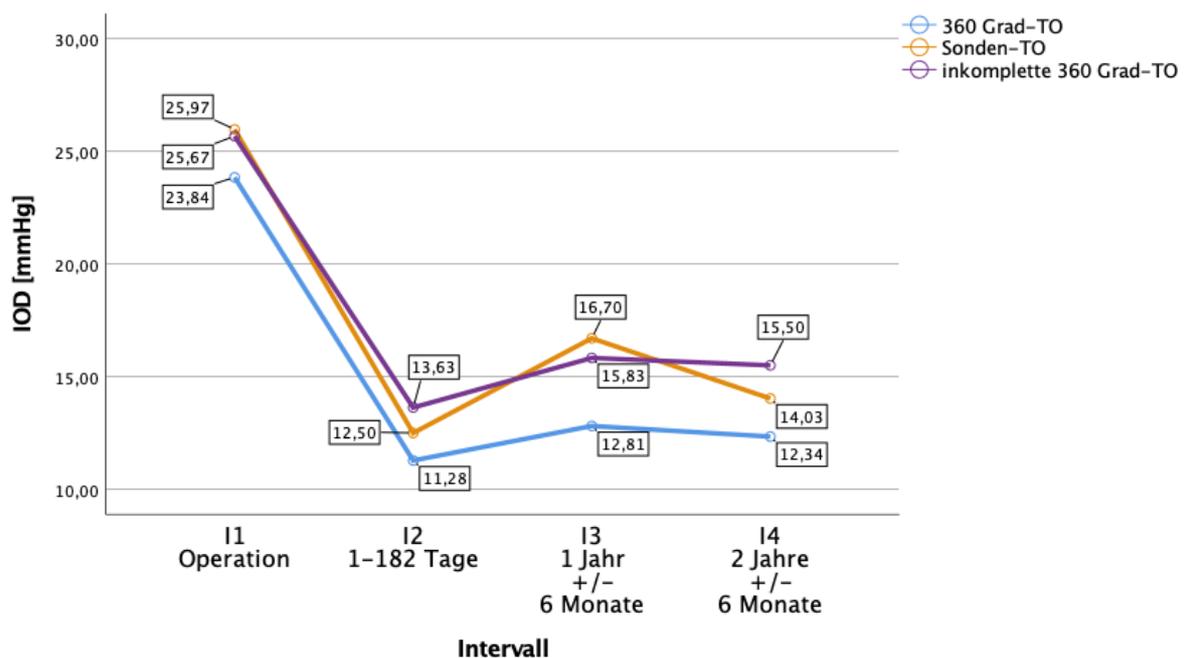


Abbildung 17 Entwicklung des durchschnittlichen IOD vom I1 (Operationszeitpunkt) bis I4 (2 Jahre \pm 6 Monate) ohne Revisionen

4.9 Vergleich IOD-Senkung nach Diagnose

4.9.1 Kongenitales Glaukom

4.9.1.1 Gesamtkollektiv

In 76 Fällen wurden Augen mit der Diagnose kongenitales Glaukom operiert. Durchschnittlich konnte der Druck um 9,37 (SD= 8,31) mmHg gesenkt werden. Der Median der IOD-Senkung lag bei 10 mmHg (siehe Tabelle 12). Somit wurde der IOD signifikant gesenkt ($p < 0,001$).

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug 30,86 (SD= 22,14) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die maximale 101 Monate. Der Median lag bei 28 Monaten.

Das durchschnittliche Alter der Augen lag zum Operationszeitpunkt bei 30,53 (SD= 46,23) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 214 Monate. Der Median lag bei 9 Monaten.

Tabelle 12 IOD zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin bei Diagnose des kongenitalen Glaukoms

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
Gesamtkollektiv	IOD	76	24,04	8,01	25	8	42	
	Operationszeitpunkt							
	IOD letzter Kontrolltermin	76	14,67	5,16	14,35	6	30	
	Differenz IOD	76	9,37	8,31	10	-11	25	< 0,001

4.9.1.2 360 Grad-TO

Es wurden 43 an kongenitalem Glaukom erkrankte Augen mit der 360 Grad-TO Methode operiert. Durchschnittlich konnte der Druck um 10,38 (SD= 7,38) mmHg gesenkt werden. Der Median lag bei 10,6 mmHg (siehe Tabelle 13). Somit wurde der IOD statistisch signifikant gesenkt ($p < 0,001$).

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 24,53 (SD= 40,69) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 174 Monate. Der Median lag bei 8 Monaten.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug 26,93 (SD= 19,79) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die maximale 70 Monate, der Median lag bei 20 Monaten.

4.9.1.3 Sonden-TO

Es wurden 27 an kongenitalem Glaukom erkrankte Augen mit der Sonden-TO Methode operiert. Durchschnittlich konnte der Druck um 9,36 (SD= 8,53) mmHg gesenkt werden. Der Median lag bei 9 mmHg. Somit wurde der IOD statistisch signifikant gesenkt ($p < 0,001$).

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 42,19 (SD= 56,13) Monaten. Das Minimum betrug 1, das Maximum 214 Monate. Der Median lag bei 16 Monaten.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug 39,33 (SD= 23,91) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 4, die maximale 101 Monate. Der Median lag bei 38 Monaten.

Tabelle 13 IOD zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin bei Diagnose des kongenitalen Glaukoms

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
360 Grad-TO	IOD	43	23,27	7,71	25	8	35	
	Operationszeitpunkt							
	IOD letzter Kontrolltermin	43	12,89	4,50	13	6	27	
	Differenz IOD	43	10,38	7,38	10,6	-5	22	< 0,001
Sonden-TO	IOD	27	26,34	7,75	25	14	42	
	Operationszeitpunkt							
	IOD letzter Kontrolltermin	27	16,98	4,71	16	10	29	
	Differenz IOD	27	9,36	8,53	9	-9	25	< 0,001

4.9.1.4 Vergleich Sonden-TO und 360 Grad-TO

In der Gruppe mit der Diagnose des kongenitalen Glaukoms ist sowohl in dem IOD vor der Operation ($p = 0,227$), als auch in der Druckdifferenz zwischen dem Operationszeitpunkt und dem letzten Kontrolltermin kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der 360 Grad-TO Methode (43 Augen) und der Sonden-TO Methode (27 Augen) festzustellen ($p = 0,583$).

4.9.2 Diagnose: Andere kindliche Glaukome

4.9.2.1 Gesamtkollektiv

In 71 Fällen wurden Augen mit der Diagnose eines anderen kindlichen Glaukoms operiert.

Durchschnittlich konnte der Druck um 7,95 (SD= 9,9) mmHg gesenkt werden. Der Median der Drucksenkung lag bei 8 mmHg (siehe Tabelle 14). Der IOD wurde statistisch signifikant gesenkt ($p < 0,001$).

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 81,93 (SD= 65,89) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 209 Monate. Der Median lag bei 68 Monaten.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug 29,79 (SD= 20,71) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die maximale 77 Monate. Der Median lag bei 21 Monaten.

Tabelle 14 IOD zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin bei Diagnose anderes kindliches Glaukom

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
Gesamtkollektiv	IOD	71	26,19	7,71	26	4	44	
	Operationszeitpunkt							
	IOD letzter Kontrolltermin	71	18,24	7,86	17	3	56	
	Differenz IOD	71	7,95	9,9	8	-20	33	< 0,001

4.9.2.2 360 Grad-TO

Von den 71 Fällen der Augen mit der Diagnose eines anderen kindlichen Glaukoms wurden 22 mit der 360 Grad-TO Methode operiert. Durchschnittlich konnte der Druck um 9,60 (SD= 10,92) mmHg gesenkt werden. Der Median lag bei 9,5 mmHg (siehe Tabelle 15). Der IOD wurde statistisch signifikant gesenkt ($p < 0,001$).

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 88,68 (SD= 69) Monaten. Das Minimum betrug 1, das Maximum 202 Monate. Der Median lag bei 74 Monaten.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug 14,23 (SD= 6,34) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 4, die maximale 32 Monate. Der Median lag bei 14,5 Monaten.

4.9.2.3 Sonden-TO

Von den 71 Fällen der Augen mit der Diagnose eines anderen kindlichen Glaukoms wurden 42 mit der Sonden-TO Methode operiert. Durchschnittlich konnte der Druck um 7,34 (SD= 9,28) mmHg gesenkt werden. Der Median lag bei 8 mmHg. Der IOD wurde statistisch signifikant gesenkt ($p < 0,001$).

Das durchschnittliche Alter der Augen lag bei 83,76 (SD= 66,24) Monaten. Das Minimum betrug 0, das Maximum 209 Monate. Der Median lag bei 83 Monaten.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum für diese Gruppe betrug 39,69 (SD= 21,39) Monate. Die minimale Beobachtungsdauer betrug 1, die maximale 77 Monate. Der Median lag bei 41,5 Monaten.

Tabelle 15 IOD zum Operationszeitpunkt und letzten Kontrolltermin bei Diagnose anderes kindliches Glaukom

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
360 Grad-TO	IOD	22	24,56	10,01	23,75	4	44	
	Operationszeitpunkt							
	IOD letzter Kontrolltermin	22	14,96	5,09	15,5	3	22,6	
	Differenz IOD	22	9,60	10,92	9,5	-8,3	33	< 0,001
Sonden-TO	IOD	42	26,83	6,5	26,25	8,5	44	
	Operationszeitpunkt							
	IOD letzter Kontrolltermin	42	19,49	8,40	18	7	56	
	Differenz IOD	42	7,34	9,28	8	-20	32	< 0,001

4.9.2.4 Vergleich 360 Grad-TO und Sonden-TO

In der Gruppe mit der Diagnose eines anderen kindlichen Glaukoms ist sowohl in dem IOD vor der Operation ($p = 0,157$), als auch in der Druckdifferenz zwischen dem Operationszeitpunkt und dem letzten Kontrolltermin kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der 360 Grad-TO Methode (22 Augen) und der Sonden-TO Methode (42 Augen) festzustellen ($p = 0,497$).

4.10 Erreichen der Erfolgskriterien

Der chirurgische Erfolg wurde anhand des Augeninnendrucks, der Medikation am letzten Kontrolltermin und dem Bedarf von Revisionsoperationen gemessen.

