

**Aus der Klinik für Augenheilkunde
(Prof. Dr. med. H. Hoerauf)
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen**

**Untersuchung der Auswirkungen einer Trabekulotomie
ab interno mittels Trabektom auf den Augeninnendruck
– insbesondere beim PEX-Glaukom und Glaucoma
chronicum simplex**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Kathrin Eva Grunewald

aus
Höxter

Göttingen 2016

Dekan:	Prof. Dr. rer. Nat. H. K. Kroemer
Referent/in:	Prof. Dr. Hans Hoerauf
Ko-Referent/in:	Prof. Dr. Ralph Rödel
Drittreferent/in:

Datum der mündlichen Prüfung: 25.07.2017

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel
"Untersuchung der Auswirkungen einer Trabekulotomie ab interno mittels
Trabektom auf den Augeninnendruck
– insbesondere beim PEX-Glaukom und Glaucoma chronicum simplex"
eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen
Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den 28.11.2016

.....

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Physiologie des Augeninnendrucks.....	1
1.1.1	Kammerwasserproduktion und -Abfluss	1
1.2	Untersuchungsmethoden	3
1.2.1	Gonioskopie	3
1.2.2	Kammerwinkelstrukturen.....	4
1.2.3	Einteilung der Kammerwinkelweite nach Shaffer	5
1.2.4	Intraokularer Druck (IOD).....	5
1.2.5	Tonometrie.....	6
1.2.6	Visusprüfung.....	6
1.3	Das Glaukom.....	7
1.3.1	Primäres Offenwinkelglaukom (POWG).....	9
1.3.2	Pseudoexfoliationsglaukom (PEX-Glaukom; Glaucoma capsulare).....	10
1.3.3	Pigmentdispersionsglaukom	11
1.4	Glaukomtherapie	12
1.4.1	Einordnung der Trabekulotomie <i>ab interno</i> mit dem Trabektom in die Leitlinien	12
1.4.2	Medikamentöse Therapie.....	13
1.4.3	Trabekulektomie	13
1.5	Die Trabekulotomie	14
1.6	Das Trabektom	14
1.6.1	Entwicklung und Einführung.....	14
1.6.2	Aufbau des Gerätes	15
1.6.3	Operationsablauf.....	19
1.7	Fragestellung.....	22
2	MATERIAL UND METHODEN	23
2.1	Das Patientenkollektiv	23
2.1.1	Einschlusskriterien	25
2.1.2	Ausschlusskriterien	25
2.2	Datenerhebung.....	26
2.2.1	Besonderheiten bei der Erhebung der Daten.....	28
2.3	Statistische Analysen	30

2.3.1	Datenvorbereitung	30
2.3.2	Zeitlicher Verlauf	31
2.3.3	Vergleich: präoperativ mit postoperativ	32
2.3.4	Erfolgskriterien	34
3	ERGEBNISSE	36
3.1	Darstellungen im zeitlichen Verlauf	36
3.1.1	Intraokularer Druck	36
3.1.2	Anzahl lokal applizierter Antiglaukomatosa	41
3.1.3	Einnahme systemischer Antiglaukomatosa	43
3.1.4	Öffnung der behandelten Trabektomspur	45
3.2	Vergleich vom präoperativen mit letztem postoperativen Wert	49
3.2.1	Intraokularer Druck	49
3.2.2	Anzahl lokal applizierter Antiglaukomatosa	53
3.2.3	Visus	54
3.3	Erfolgskriterien	56
4	DISKUSSION	59
4.1	Vergleich der Studienergebnisse mit der Literatur	
	bzgl. des intraokularen Drucks	59
4.1.1	Gesamtes Patientenkollektiv	59
4.1.2	Vergleich zwischen der alleinigen Trabekulotomie <i>ab interno</i> und der Kombination mit Kataraktextraktion und Implantation einer Hinterkammerlinse	61
4.1.3	Vergleich zwischen GCS und PEX-Glaukom	65
4.2	Vergleich der Studienergebnisse mit der Literatur bzgl. der Anwendung drucksenkender Medikamente	66
4.2.1	Gesamtes Patientenkollektiv	66
4.2.2	Vergleich zwischen Trabekulotomie <i>ab interno</i> allein und der Kombinationsoperation mit Phakoemulsifikation und Kunstlinsenimplantation	68
4.2.3	Vergleich zwischen GCS und PEX-Glaukom	69
4.3	Vergleich der Erfolgskriterien dieser Studie mit Kriterien anderer Literatur	69
4.4	Einfluss auf nachfolgende drucksenkende Operationen	72