Ein kompletter chirurgischer Erfolg ist definiert als ein IOD kleiner gleich 21 mmHg bei letzter Visite, ohne zusätzlichen chirurgischen Eingriff oder Medikation drucksenkender Art.

Als qualifizierter chirurgischer Erfolg wird ein IOD kleiner gleich 21 mmHg bei letzter Visite, ohne zusätzlichen chirurgischen Eingriff, aber mit Medikation drucksenkender Art definiert.

Das Vorliegen eines Augeninnendrucks größer als 21 mmHg oder einer Revisionsoperation wird als Failure definiert.

4.10.1 Beobachtungszeitraum

4.10.1.1 360 Grad-TO

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum war 22,63 (SD= 17,52) Monate. Der minimale Beobachtungszeitraum war 1, der maximale 70 Monate. Der Median lag bei 18 Monaten.

4.10.1.2 Sonden-TO

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum war 39,6 (SD= 21,95) Monate. Der minimale Beobachtungszeitraum war 1, der maximale 101 Monate. Der Median lag bei 41 Monaten.

4.10.1.3 Inkomplette 360 Grad-TO

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum war 20 (SD= 14,28) Monate. Der minimale Beobachtungszeitraum war 1, der maximale 49 Monate. Der Median lag bei 18 Monaten.

4.10.2 Primäres Erfolgskriterium: IOD

Von den 151 operierten Augen erreichten am letzten Kontrolltermin 127 (84,1%) einen IOD kleiner gleich 21 mmHg.

4.10.2.1 360 Grad-TO

Von den 65 operierten Augen erreichten 60 (92,3%) am letzten Kontrolltermin einen Augeninnendruck kleiner gleich 21 mmHg (siehe Abbildung 18).

4.10.2.2 Sonden-TO

Von den 73 operierten Augen erreichten 57 (78,1%) am letzten Kontrolltermin einen Augeninnendruck kleiner gleich 21 mmHg.

4.10.2.3 Inkomplette 360 Grad-TO

Von den 13 operierten Augen erreichten 10 (76,9%) am letzten Kontrolltermin einen Augeninnendruck kleiner gleich 21 mmHg.

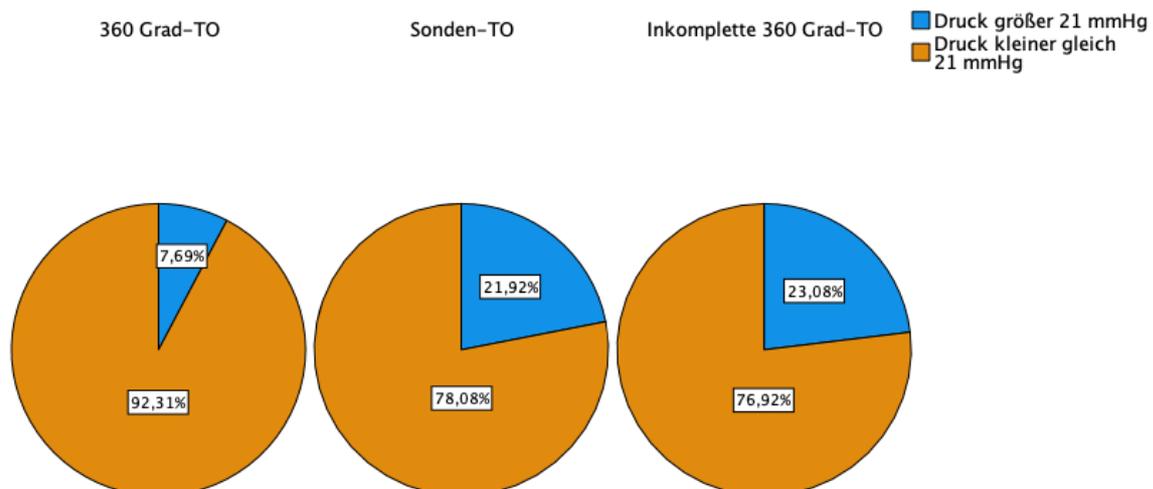


Abbildung 18 IOD letzter Kontrolltermin kleiner gleich 21 mmHg

4.10.3 **Chirurgischer Erfolg**

Von den 151 operierten Augen erzielten 71 (47,0%) einen kompletten chirurgischen Erfolg. Zusätzlich zu dem kompletten Erfolg erzielten 17 (11,3%) einen qualifizierten chirurgischen Erfolg, wohingegen 63 (41,7%) als Failure eingestuft wurden (siehe Tabelle 16 und Abbildung 19).

4.10.3.1 **360 Grad-TO**

Von den 65 mit der 360 Grad-TO Methode operierten Augen, erreichten 51 (78,5%) einen kompletten chirurgischen Erfolg. Zusätzlich zu dem kompletten Erfolg erzielten 6 (9,2%) Augen einen qualifizierten Erfolg, 8 (12,3%) waren ein Failure.

4.10.3.2 **Sonden-TO**

Von den 73 mit der Sonden-TO operierten Augen erzielten 13 (17,8%) einen kompletten chirurgischen Erfolg. Zusätzlich zu dem kompletten Erfolg erzielten 10 (13,7%) Augen einen qualifizierten Erfolg, 50 (68,5%) waren ein Failure.

4.10.3.3 **Inkomplette 360 Grad-TO**

Von den 13 mit der inkompletten 360 Grad-TO operierten Augen erreichten 7 (53,8%) einen kompletten chirurgischen Erfolg. Zusätzlich zu dem kompletten Erfolg erzielte 1 (7,7%) Auge einen qualifizierten Erfolg, 5 (38,5%) waren ein Failure.

4.10.3.4 **Vergleich kompletter chirurgischer Erfolg 360 Grad-TO und Sonden-TO**

Die 360 Grad-TO erreichte statistisch signifikant häufiger einen kompletten chirurgischen Erfolg als die Sonden-TO ($p < 0,001$).

Tabelle 16 Erfolg der Operationsmethoden

		Chirurgischer Erfolg			
			Failure	Qualifizierter Erfolg	Kompletter Erfolg
Operationsmethode	360 Grad-TO	Anzahl	8	57	51
		% von Operationsmethode	12,3%	87,7%	78,5%
	Sonden-TO	Anzahl	50	23	13
		% von Operationsmethode	68,5%	31,5%	17,8%
	Inkomplette 360 Grad-TO	Anzahl	5	1	7
		% von Operationsmethode	38,5%	61,5%	53,8%
Gesamt		Anzahl	63	88	71
		% von Operationsmethode	41,7%	58,3%	47,0%

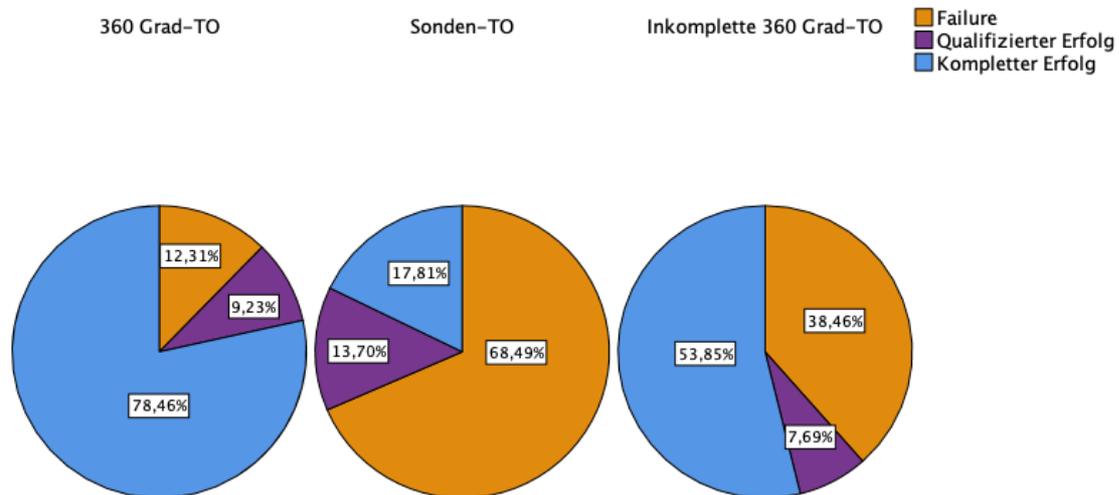


Abbildung 19 Erfolg nach Operationsmethoden

4.10.4 Qualifizierter Erfolg

In der Gruppe des zusätzlichen qualifizierten Erfolgs wurden von den 17 Augen im Schnitt 2,06 (SD= 0,97) Wirkstoffe eingenommen (siehe Abbildung 20).

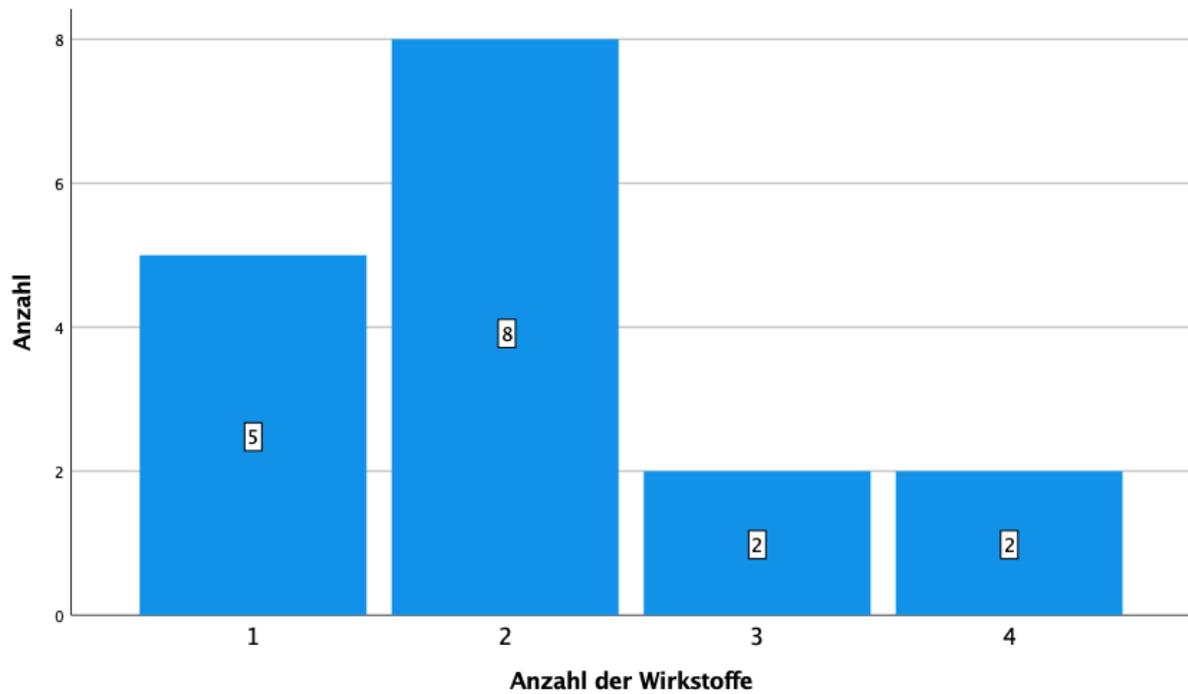


Abbildung 20 Anzahl der Wirkstoffe zum letzten Kontrolltermin

4.10.5 **Erfolg ohne Voroperationen**

4.10.5.1 **360 Grad-TO**

Von den 46 mit der 360 Grad-TO operierten Augen, erreichten 40 (87%) einen kompletten chirurgischen Erfolg. Zusätzlich zu dem kompletten Erfolg erzielten 3 (6,5%) Augen einen qualifizierten Erfolg, 3 (6,5%) waren ein Failure (siehe Tabelle 17 und Abbildung 21).

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum war 24,57 (SD= 18,79) Monate. Der minimale Beobachtungszeitraum war 3, der maximale 70 Monate, der Median lag bei 18,5 Monaten.

4.10.5.2 **Sonden-TO**

Von den 35 mit der Sonden-TO operierten Augen erzielten 7 (20%) einen kompletten chirurgischen Erfolg. Zusätzlich zu dem kompletten Erfolg erzielten 3 (8,6%) Augen einen qualifizierten Erfolg, 25 (71,4%) waren ein Failure.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum war 38,77 (SD= 19,77) Monate. Der minimale Beobachtungszeitraum war 4, der maximale 71 Monate, der Median lag bei 42 Monaten.

4.10.5.3 **Inkomplette 360 Grad-TO**

Von den 6 mit der inkompletten 360 Grad-TO operierten Augen erzielten 5 (83,3%) einen kompletten chirurgischen Erfolg, 1 (16,7%) war ein Failure.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum war 19,33 (SD= 6,62) Monate. Der minimale Beobachtungszeitraum war 9, der maximale 29 Monate, der Median lag bei 19 Monaten.

4.10.5.4 **Vergleich kompletter chirurgischer Erfolg 360 Grad-TO und Sonden-TO**

Die 360 Grad-TO erreichte statistisch signifikant häufiger einen kompletten chirurgischen Erfolg als die Sonden-TO ($p < 0,001$).

Tabelle 17 Erfolg nach Operationsmethode ohne Voroperation

Operationsmethode		Chirurgischer Erfolg		
		Failure	Qualifizierter Erfolg	Kompletter Erfolg
360 Grad-TO	Anzahl	3	43	40
	% von Operationsmethode	6,5%	93,5%	87%
Sonden-TO	Anzahl	25	10	7
	% von Operationsmethode	71,4%	28,6%	20%
Inkomplette 360 Grad-TO	Anzahl	1	5	5
	% von Operationsmethode	16,7%	83,3%	83,3%
Gesamt	Anzahl	29	58	52
	% von Operationsmethode	33,3%	66,7%	59,8%

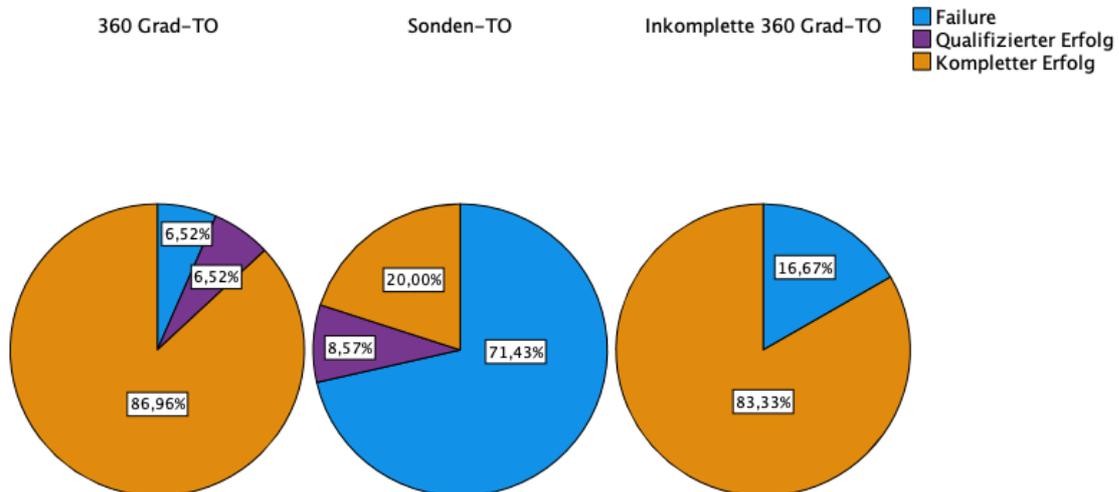


Abbildung 21 Erfolg nach Operationsmethode ohne Voroperation

4.10.6 **Erfolg nach 2 Jahren**

4.10.6.1 **360 Grad-TO**

Nach 2 Jahren +/- 6 Monaten konnten 29 der mit der 360 Grad-TO operierten Augen nachkontrolliert werden. Davon erreichten 24 (82,8%) einen kompletten chirurgischen Erfolg. Zusätzlich zu dem kompletten Erfolg erzielten 0 (0%) Augen einen qualifizierten Erfolg, 5 (17,2%) waren ein Failure (siehe Tabelle 18).

4.10.6.2 **Sonden-TO**

Nach 2 Jahren +/- 6 Monaten konnten 57 der mit der Sonden-TO operierten Augen nachkontrolliert werden. Davon erreichten 11 (19,3%) einen kompletten chirurgischen Erfolg. Zusätzlich zu dem kompletten Erfolg erzielten 9 (15,8%) Augen einen qualifizierten Erfolg, 37 (64,9%) waren ein Failure.

4.10.6.3 **Inkomplette 360 Grad-TO**

Nach 2 Jahren +/- 6 Monaten konnten 9 der mit der inkompletten 360 Grad-TO operierten Augen nachkontrolliert werden. Davon erreichten 5 (55,6%) einen kompletten chirurgischen Erfolg. Zusätzlich zu dem kompletten Erfolg erzielte 1 (11,1%) Auge einen qualifizierten Erfolg, 3 (33,3%) waren ein Failure.

4.10.6.4 **Vergleich kompletter chirurgischer Erfolg 360 Grad-TO und Sonden-TO**

Die 360 Grad-TO erreichte nach 2 Jahren +/- 6 Monaten statistisch signifikant häufiger einen kompletten chirurgischen Erfolg als die Sonden-TO ($p < 0,001$).

Tabelle 18 Erfolg nach 2 Jahren +/- 6 Monaten

		Chirurgischer Erfolg			
			Failure	Qualifizierter Erfolg	Kompletter Erfolg
Operationmethode	360 Grad-TO	Anzahl	5	24	24
		% von Operationmethode	17,2%	82,8%	82,8%
	Sonden-TO	Anzahl	37	20	11
		% von Operationmethode	64,9%	35,1%	19,3%
	Inkomplette 360 Grad-TO	Anzahl	3	6	5
		% von Operationmethode	33,3%	66,7%	55,6%
Gesamt		Anzahl	45	50	40
		% von Operationmethode	47,4%	52,6%	42,1%

4.11 Visus

Alle Visus-Werte werden als logMAR angegeben.

4.11.1 Gesamt

Insgesamt konnten 44 operierte Augen in die Analyse aufgenommen werden.

4.11.1.1 Visus Studienbeginn

Zum Operationszeitpunkt betrug der durchschnittliche Visus 0,55 (SD= 0,45) logMAR, der Median lag bei 0,46 logMAR (siehe Tabelle 19).

Das durchschnittliche Alter der Augen war 98,7 (SD= 66,59) Monate. Das minimale Alter war 3, das maximale 214 Monate. Der Median lag bei 101,5 Monaten.

4.11.1.2 Visus Studienende

Der letzte bestimmte Visus lag durchschnittlich bei 0,4 (SD= 0,35) logMAR, der Median betrug 0,35 logMAR.

Das durchschnittliche Alter der Augen betrug 128,14 (SD= 59,3) Monate. Das minimale Alter war 34, das maximale 243 Monate. Der Median lag bei 129,5 Monaten.

4.11.1.3 Visus-Entwicklung

Im Durchschnitt wurde der Visus über einen Zeitraum von 28,73 (SD= 18,63) Monaten kontrolliert, der Median lag bei 28,5 Monaten. In diesem Zeitraum gab es keine statistisch signifikante Visusveränderung ($p = 0,07$).

Tabelle 19 Visus-Entwicklung Gesamtkollektiv

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
Gesamt	Visus Operationszeitpunkt in logMAR	44	0,55	0,45	0,46	0,0	1,69	
	Visus letzter Kontrolltermin in logMAR	44	0,4	0,35	0,35	-0,1	1,30	
	Differenz Visus	44	0,15	0,45	0,04	-0,8	1,46	0,07

4.11.2 **360 Grad-TO**

Es konnte von 17 Augen der Visus analysiert werden

4.11.2.1 **Visus Studienbeginn**

Zum Operationszeitpunkt betrug der durchschnittliche Visus 0,44 (SD= 0,44) logMAR, der Median lag bei 0,22 logMAR (siehe Tabelle 20 und Abbildung 22).

Das durchschnittliche Alter der Augen war 114,94 (SD= 62,2) Monate. Das minimale Alter war 3, das maximale war 202 Monate. Der Median lag bei 138 Monaten.

4.11.2.2 **Visus Studienende**

Der letzte bestimmte Visus lag durchschnittlich bei 0,30 (SD= 0,33) logMAR, der Median lag bei 0,22 logMAR.