4.5	Einfluss der präoperativen Kammerwinkelweite auf das Operationsergebnis	73
4.6	Mögliche Störfaktoren dieser Studie.....	74
4.7	Beantwortung der unter 1.7 gestellten Fragen	75
4.8	Fazit.....	77
5	ZUSAMMENFASSUNG	79
6	LITERATURVERZEICHNIS	82

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Physiologische Kammerwasserabflusswege	3
Abb. 2:	Schematische Darstellung eines physiologischen Kammerwinkels	4
Abb. 3:	Konsole des Trabektoms mit Bewässerungssystem	16
Abb. 4:	Konsole des Trabektoms	16
Abb. 5:	Das Handstück des Trabektoms	17
Abb. 6:	Die Spitze des Trabektomhandstücks	18
Abb. 7:	Positionierung der Trabektomspitze durch die Vorderkammer	20
Abb. 8:	Schematische Darstellung des Trabektoms im Einsatz	21
Abb. 9:	Entfernung des juxtakanalikulären Trabekelmaschenwerks durch elektrische Impulse unter kontinuierlicher Irrigation und Aspiration	21
Abb. 10:	Box Plots zum intraokularen Druck im zeitlichen Verlauf bei allen erfassten Patienten	37
Abb. 11:	Box Plots zum intraokularen Druck im zeitlichen Verlauf bei Patienten mit PEX-Glaukom	39
Abb. 12:	Box Plots zum intraokularen Druck im zeitlichen Verlauf bei Patienten mit GCS	40
Abb. 13:	Box Plots zur Anzahl topischer Antiglaukomatosa im zeitlichen Verlauf beim gesamten Patientenkollektiv	42
Abb. 14:	Box Plots zur Anzahl topischer Antiglaukomatosa im zeitlichen Verlauf beim PEX-Glaukom	43
Abb. 15:	Patienten mit systemischer Carboanhydrasehemmereinnahme	44
Abb. 16:	PEX-Glaukompatienten mit systemischer Carboanhydrasehemmereinnahme	45
Abb. 17:	Patientenanteil mit Trabektomspuröffnung im 1. - 3. Monat	46
Abb. 18:	Patientenanteil mit Trabektomspuröffnung im 4. - 6. Monat	47
Abb. 19:	Patientenanteil mit Trabektomspuröffnung im 7. - 9. Monat	47
Abb. 20:	Patientenanteil mit Trabektomspuröffnung im 10. - 12. Monat	48
Abb. 21:	Box Plots zum Vergleich prä-/ postoperativer IOD	50
Abb. 22:	Vergleich vom prä- mit letztem postoperativen IOD-Wert – Darstellung der Pat. mit IOD-Anstieg und –Abnahme	51

Abb. 23:	Vergleich vom prä- mit letztem postoperativen IOD-Wert – Darstellung der Pat. mit PEX-Glaukom mit Druckzu-/ -abnahme	52
Abb. 24:	Box Plots zum Visusvergleich prä-/ postoperativ	56

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Kammerwinkeleinteilung nach Shaffer	5
Tab. 2:	Demographische Daten des Patientenkollektivs	24
Tab. 3:	Antiglaukomatosa	27
Tab. 4:	IOD und Anzahl lokal applizierter Antiglaukomatosa	37
Tab. 5:	IOD im zeitlichen Verlauf bei Patienten mit PEX-Glaukom und GCS	38
Tab. 6:	IOD im zeitlichen Verlauf bei Patienten mit alleiniger Trabekulotomie ab interno und in Kombination mit Kataraktextraktion	41