Das durchschnittliche Alter der Augen betrug 137,18 (SD= 56,61) Monate. Das minimale Alter war 34, das maximale war 215 Monate. Der Median lag bei 152 Monaten.

4.11.2.3 **Visus-Entwicklung 360 Grad-TO**

Im Durchschnitt wurde der Visus in der 360 Grad-TO Gruppe über einen Zeitraum von 21,76 (SD= 15,38) Monaten kontrolliert, der Median lag bei 19 Monaten.

In diesem Zeitraum gab es keine statistisch signifikante Visusveränderung ($p = 0,108$).

4.11.3 Sonden-TO

Es konnte von 24 Augen der Visus analysiert werden.

4.11.3.1 Visus Studienbeginn

Zu Beginn der Studie betrug der durchschnittliche Visus zum Operationszeitpunkt 0,63 (SD= 0,45) logMAR, der Median lag bei 0,6 logMAR.

Das durchschnittliche Alter der Augen war 94,58 (SD= 69,93) Monate. Das minimale Alter war 4, das maximale war 214 Monate. Der Median lag bei 86,5 Monaten.

4.11.3.2 Visus Studienende

Der letzte bestimmte Visus lag durchschnittlich bei 0,49 (SD= 0,36) logMAR, der Median betrug 0,495 logMAR.

Das durchschnittliche Alter der Augen betrug 128,88 (SD= 62,08) Monate. Das minimale Alter war 41, das maximale war 243 Monate. Der Median lag bei 122 Monaten.

4.11.3.3 Visus-Entwicklung Sonden-TO

Durchschnittlich wurde der Visus in der Sonden-TO Gruppe über 33,42 (SD= 19,33) Monate kontrolliert, der Median betrug 37,5 Monate.

In der Gruppe der Sonden-TO hat sich der Visus nicht statistisch signifikant verändert ($p = 0,35$).

4.11.4 Vergleich Visus-Entwicklung 360 Grad-TO und Sonden-TO

Durchschnittlich wurde der Visus beider Gruppen über 28,59 (SD= 18,53) Monate kontrolliert. Der Median lag bei 28,5, das Minimum bei 1, das Maximum bei 61 Monaten.

In Bezug auf die Visus-Entwicklung zeigen sich zwischen den beiden Operationsmethoden keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p = 0,740$).

Tabelle 20 Visus-Entwicklung nach Operationsmethode

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
360 Grad-TO	Visus Operationszeitpunkt in logMAR	17	0,44	0,44	0,22	0,0	1,55	
	Visus letzter Kontrolltermin in logMAR	17	0,30	0,33	0,22	0,0	1,3	
	Differenz Visus	17	0,14	0,39	0,1	-0,3	1,46	0,108
Sonden-TO	Visus Operationszeitpunkt in logMAR	24	0,63	0,45	0,6	0,0	1,69	
	Visus letzter Kontrolltermin in logMAR	24	0,49	0,36	0,5	-0,1	1,3	
	Differenz Visus	24	0,14	0,51	0,0	-0,8	1,29	0,350
Inkomplette 360 Grad-TO	Visus Operationszeitpunkt in logMAR	3	0,54	0,47	0,8	0,0	0,81	
	Visus letzter Kontrolltermin in logMAR	3	0,23	0,32	0,1	0,0	0,6	
	Differenz Visus	3	0,30	0,37	0,19	0,0	0,72	0,180

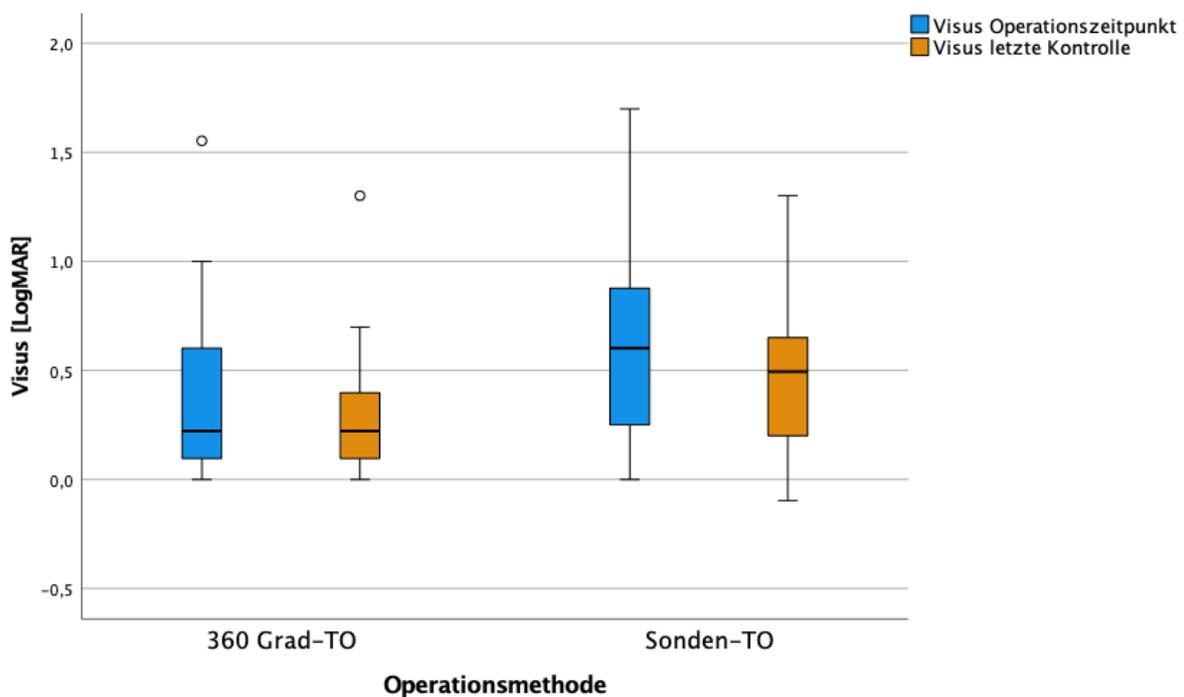


Abbildung 22 Visus-Entwicklung nach Operationsmethode

4.12 Achsenlänge

Zum Vergleich der Achsenlänge vor und nach erfolgter Operation wurde, sofern die Werte vorhanden waren, die Achsenlänge vor der Operation und die letzte postoperativ gemessene Achsenlänge ausgewertet und in die Statistik aufgenommen.

4.12.1 Gesamt

Insgesamt konnten 77 operierte Augen in die Analyse aufgenommen werden.

4.12.1.1 Achsenlänge Studienbeginn

Zum Operationszeitpunkt betrug die durchschnittliche Achsenlänge 22,96 (SD= 2,75) mm, der Median lag bei 23,1 mm (siehe Tabelle 21).

Das durchschnittliche Alter der Augen war 19,58 (SD= 29,82) Monate. Das minimale Alter war 0, das maximale 162 Monate. Der Median lag bei 7 Monaten.

4.12.1.2 Achsenlänge Studienende

Die letzte bestimmte Achsenlänge lag durchschnittlich bei 23,22 (SD= 2,51) mm, der Median lag bei 22,89 mm.

Das durchschnittliche Alter der Augen betrug 32 (SD= 35,08) Monate. Das minimale Alter war 1, das maximale 184 Monate. Der Median lag bei 18 Monaten.

4.12.1.3 Entwicklung der Achsenlänge

Im Durchschnitt wurde die Achsenlänge über einen Zeitraum von 11,84 (SD= 13,12) Monaten kontrolliert, der Median lag bei 8 Monaten. In diesem Zeitraum gab es keine statistisch signifikante Veränderung der Achsenlänge ($p = 0,220$).

Tabelle 21 Entwicklung der Achsenlänge Gesamtkollektiv

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
Gesamt	Achsenlänge	77	22,96	2,75	23,1	17,73	31,64	
	Operationszeitpunkt							
	Achsenlänge letzter Kontrolltermin	77	23,22	2,51	22,89	18,50	32,63	
	Differenz Achsenlänge	77	-0,25	1,36	-0,19	-6,03	2,51	0,220

4.12.2 360 Grad-TO

Es konnte von 34 Augen die Achsenlänge analysiert werden.

4.12.2.1 Achsenlänge Studienbeginn

Zum Operationszeitpunkt betrug die durchschnittliche Achsenlänge 23,13 (SD= 2,09) mm, der Median lag bei 23,43 mm (siehe Tabelle 22 und Abbildung 23).

Das durchschnittliche Alter der Augen war 12,47 (SD= 16,03) Monate. Das minimale Alter war 0, das maximale war 61 Monate. Der Median lag bei 6 Monaten.

4.12.2.2 Achsenlänge Studienende

Die letzte bestimmte Achsenlänge lag durchschnittlich bei 22,87 (SD= 1,96) mm, der Median lag bei 22,98 mm.

Das durchschnittliche Alter der Augen betrug 21,74 (SD= 18,75) Monate. Das minimale Alter war 1, das maximale war 74 Monate. Der Median lag bei 14,5 Monaten.

4.12.2.3 Entwicklung der Achsenlänge 360 Grad-TO

Im Durchschnitt wurde die Achsenlänge über einen Zeitraum von 8,56 (SD= 7,42) Monaten kontrolliert, der Median betrug 7 Monate.

Die Achsenlänge veränderte sich im Durchschnitt von 23,13 (SD= 2,09) mm auf 22,87 (SD= 1,96) mm. Diese Veränderung ist nicht statistisch signifikant ($p = 0,052$).

4.12.3 Sonden-TO

Es konnte von 39 Augen die Achsenlänge analysiert werden.

4.12.3.1 Achsenlänge Studienbeginn

Zum Operationszeitpunkt betrug die durchschnittliche Achsenlänge 22,87 (SD= 3,3) mm, der Median lag bei 22,4 mm.

Das durchschnittliche Alter der Augen war 25,82 (SD= 37,77) Monate. Das minimale Alter war 0, das maximale waren 162 Monate. Der Median lag bei 13 Monaten.

4.12.3.2 Achsenlänge Studienende

Die letzte bestimmte Achsenlänge lag durchschnittlich bei 23,56 (SD= 2,98) mm, der Median betrug 22,89 mm.