Abkürzungsverzeichnis

AS	Augensalbe
AT	Augentropfen
Abb.	Abbildung
BSS	<i>balanced salt solution</i> : sterile, physiologische Augenspüllösung
bzgl.	bezüglich
°C	Grad Celsius
ca.	circa
Catex	Cataractextraktion, Kataraktextraktion
d. h.	das heißt
G	Gauge, Gage (Maßeinheit für Kanülengrößen o.ä.)
GCS	Glaucoma chronicum simplex
ggf.	gegebenenfalls
IOD	intraokularer Druck
IOL	intraokulare Linse
HKL	Hinterkammerlinse
Hz	Herz (Einheit einer Frequenz)
incl.	inklusive
i. v.	intravenös
k	Kilo (Maßeinheit)
Kap.	Kapitel
KW	Kammerwinkel
m	Meter
max.	maximal
min.	Minute
mind.	mindestens
ml	Milliliter
µl	Mikroliter
mm	Millimeter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
µm	Mikrometer
n	Anzahl
N. opticus	nervus opticus

o. ä.	oder ähnliches
o. g.	oben genannte/r/s
OP	Operation
Pat.	Patientin / Patient
PEX-Glaukom	Pseudoexfoliationsglaukom
PEX-Syndrom	Pseudoexfoliationssyndrom
p. o.	per os
postOP	postoperativ
POWG	primäres Offenwinkelglaukom
präOP	präoperativ
PVP	Povidon-Iod
s.	siehe
SD	<i>standard deviation</i> , Standardabweichung
SG	Shaffer-Grade
sog.	sogenannte/-r/-s
TBE	Trabekulektomie
TDP	Tagesdruckprofil
Trabektom-OP	Trabektom-Operation
TW	Trabekelwerk
u. a.	unter anderem
UMG	Universitätsmedizin Göttingen
v. a.	vor allem
vs.	versus
W	Watt
z. B.	zum Beispiel
Z. n.	Zustand nach

1 EINLEITUNG

1.1 Physiologie des Augeninnendrucks

1.1.1 Kammerwasserproduktion und -Abfluss

Die Kammerwasserproduktion erfolgt durch aktive und passive Sekretion, Diffusion und Ultrafiltration. Mit einem Anteil von 80 % wird der Großteil des Kammerwassers vom unpigmentierten Epithel der Pars plicata der Ziliarfortsätze aktiv in die Hinterkammer sezerniert (Kanski 1996).

Enzyme, wie die Carboanhydrase und Natrium-Kalium-ATPase, pumpen aktiv Ionen und bauen auf diese Weise in basolateralen Membraneinstülpungen der Ziliarzotten ein osmotisches Gefälle auf. Diesem Gefälle folgt dann schließlich das Wasser aus den Gefäßen heraus (Lütjen-Drecoll und Kruse 2007).

Die passive Sekretion wird durch Diffusion und Ultrafiltration angetrieben. Dabei beeinflussen der IOD, der Blutdruck in den Gefäßen des Ziliarkörpers und der onkotische Druck im Plasma die Stärke dieser passiven Sekretion (Kanski 1996).

Die Sekretionsgeschwindigkeit beträgt 2-2,5 µl/min. Bei einem Gesamtvolumen des Kammerwassers von 0,2-0,4 ml in Vorder- und Hinterkammer beträgt der Austausch ca. 1-2 % pro min. (Lang 2008).

Um aus der Hinterkammer in die Vorderkammer zu gelangen, fließt das Kammerwasser durch die Pupille. Dabei überwindet es den sog. 1. physiologischen Pupillarwiderstand (Lang 2008).

Der Abfluss aus dem Kammerwinkel der Vorderkammer heraus erfolgt hauptsächlich auf zwei Weisen: zum größten Teil über den trabekulären Weg (85-90 %) und den uveoskleralen Weg (10-15 %). Der trabekuläre Abfluss ist folgendermaßen gekennzeichnet: Das Kammerwasser fließt durch das Trabekelwerk in den Schlemmkanal. Von dort gelangt es über 20-30 radiär angeordnete Sammelkanäle in episkleral gelegene Kammerwasservenolen (Lang 2008).

Das Trabekelwerk stellt dabei den 2. physiologischen Widerstand dar (Lang 2008).

Betrachtet man das Trabekelwerk auf diesem Weg genauer, lassen sich 3 Anteile mit jeweils unterschiedlichen zu überwindenden Widerständen unterscheiden:

- Das Kammerwasser durchströmt zuerst das sog. uveale Maschenwerk (Kanski 1996). Zwischen Iriswurzel und Schwalbscher Linie spannen sich Stränge und setzen dem Fluss durch große Zwischenräume einen geringen Widerstand entgegen.