Das durchschnittliche Alter der Augen betrug 41,46 (SD= 43,64) Monate. Das minimale Alter war 4, das maximale war 184 Monate. Der Median lag bei 28 Monaten.

4.12.3.3 Entwicklung der Achsenlänge Sonden-TO

Durchschnittlich wurde die Achsenlänge in der Sonden-TO Gruppe über 15,05 (SD= 16,50) Monate kontrolliert, der Median betrug 9 Monate.

In der Gruppe der Sonden-TO hat sich die Achsenlänge statistisch signifikant vergrößert ($p = 0,009$).

4.12.3.4 Vergleich Entwicklung der Achsenlänge 360 Grad-TO und Sonden-TO

Durchschnittlich wurde die Achsenlänge beider Gruppen über 12,03 (SD= 13,4) Monate kontrolliert. Der Median lag bei 8, das Minimum bei 1, das Maximum bei 59 Monaten.

Die Sonden-TO weist eine statistisch signifikant stärkere Veränderung der Achsenlänge als die 360 Grad-TO auf ($p = 0,001$).

Tabelle 22 Entwicklung der Achsenlänge in mm nach Operationsmethode

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
360 Grad-TO	Achsenlänge Operationszeitpunkt	34	23,13	2,09	23,43	19,18	28,53	
	Achsenlänge letzter Kontrolltermin	34	22,87	1,96	22,98	19,72	27,21	
	Differenz Achsenlänge	34	0,26	0,79	0,38	-1,82	1,98	0,052
Sonden-TO	Achsenlänge Operationszeitpunkt	39	22,87	3,3	22,4	17,73	31,64	
	Achsenlänge letzter Kontrolltermin	39	23,56	2,98	22,89	18,50	32,63	
	Differenz Achsenlänge	39	-0,7	1,62	-0,67	-6,03	2,51	0,009

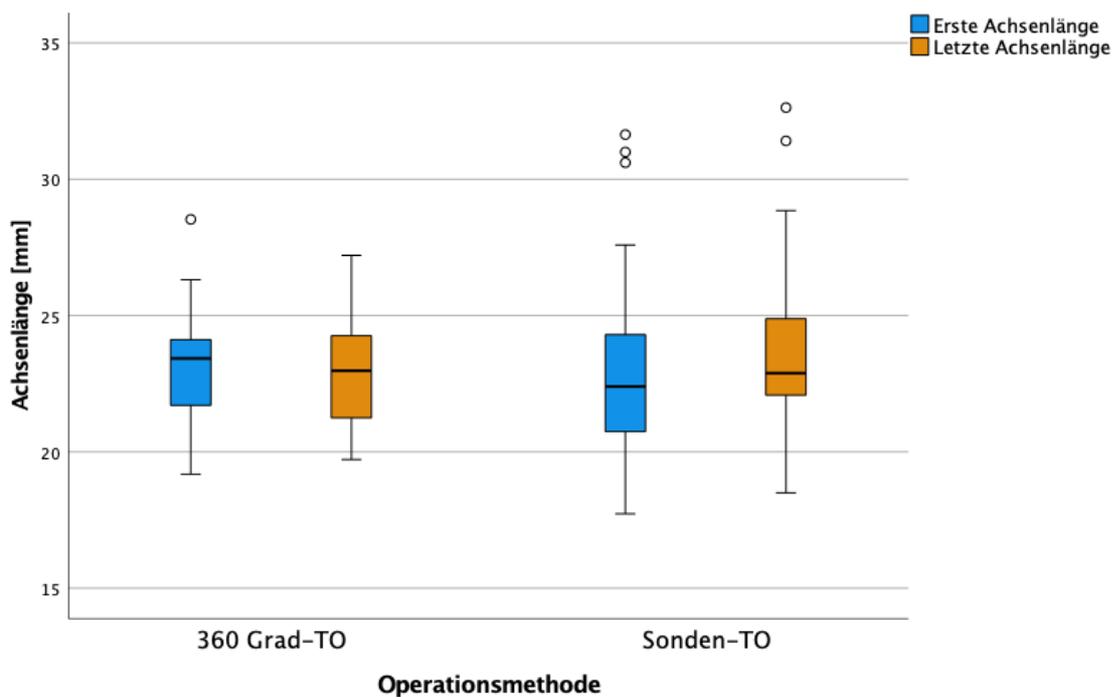


Abbildung 23 Entwicklung der Achsenlänge in mm nach Operationsmethode

4.13 Horizontaler Hornhautdurchmesser

Es wurde der präoperativ gemessene horizontale Hornhautdurchmesser (HH) mit dem letzten vorliegenden horizontalen Hornhautdurchmesser verglichen.

4.13.1 Gesamt

Insgesamt konnten 43 operierte Augen in die Analyse aufgenommen werden.

4.13.1.1 HH Studienbeginn

Zum Operationszeitpunkt betrug der durchschnittliche HH 13,25 (SD= 1,54) mm, der Median lag bei 13,2 mm (siehe Tabelle 23).

Das durchschnittliche Alter der Augen war 22,56 (SD= 30,43) Monate. Das minimale Alter war 0, das maximale 162 Monate. Der Median lag bei 9 Monaten.

4.13.1.2 HH Studienende

Der letzte bestimmte HH lag durchschnittlich bei 13,31 (SD= 1,53) mm, der Median lag bei 13,1 mm.

Das durchschnittliche Alter der Augen betrug 32,65 (SD= 31,82) Monate. Das minimale Alter war 4, das maximale 165 Monate. Der Median lag bei 18 Monaten.

4.13.1.3 Entwicklung des horizontalen Hornhautdurchmessers

Im Durchschnitt wurde der HH über einen Zeitraum von 9,33 (SD= 10,97) Monaten kontrolliert, der Median lag bei 6 Monaten. In diesem Zeitraum gab es keine statistisch signifikante Veränderung des HH ($p = 0,6$).

Tabelle 23 HH-Entwicklung Gesamtkollektiv

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
Gesamt	HH	43	13,25	1,54	13,2	9	17	
	Operationszeitpunkt							
	HH letzter Kontrolltermin	43	13,31	1,53	13,1	9	19,0	
	Differenz HH	43	-0,06	0,65	0,0	-2	1,5	0,6

4.13.2 **360 Grad-TO**

Es konnte von 19 Augen der horizontale Hornhautdurchmesser analysiert werden.

4.13.2.1 **HH Studienbeginn**

Zum Operationszeitpunkt betrug der durchschnittliche HH 13,49 (SD= 0,99) mm, der Median lag bei 13,6 mm (siehe Tabelle 24 und Abbildung 24).

Das durchschnittliche Alter der Augen war 19 (SD= 21,91) Monate. Das minimale Alter war 1, das maximale war 61 Monate. Der Median lag bei 9 Monaten.

4.13.2.2 **HH Studienende**

Der letzte bestimmte HH lag durchschnittlich bei 13,38 (SD= 1) mm, der Median lag bei 13,2 mm.

Das durchschnittliche Alter der Augen betrug 28,89 (SD= 23,69) Monate. Das minimale Alter war 4, das maximale war 75 Monate. Der Median lag bei 16 Monaten.

4.13.2.3 **Entwicklung des horizontalen Hornhautdurchmessers 360 Grad-TO**

Im Durchschnitt wurde der HH über einen Zeitraum von 9,05 (SD= 8,26) Monaten kontrolliert, der Median war 7 Monate. Die minimale Beobachtungszeit war 0, die maximale 37 Monate.

Der HH veränderte sich durchschnittlich von 13,49 (SD= 0,99) mm auf 13,38 (SD= 0,997) mm. Diese Veränderung ist nicht statistisch signifikant ($p = 0,472$).

4.13.3 Sonden-TO

Es konnte von 20 Augen der horizontale Hornhautdurchmesser analysiert werden.

4.13.3.1 HH Studienbeginn

Zum Operationszeitpunkt betrug der durchschnittliche HH 13,22 (SD= 1,99) mm, der Median lag bei 13,5 mm.

Das durchschnittliche Alter der Augen war 26,6 (SD= 38,41) Monate. Das minimale Alter war 1, das maximale waren 162 Monate, der Median lag bei 13 Monate.

4.13.3.2 HH Studienende

Der letzte bestimmte HH lag durchschnittlich bei 13,35 (SD= 2,02) mm, der Median betrug 13,1mm.

Das durchschnittliche Alter der Augen betrug 37,30 (SD= 39,36) Monate. Das minimale Alter war 4, das maximale war 165 Monate. Der Median lag bei 21,5 Monaten.

4.13.3.3 Entwicklung des horizontalen Hornhautdurchmessers Sonden-TO

Durchschnittlich wurde der HH in der Sonden-TO Gruppe über 10 (SD= 14,02) Monate kontrolliert, der Median betrug 5,5 Monate.

Der HH vergrößerte sich durchschnittlich von 13,22 (SD= 1,99) mm auf 13,35 (SD= 2,02) mm. Die Vergrößerung des HH ist nicht statistisch signifikant ($p = 0,606$).

4.13.4 Vergleich HH-Entwicklung 360 Grad-TO und Sonden-TO

Durchschnittlich wurde der horizontale Hornhautdurchmesser beider Gruppen über 9,54 (SD= 11,43) Monate überwacht. Der Median lag bei 6, das Minimum bei 1, das Maximum bei 58 Monaten.

In Bezug auf die Entwicklung des horizontalen Hornhautdurchmessers zeigen sich zwischen den beiden Operationsmethoden keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p = 0,708$).