- Der darauffolgende Anteil ist das korneosklerale Maschenwerk (Kanski 1996). Es erstreckt sich von der Schwalbschen Linie bis zum Sklerasporn.
- Das endotheliale (juxtakanalikuläre) Maschenwerk (Kanski 1996) bezeichnet den äußersten Abschnitt des Trabekelwerks. Es stellt die Verbindung zwischen korneoskleralem Maschenwerk und innerer Wand des Schlemmkanals da. Dieser Anteil bietet den Hauptwiderstand beim Kammerwasserdurchfluss.

Der Schlemmkanal als nächste Station auf dem Abflussweg erstreckt sich über die gesamten 360° am Auge im Kammerwinkel zwischen Trabekelwerk und Sammelkanälen. Die innere Wand besteht aus unregelmäßigen, spindelförmigen Endothelzellen mit sog. Riesenvakuolen. Flache glatte Zellen bilden die äußere Wand. Dazwischen liegen Öffnungen für die Sammelgefäße (*collector channels*), welche sich mit den episkleralen Gefäßen verbinden (Kanski 1996).

Der uveosklerale Kammerwasserabfluss erfolgt folgendermaßen:

Das Kammerwasser fließt in Bindegewebsspalten im Ziliarmuskel. Beim relaxierten Muskel mit schmalen Fasern und dementsprechend weiten Zwischenspalten ist der Abfluss höher als beim kontrahierten Muskel mit breiteren Fasern (Lütjen-Drecoll und Kruse 2007). Das venöse Gefäßsystem von Ziliarkörper, Choroidea und Sklera leitet das Kammerwassers direkt dem allgemeinen venösen Kreislauf zu.

Laut Kanski kann zudem ein geringer Anteil des Kammerwassers über die Iris direkt drainiert werden (Kanski 1996). Abb. 1 verdeutlicht schematisch die o. g. Abflusswege.

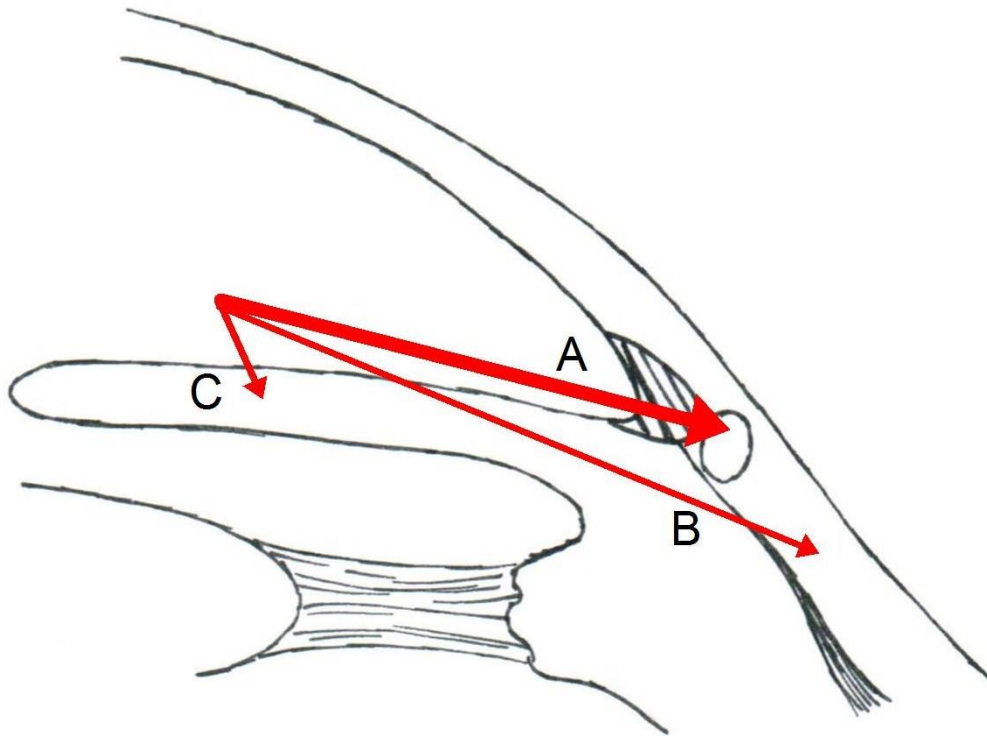


Abbildung 1: Physiologische Kammerwasserabflusswege:

a = trabekulärer Weg,

b = uveoskleraler Weg,

c = direkte Drainage über die Iris

(modifiziert nach Kanski 1996, S. 226)