Tabelle 24 HH-Entwicklung nach Operationsmethode

		N	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Sig.
360 Grad-TO	HH	19	13,49	0,99	13,6	11,0	11,5	
	Operationszeitpunkt							
	HH letzter Kontrolltermin	19	13,38	1	13,2	11,5	15	
	Differenz HH	19	0,11	0,5	0,0	-0,5	1,5	0,472
Sonden-TO	HH	20	13,22	1,99	13,5	9	17	
	Operationszeitpunkt							
	HH letzter Kontrolltermin	20	13,35	2,02	13,1	9	19,0	
	Differenz HH	20	-0,13	0,77	0,0	-2	1	0,606

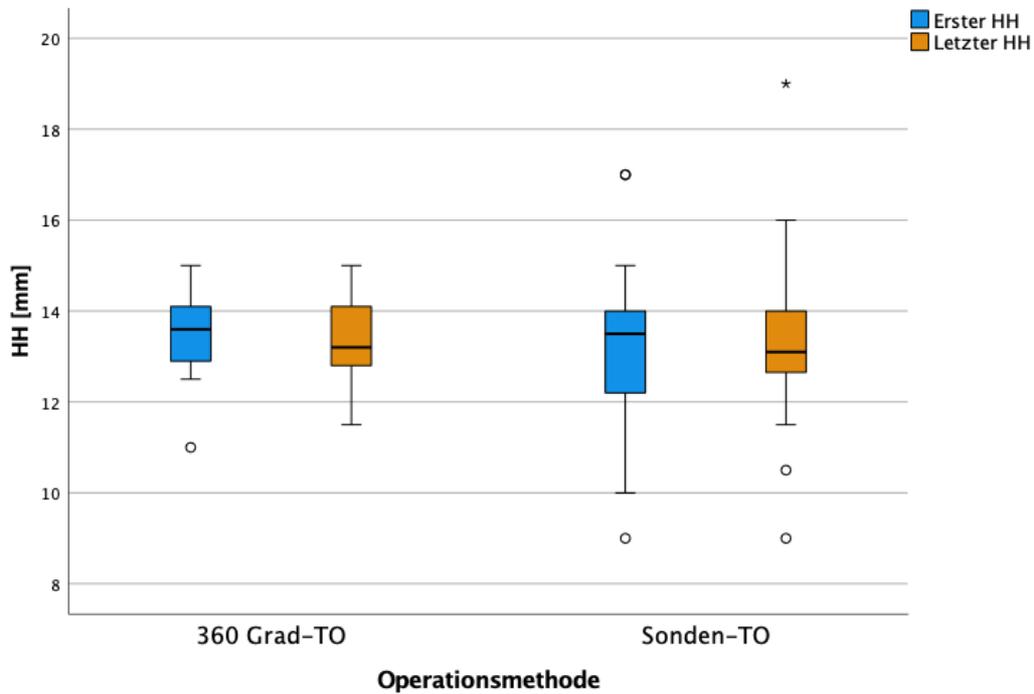


Abbildung 24 HH-Entwicklung nach Operationsmethode

5 Diskussion

Das Ziel dieser Arbeit war die Operationsmethoden 360 Grad-TO und Sonden-TO bei vorliegender Diagnose eines kindlichen Glaukoms retrospektiv zu vergleichen. Die erhobeneren Parameter IOD, Achsenlänge, horizontaler Hornhautdurchmesser und Visus wurden analysiert und zum direkten Vergleich der Operationsmethoden verwendet.

Das retrospektive Studienkonzept unterliegt einigen Limitationen. So wurden die Patienten nicht zu festen Follow-up Terminen einbestellt. Darüber hinaus konnten aufgrund von fehlenden Patientenakten und durch die nicht auf dieses Studiendesign standardisierte Nachuntersuchungen nicht immer alle für diese Studie relevanten Daten zu jedem Zeitpunkt erhoben bzw. dokumentiert werden. Es wurden in den Kontrollterminen nur die Daten erhoben, die einen therapeutischen Mehrwert für den Patienten dargestellt haben.

5.1 Patientenkollektiv

In dieser Studie konnten 192 erkrankte Augen analysiert werden, wovon 57,8% auf das weibliche und 42,2% auf das männliche Geschlecht fallen.

Von den insgesamt 109 Patienten überwogen die Patienten mit einer bilateralen Diagnose mit 76,1%. Bei 23,9% lag eine unilaterale Erkrankung vor.

Insgesamt lag das durchschnittliche Alter der 151 operierten Augen zum Operationszeitpunkt bei 54,4 (SD= 61,5) Monaten, der Median bei 25. Die große Diskrepanz zwischen durchschnittlichem Alter und Median lässt sich auf die hohe Anzahl an sekundären Glaukomen und das fortgeschrittene Alter der Augen, die bereits mindestens eine Voroperation erhalten hatten, zurückführen.

5.2 Diagnosen

Die Diagnose eines kongenitalen Glaukoms lag bei 52,3% der operierten Augen. Da auch in anderen Studien eine hohe Prävalenz von PCG beschrieben wird (15, 16), wurde in der vorliegenden Arbeit ein stärkerer Fokus auf die Gruppe der an PCG erkrankten Kinder gelegt. Bei 47,7% der operierten Augen lag eine andere Diagnose als das kongenitale Glaukom vor.

5.3 Voroperationen

Ein hoher Prozentsatz (42,2%) der 151 operierten Augen hatte bereits vor der untersuchten Operation mindestens eine Voroperation. Am häufigsten wurde die in Mainz entwickelte, kontrollierte Zyklophotokoagulation (CoCo) mit 40 Operationen als Voroperation durchgeführt, gefolgt von der Sonden-TO mit 30 Operationen. Die voroperierten Augen aus der Gruppe der Sonden-TO machten 59,4% aller voroperierten Augen aus, 29,7% waren aus der Gruppe der 360 Grad-TO und 10,9% aus der Gruppe der inkompletten 360 Grad-TO. Insgesamt gab es 150 Voroperationen von denen 100 auf die Gruppe der Sonden-TO, 39 auf die 360 Grad-TO Gruppe und 11 auf die inkomplette 360 Grad-TO Gruppe verteilt waren.

Durchschnittlich hatte jedes Auge der Sonden-TO Gruppe (1,37 (SD= 1,9) Voroperationen pro Auge) mehr als doppelt so viele Voroperationen als eines aus der 360 Grad-TO Gruppe (0,6 (SD= 1,56) Voroperationen pro Auge). In der Gruppe der inkompletten 360 Grad-TO hatte jedes Auge 0,85 (SD= 0,99) Voroperationen.

Die hohe Diskrepanz der Anzahl an Voroperationen kann die Ergebnisse der zu vergleichenden Operationsmethoden verfälschen. Voroperierte Augen bieten nur schwer vergleichbare Ausgangssituationen, weshalb zusätzlich eine gesonderte Analyse bezüglich des kompletten Erfolgs nach 2 Jahren \pm 6 Monaten von nicht vorbehandelten Augen durchgeführt wurde.

5.4 Revisionsoperationen

Insgesamt mussten von den 151 operierten Augen 47 (31,1%) mindestens eine Revisionsoperation erhalten. Auffallend war, dass von den 73 im beobachteten Zeitraum stattgefundenen Revisionsoperationen 66 und somit statistisch signifikant mehr auf die Sonden-TO Gruppe fielen und nur 4 auf die der 360 Grad-TO Gruppe.

Im Durchschnitt betrug der Beobachtungszeitraum 30,34 (SD= 21,39) Monate. In diesem Zeitraum wurde im Durchschnitt pro operierten Auge 0,48 (SD= 0,9) Revisionsoperationen durchgeführt. In anderen Studien wurden in Beobachtungszeiträumen von 4,75 bis 7,9 Jahren zwischen 2,3 und 2,5 Operationen pro Auge beschrieben (27, 37, 38). Diese sind jedoch aufgrund der längeren durchschnittlichen Beobachtungszeit nur bedingt mit unseren Ergebnissen zu vergleichen.

Unabhängig von der Diagnose mussten in der Gruppe der Sonden-TO deutlich mehr Revisionsoperationen (53,3% bei PCG und 55,8% bei anderen kindlichen Glaukomen) durchgeführt werden als in der 360 Grad-TO Gruppe (7% bei PCG und 4,6% bei anderen kindlichen Glaukomen), was auf eine konstantere Drucksenkung durch die 360 Grad-TO Methode schließen lässt. Das Ergebnis kann jedoch davon beeinflusst sein, dass die Sonden-TO Gruppe deutlich mehr voroperierte Augen enthielt, die sich als operativ anspruchsvoller darstellen und deren IOD tendenziell schwieriger einzustellen sein könnten.

In der Gruppe der 360 Grad-TO musste einem Auge ein Ahmed-Ventil eingesetzt werden. In der Sonden-TO Gruppe bekamen sieben Augen ein Ahmed-Ventil eingesetzt.

In der inkompletten 360 Grad-TO Gruppe mussten drei Revisionsoperationen (23,1%) durchgeführt werden, darunter eine Ahmed-Ventil Implantation.

Die absoluten Zahlen der Revisionsoperationen sind jedoch nur bedingt in Relation zu setzen, da sich die Beobachtungszeiträume und das Alter der Augen zum Operationszeitpunkt zum Teil erheblich unterschieden. Die 360 Grad-TO wurde im Median 18 Monate und die Sonden-TO im Median 41 Monate nachverfolgt. Das Alter der Augen der 360 Grad-TO Gruppe beträgt im Median 11 Monate, das der Sonden-TO im Median 45 Monate. Es lässt sich jedoch die Tendenz erkennen, dass die 360 Grad-TO eine geringere Anzahl an Revisionsoperationen nach sich zieht.

5.5 Intraokularer Druck

Die Entwicklung des IOD konnte bei 147 der 151 operierten Augen nachverfolgt werden. Der durchschnittliche Augeninnendruck der 147 Augen lag präoperativ bei 25,1 (SD= 7,9) mmHg und war somit niedriger als der IOD in anderen Studien. In diesen Studien lag der präoperative Augeninnendruck bei kindlichen Glaukom zwischen 29,1- 31,5 mmHg (37-39), bzw. bei 32,8 mmHg (25). In unserer Gruppe konnte der IOD statistisch signifikant ($p < 0,001$) um durchschnittlich 8,7 (SD= 9) mmHg auf 16,4 (SD= 6,8) mmHg gesenkt werden. Die absolute Drucksenkung in unserer Studie war etwas geringer als in den anderen Studien, in denen eine Druckreduktion von 11,07 bis 17 mmHg (25, 27, 39, 40) erreicht wurde. Dies kann mit den höheren Ausgangsdrucken der besagten Studien zusammenhängen.

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum in unserer Studie lag bei 30,3 (SD= 21,4) Monaten.

In dem kompletten Untersuchungszeitraum konnte die 360 Grad-TO trotz einem geringeren Ausgangsdruck als bei der Sonden-TO (23,7 (SD= 8,5) mmHg zu 26,6 (SD= 7) mmHg) den Druck absolut stärker senken als die Sonden-TO (10,1 (SD= 8,7) mmHg zu 8,1 (SD= 9) mmHg). Bei dem Ergebnis ist jedoch zu beachten, dass der Median der Beobachtungszeit der 360 Grad-TO Gruppe 18 Monate und der der Sonden-TO Gruppe 41 Monate betrug.

Werden nur die Fälle betrachtet, in denen keine Revisionsoperation indiziert war, bestätigt sich die Tendenz. Die 360 Grad-TO (61 Augen) senkte den IOD von 23,9 (SD= 8,4) mmHg um 10,6 (SD= 8,4) mmHg auf 13,3 (SD= 4,6) mmHg, während die Sonden-TO (33 Augen) den IOD von 26,7 (SD= 6,5) mmHg um 7,1 (SD= 9,6) mmHg auf 19,6 (SD= 8,7) mmHg senkte. Die 360 Grad-TO zeigte eine relevante Tendenz zur stärkeren Senkung des IOD im Vergleich zu der Sonden-TO ($p = 0,072$). Wobei wieder beachtet werden muss, dass die mediane Beobachtungsdauer in der 360 Grad-TO Gruppe 18 Monate und in der Sonden-TO-Gruppe 31 Monate betrug.

Setzt man die 360 Grad-TO und die Sonden-TO in direkten zeitlichen Vergleich, zeigen sich bei dem Kontrollintervall I4 (2 Jahre \pm 6 Monate) keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Drucksenkung, weder in der kompletten Gruppe ($p = 0,464$) noch in der Gruppe ohne Revisionsoperationen ($p = 0,887$).

Der Erfolg der IOD-Senkung der unterschiedlichen Operationsmethoden scheint von den Diagnosen der operierten Augen unabhängig zu sein. In der Gruppe der Diagnose des kongenitalen Glaukoms und in der Gruppe mit anderen kindlichen Glaukomen, zeigten beide Operationsarten eine statistisch signifikante IOD-Reduktion, jedoch keinen statistisch signifikanten Unterschied untereinander.

5.6 Erreichen der Erfolgskriterien

Entsprechend der aktuellen Leitlinien wurde die IOD-Senkung als Erfolg gewertet, wenn der IOD auf kleiner gleich 21 mmHg gesenkt wurde. Diese Grenze wird auch in anderen Publikationen als Grenzdruck angegeben (40, 41), wohingegen eine andere Publikation höhere Grenzdrucke von 24 mmHg mit oder ohne Medikation als Erfolg wertet (42).

In der Gesamtkohorte wurden von den 151 operierten Augen 58% erfolgreich operiert. Bei 47% wurde ein kompletter chirurgischer und zusätzlich bei 11% ein qualifizierter Erfolg erzielt. 41,7% der Fälle waren ein Failure. Dem stehen Studien gegenüber, in denen von einer Erfolgsrate von 79,5- 80,4% berichtet wird (40, 43). In einer Vorgängerstudie der Augenklinik der Universitätsmedizin Mainz wird bei Operationen bei kindlichen Glaukom im Zeitraum von 1995- 2015 eine komplette Erfolgsrate von 62% erreicht (25).

Unterteilt man die Gesamtkohorte in die einzelnen Operationsverfahren, so stellt sich heraus, dass die Augen, die mit der 360 Grad-TO operiert wurden, statistisch signifikant häufiger den kompletten chirurgischen Erfolg als die Sonden-TO erreichen ($p < 0,001$). Dies ist vor allem auf die häufigen Revisionsoperationen, die in der Sonden-TO Gruppe (54,8%) erforderlich waren, zurückzuführen. In der 360 Grad-TO Gruppe waren es lediglich 6,2%, die einer Revision bedurften.

Stellt man die 360 Grad-TO und die Sonden-TO in direkten zeitlichen Vergleich, zeigt sich bei dem Kontrollintervall I4 (2 Jahre \pm 6 Monate) ebenfalls ein statistisch signifikanter Unterschied im Erreichen des kompletten chirurgischen Erfolgs ($p < 0,001$).

Das Eintreten des kompletten chirurgischen Erfolgs scheint negativ damit zusammenzuhängen, ob die Augen eine Voroperation erhalten haben. So wurde in der 360 Grad-TO Gruppe, in der keine Voroperationen erfolgten, in 86,96% der Fälle

ein kompletter chirurgischer Erfolg und in nur 6,52% ein Failure verzeichnet. In der 360 Grad-TO Gruppe, die auch Voroperationen enthielten, waren 78,46% der Fälle ein kompletter chirurgischer Erfolg und 12,31% ein Failure. Letztere Prozentzahlen des Eintretens von Erfolg decken sich, bzw. übersteigen die obengenannten Erfolgsraten aus den anderen Studien, was darauf schließen lässt, dass die Erfolgsquote der Gesamtkohorte stark durch die Sonden-TO verringert wurde. Ebenso stieg die Erfolgsrate in der Gruppe der inkompletten 360 Grad-TO für das Erreichen des kompletten chirurgischen Erfolgs von 53,85% in der Gruppe, die Voroperationen enthielt, auf 83,33% in der Gruppe ohne Voroperationen. In der Gruppe der Sonden-TO stieg die Erfolgsrate für das Erreichen des kompletten chirurgischen Erfolgs von 17,81% in der Gruppe mit voroperierten Augen auf 20% in der Gruppe ohne voroperierte Augen. Es stieg jedoch auch die Anzahl der Failure von 68,49% in der voroperierten auf 71,43% in der nicht voroperierten Sonden-TO Gruppe.

Wie in früheren Studien beschrieben, konnte die vollständige Katheterisierung über 360 Grad aufgrund von Obstruktionen nicht in jedem Fall erreicht werden (28, 44-46). Jedoch war auch in den unvollständigen 360 Grad-TO die Erfolgswahrscheinlichkeit höher als in der Sonden-TO Gruppe.

5.7 Visus

In allen drei Operationsverfahren, gab es im gesamten Beobachtungszeitraum keine statistisch signifikanten Veränderungen des Visus. Auch der direkte Vergleich der Visusveränderungen zwischen 360 Grad-TO und Sonden-TO ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p = 0,740$).

5.8 Achsenlänge

In der gesamten Gruppe gab es im beobachteten Zeitraum keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Entwicklung der Achsenlänge ($p = 0,887$). Es handelt sich jedoch um einen kurzen Beobachtungszeitraum von 11,84 (SD= 13,12) Monaten, weshalb das Ergebnis nur bedingt aussagekräftig ist.

Im Gegensatz zur Gesamtgruppe zeigte sich in der Gruppe der Sonden-TO, in der der durchschnittliche Zeitraum mit 15,05 (SD= 16,5) Monaten etwas länger ausfiel, eine statistisch signifikante Zunahme der Achsenlänge ($p = 0,01$).

In der 360 Grad-TO-Gruppe zeigte sich keine statistisch signifikante Veränderung ($p = 0,052$) der Achsenlänge in dem kürzeren Zeitraum von 8,56 (SD= 7,42) Monaten.

Im direkten Vergleich, der aufgrund der unterschiedlichen Beobachtungszeit nur bedingt aussagekräftig erscheint, wies die Sonden-TO eine statistisch signifikante Zunahme der Achsenlänge im Vergleich zur 360 Grad-TO auf ($p = 0,001$).

Bei der Zunahme der Achsenlänge ist zu berücksichtigen, dass das natürliche Wachstum des Augapfels unbeachtet blieb. Von der 12. bis zur 37. Schwangerschaftswoche nimmt die Achsenlänge am stärksten zu, von durchschnittlich 5,1 auf 16,2 mm. Die Wachstumsrate sinkt kontinuierlich von der 38. Schwangerschaftswoche (Achsenlänge 16,2 mm) bis zum Alter von 3 Jahren (Achsenlänge 21,8 mm). Dieses Wachstum entspricht annähernd einem logarithmischen Wachstum (47). Unter dem Aspekt der sinkenden Wachstumsrate der Achsenlänge mit zunehmendem Alter, sind die Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt zu betrachten, dass das Patientenkollektiv der 360 Grad-TO mit einem Median von 6 Monaten deutlich jünger war, als das der Sonden-TO mit einem Median von 13 Monaten. Die Tatsache, dass in der 360 Grad-TO Gruppe eine Verringerung der Achsenlänge ermittelt wurde, stellt höchstwahrscheinlich eine statistische Schwankung dar.

5.9 Horizontaler Hornhautdurchmesser

Der horizontale Hornhautdurchmesser des Gesamtkollektivs als auch der 360 Grad-TO und Sonden-TO Gruppe wiesen keine statistisch signifikanten Veränderungen im Untersuchungszeitraum auf. Auch im direkten Vergleich der Längenveränderungen des HH zwischen 360 Grad-TO und Sonden-TO, zeigen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p = 0,708$).

6 Zusammenfassung

Das Ziel der Operation bei kindlichem Glaukom besteht darin, dass die aus dem individuell zu hohen IOD resultierende, irreversible Schädigung des Sehnervs verhindert wird.

Sofern nur die absolute Augeninnendrucksenkung der beiden Operationsverfahren verglichen wird, zeigen sich sowohl im Zwei-Jahres-Intervall als auch auf den kompletten Operationszeitraum bezogen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der 360 Grad-TO und der Sonden-TO. Beide Operationsverfahren senken den Augeninnendruck statistisch signifikant.

In Bezug auf den Visus ($p = 0,529$) als auch auf den horizontalen Hornhautdurchmesser ($p = 0,708$) zeigen sich in dieser Studie keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Operationsverfahren.

Die Achsenlänge zeigt in der Sonden-TO Gruppe ($p = 0,01$), im Gegensatz zur 360 Grad-TO ($p = 0,06$), eine statistisch signifikante Vergrößerung.

Es zeigen sich statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) im kompletten chirurgischen Erfolg zwischen den beiden zu vergleichenden Operationsmethoden. So liegt die Rate des kompletten chirurgischen Erfolgs in der 360 Grad-TO Gruppe bei 78,46%, dem gegenüber steht bei der Sonden-TO eine Erfolgsrate von 17,81%.

Die hohe Anzahl an Revisionsoperationen, die die Sonden-TO im Vergleich zur 360 Grad-TO im Untersuchungszeitraum mit sich zog, war ein Grund für die hohe Anzahl an Versagern in dieser Gruppe.