1.2 Untersuchungsmethoden

1.2.1 Gonioskopie

Die Gonioskopie ist ein Untersuchungsverfahren zur Beurteilung des Kammerwinkels. Besonderes Augenmerk wird auf die Weite des Kammerwinkels, die Identifizierung von Anomalien und den kontinuierlichen Einblick während therapeutischer Verfahren, wie der Trabekulotomie ab interno, gelegt.

Es werden zwei Verfahren unterschieden: die direkte von der indirekten Gonioskopie. Standard für die Diagnostik ist an der UMG die indirekte Gonioskopie mit dem Goldmann-Gonioskop. Die Kennzeichnung „indirekt“ meint das erzeugte Spiegelbild des gegenüberliegenden Kammerwinkels. Der Patient sitzt für diese Untersuchung an der Spaltlampe.

Das Goldman-Gonioskop hat die äußere Form eines Kreiskegelstumpfes. Die Kontaktfläche mit der Kornea weist einen Durchmesser von 12 mm auf. Da die Krümmung dieser Fläche steiler ist als die Krümmung der Kornea, wird Methocel als Kontaktgel zwischen Gonioskop und Hornhaut verwendet.

Im Inneren des Gonioskops sind je nach Model 1 bis 3 Spiegel angebracht. Zur Beurteilung der kompletten 360° des Kammerwinkels wird das Gonioskop rotiert.

Die direkte Gonioskopie ist durch den direkten Einblick in den Kammerwinkel gekennzeichnet. Der Patient liegt dabei auf dem Rücken. Anwendung findet dieses Verfahren in der Diagnostik und Therapie (Kanski 1996).

Wie in Kapitel 1.6.3 beschrieben wird, wird an der UMG beim Einsatz des Trabektoms ein direktes, modifiziertes Swan-Jacob-Gonioskop verwendet.

1.2.2 Kammerwinkelstrukturen

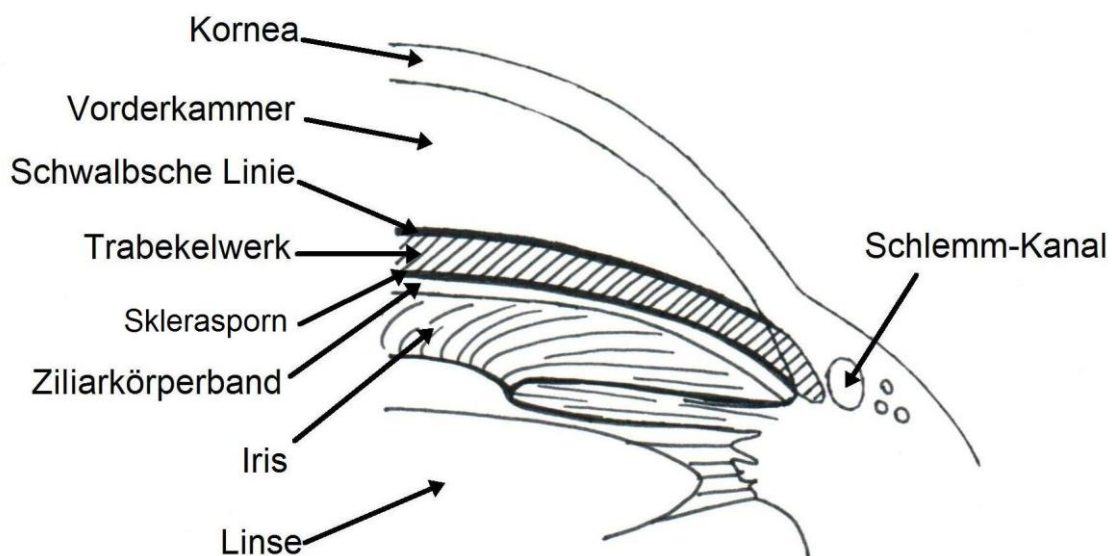


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines physiologischen Kammerwinkels

1.2.3 Einteilung der Kammerwinkelweite nach Shaffer

Die Einteilung der Kammerwinkelweite ist für die Einschätzung des Kammerwasserabflusses, eines drohenden Winkelblockglaukoms und für die Festlegung einer chirurgischen Kammerwinkelintervention wichtig.