Zusammenfassend erweist sich die 360 Grad-TO im direkten Vergleich mit der Sonden-TO in dieser Untersuchung als die erfolgreichere Methode.

Die Tatsache, dass jeder unter Narkose stattfindende Eingriff ein potenziell lebensbedrohliches oder das Sehvermögen beeinträchtigendes Risiko für das Kind birgt, spricht für die 360 Grad-TO. Für die erfolgreiche Behandlung des kongenitalen Glaukoms mussten in der Sonden-TO Gruppe deutlich mehr Revisionsoperationen durchgeführt werden als in der 360 Grad-TO Gruppe.

Die aus dieser retrospektiven Studie resultierenden Ergebnisse, zeigen ein besseres Abschneiden der 360 Grad-TO. Da aufgrund der unterschiedlichen Altersstruktur in den Gruppen, der unterschiedlichen Nachbeobachtungszeit und den unterschiedlichen Raten an voroperierten Augen zwischen den Gruppen diese Ergebnisse nur eingeschränkt zu verallgemeinern sind, ist eine prospektive Studie zur Bestätigung der vorliegenden Ergebnisse notwendig.

7 Literaturverzeichnis

1. Käsman-Kellner B, Seitz B. [Selected aspects of pediatric ophthalmology for the non-pediatric ophthalmologist. Part 1: Basic knowledge and essential diagnostics to identify the need for specialized action]. *Ophthalmologe*. 2012;109(2):171-89; quiz 90-2.
2. Statistisches Bundesamt (Destatis). Schwerbehinderte Menschen [Internet] 2022 [zitiert am 09.01.2023]. Fachserie 13 Reihe 5.1 -2021. URL: https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00147157.
3. European Glaucoma Society. 2014. Terminologie und Leitlinien für das Glaukom.
4. Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e.V. 2012. Stellungnahme der DOG zur Glaukomfrüherkennung [Internet]. [zitiert am 18.01.2023]. URL: <https://www.dog.org/wp-content/uploads/2015/11/SN-Glaukom-August-2015.pdf>.
5. Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V. Glaukom [Internet]: Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V.; [zitiert am 02.09.2021]. URL: <https://www.augeninfo.de/offen/index.php?themenseite=Glaukom->.
6. Hoffmann EM. [360 degrees trabeculotomy for pediatric glaucoma]. *Ophthalmologe*. 2020;117(3):210-4.
7. Grehn F. Augenheilkunde [E-Book]. 32nd ed. Berlin: Springer; 2019.
8. Pfeiffer N. Definition des Glaukoms [Internet] 2010 [zitiert am 18.01.23]. URL: <https://www.dog.org/wp-content/uploads/2010/02/Definition-des-Glaukoms.pdf>.
9. Weinreb RN, Aung T, Medeiros FA. The Pathophysiology and Treatment of Glaucoma: A Review. *JAMA*. 2014;311(18):1901-11.
10. Fayed MA, Chen TC. Pediatric intraocular pressure measurements: Tonometers, central corneal thickness, and anesthesia. *Surv Ophthalmol*. 2019;64(6):810-25.
11. van der Walt JG, Roodt F, Tinley C. How does sevoflurane induction, followed by a ketamine maintenance infusion, affect intraocular pressure? Establishment of an anaesthetic protocol for paediatric glaucoma examinations under anaesthesia. *Br J Ophthalmol*. 2018;102(7):902-5.
12. Termühlen J, Gottschalk A, Eter N, Hoffmann EM, Van Aken H, Grenzebach U, et al. Does general anesthesia have a clinical impact on intraocular pressure in children? *Paediatr Anaesth*. 2016;26(9):936-41.
13. Watts P, Lim MK, Gandhewar R, Mukherjee A, Wintle R, Armstrong T, et al. The effect of laryngeal mask airway insertion on intraocular pressure measurement in children receiving general anesthesia. *Am J Ophthalmol*. 2007;144(4):507-10.
14. Thau A, Lloyd M, Freedman S, Beck A, Grajewski A, Levin AV. New classification system for pediatric glaucoma: implications for clinical care and a research registry. *Curr Opin Ophthalmol*. 2018;29(5):385-94.
15. Papadopoulos M, Cable N, Rahi J, Khaw PT, Investigators tBES. The British Infantile and Childhood Glaucoma (BIG) Eye Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2007;48(9):4100-6.
16. Khan AO. Genetics of primary glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol*. 2011;22(5):347-55.
17. Genčík A, Genčíkova A, Ferak V. Population genetical aspects of primary congenital glaucoma. I. Incidence, prevalence, gene frequency, and age of onset. *Human genetics*. 1982;61(3):193-7.
18. Chang TC, Cavuoto KM. Surgical Management in Primary Congenital Glaucoma: Four Debates. *Journal of Ophthalmology*. 2013;2013:612708.
19. Seifi M, Walter MA. Axenfeld-Rieger syndrome. *Clin Genet*. 2018;93(6):1123-30.
20. Bowling B. KANKIs Klinische Ophthalmologie: Ein Systemischer Ansatz. 8 ed: Elsevier GmbH Deutschland; 2017.
21. Alward WL. Axenfeld-Rieger syndrome in the age of molecular genetics. *Am J Ophthalmol*. 2000;130(1):107-15.
22. Idrees F, Vaideanu D, Fraser SG, Sowden JC, Khaw PT. A review of anterior segment dysgeneses. *Surv Ophthalmol*. 2006;51(3):213-31.
23. Higueros E, Roe E, Granell E, Baselga E. Sturge-Weber Syndrome: A Review. *Actas Dermosifiliogr*. 2017;108(5):407-17.
24. Coleman AL. Glaucoma. *Lancet*. 1999;354(9192):1803-10.

25. Wagner FM, Schuster AK-G, Grehn F, Urbanek L, Pfeiffer N, Stingl JV, et al. Twenty-Years of Experience in Childhood Glaucoma Surgery. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;10(24):5720.
26. Kampik A, Grehn F. *Augenärztliche Therapie: 88 Tabellen*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2002.
27. Alsheikheh A, Klink J, Klink T, Steffen H, Grehn F. Long-term results of surgery in childhood glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2007;245(2):195-203.
28. Girkin CA, Marchase N, Cogen MS. Circumferential trabeculotomy with an illuminated microcatheter in congenital glaucomas. *J Glaucoma*. 2012;21(3):160-3.
29. Girkin CA, Rhodes L, McGwin G, Marchase N, Cogen MS. Goniotomy versus circumferential trabeculotomy with an illuminated microcatheter in congenital glaucoma. *J aapos*. 2012;16(5):424-7.
30. Khitri MR, Mills MD, Ying GS, Davidson SL, Quinn GE. Visual acuity outcomes in pediatric glaucomas. *J aapos*. 2012;16(4):376-81.
31. Anderson DR. Trabeculotomy compared to goniotomy for glaucoma in children. *Ophthalmology*. 1983;90(7):805-6.
32. Akimoto M, Tanihara H, Negi A, Nagata M. Surgical results of trabeculotomy ab externo for developmental glaucoma. *Arch Ophthalmol*. 1994;112(12):1540-4.
33. Gregersen E, Kessing SV. Congenital glaucoma before and after the introduction of microsurgery. Results of "macrosurgery" 1943-1963 and of microsurgery (trabeculotomy/ectomy) 1970-1974. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1977;55(3):422-30.
34. Discussion on new methods of glaucoma surgery. *Bibl Ophthalmol*. 1970;81:154-60.
35. Papadopoulos M, Edmunds B, Fenerty C, Khaw PT. Childhood glaucoma surgery in the 21st century. *Eye (Lond)*. 2014;28(8):931-43.
36. Hoffmann EM, Aghayeva F, Schuster AK, Pfeiffer N, Karsten M, Schweiger S, et al. Results of childhood glaucoma surgery over a long-term period. *Acta Ophthalmol*. 2021.
37. Bussi eres JF, Therrien R, Hamel P, Barret P, Prot-Labarthe S. Retrospective cohort study of 163 pediatric glaucoma patients. *Can J Ophthalmol*. 2009;44(3):323-7.
38. Zetterberg M, Nystr om A, Kalaboukhova L, Magnusson G. Outcome of surgical treatment of primary and secondary glaucoma in young children. *Acta Ophthalmol*. 2015;93(3):269-75.
39. Aponte EP, Diehl N, Mohny BG. Medical and surgical outcomes in childhood glaucoma: a population-based study. *J aapos*. 2011;15(3):263-7.
40. Yassin SA, Al-Tamimi ER. Surgical outcomes in children with primary congenital glaucoma: a 20-year experience. *Eur J Ophthalmol*. 2016;26(6):581-7.
41. Kiefer G, Schwenn O, Grehn F. Correlation of postoperative axial length growth and intraocular pressure in congenital glaucoma--a retrospective study in trabeculotomy and goniotomy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2001;239(12):893-9.
42. Areaux RG, Jr., Grajewski AL, Balasubramaniam S, Brandt JD, Jun A, Edmunds B, et al. Trabeculotomy Ab Interno With the Trab360 Device for Childhood Glaucomas. *Am J Ophthalmol*. 2020;209:178-86.
43. Meyer G, Schwenn O, Pfeiffer N, Grehn F. Trabeculotomy in congenital glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2000;238(3):207-13.
44. Shi Y, Wang H, Yin J, Li M, Zhang X, Xin C, et al. Microcatheter-assisted trabeculotomy versus rigid probe trabeculotomy in childhood glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2016;100(9):1257-62.
45. Lim ME, Neely DE, Wang J, Haider KM, Smith HA, Plager DA. Comparison of 360-degree versus traditional trabeculotomy in pediatric glaucoma. *J aapos*. 2015;19(2):145-9.
46. Sarkisian SR, Jr. An illuminated microcatheter for 360-degree trabeculotomy [corrected] in congenital glaucoma: a retrospective case series. *J aapos*. 2010;14(5):412-6.
47. Groot ALW, Lissenberg-Witte BI, van Rijn LJ, Hartong DT. Meta-analysis of ocular axial length in newborns and infants up to 3 years of age. *Surv Ophthalmol*. 2022;67(2):342-52.

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich auf meinem bisherigen Werdegang und bei meinem Promotionsvorhaben begleitet und unterstützt haben.

9 Tabellarischer Lebenslauf