Bei der Einteilung nach Shaffer wird der Öffnungswinkel zwischen Trabekelmaschenwerk und Irisvorderfläche beurteilt. Die Kammerwinkelweite kann dabei Werte zwischen 0° und 45° annehmen. Diese Werte entsprechen einer numerischen Gradeinteilung von I bis IV. Im klinischen Alltag bestimmt man die Gradeinteilung anhand der gonioskopisch erkennbaren Kammerwinkelstrukturen.

Die folgende Tabelle 1 ordnet der jeweiligen Kammerwinkelweite die zu identifizierende Struktur und die klinische Relevanz zu:

Tabelle 1: Kammerwinkeleinteilung nach Shaffer (erstellt nach Angaben aus Kanski 1996)

Grad-einteilung	Öffnungs-winkel	Identifizierung folgender KW-Strukturen	KW-Weite	Droht KW-Verschluss?
IV	35-45°	bis zum Ziliarkörperband	sehr weit offen	nein
III	20-35°	bis zum Sklerasporn	offen	nein
II	20°	bis zum Trabekelwerk	mäßig eng	möglich
I	10°	bis zur Schwalbe-Linie	sehr eng	sehr wahrscheinlich
0	0°	keine Schwalbe-Linie erkennbar wegen Kontakt zwischen Iris und Kornea	verschlossen	ist bereits verschlossen

1.2.4 Intraokularer Druck (IOD)

Der normale physiologische IOD eines Erwachsenen liegt zwischen 10-21 mmHg.

Im Durchschnitt liegt der physiologische, intraokulare Druck eines Erwachsenen zwischen 15 mmHg und 16 mmHg (Lang 2008; Kanski 1996). Der IOD unterliegt tageszeitlichen Schwankungen von 4-6 mmHg. Höchstwerte werden bei vielen Patienten nachts und in den frühen Morgenstunden gemessen, niedrigere Werte mittags und nachmittags (Lang 2008).

Bei Glaukompatienten kann diese Schwankungsbreite mit 10 mmHg erhöht sein (Kanski 1996). Ursache einer Drucksteigerung ist meist ein verringerter Abfluss des Kammerwassers. Die Sekretionsmenge bleibt unverändert (Brubaker 1991).

Jede der an Kammerwasserproduktion, -abfluss und episkleralem Venendruck beteiligten Strukturen kann den IOD beeinflussen.

Ein erhöhter intraokularer Druck ist der wichtigste Risikofaktor zur Entstehung eines Glaukoms.

1.2.5 Tonometrie

Unter Tonometrie versteht man das Messen des IOD. Standard an der UMG ist die Applanationstonometrie mit dem Goldmann-Tonometer. Dieses Messprinzip beruht auf einer Abflachung der Hornhaut durch das plane Druckköpfchen mit einer Kontaktfläche von 7,35 mm² (Durchmesser: 3,06 mm). Die aufzubringende Anpresskraft entspricht einem bestimmten intraokularen Druckwert in mmHg.

Für diese Art der Druckmessung sitzt der Patient an der Spaltlampe. Die Kornea wird mit anästhesierenden und fluoreszeinhaltigen Augentropfen betäubt. So kann das aus einem Doppelprisma bestehende Druckköpfchen auf die Kornea aufgesetzt und der IOD eingestellt und gemessen werden. Schaut man während der Messung durch die Spaltlampe, erscheinen beim Kontakt des Druckköpfchens mit der Hornhaut zwei fluoreszierende Halbkreise. Beim korrekt eingestellten Messwert berühren sich die Innenmenisci der Halbkreise.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Hornhautdicke Einfluss auf den gemessenen Tensiowert nehmen kann. Im Normalfall weist die Kornea im Zentrum eine Dicke von ca. 520 µm auf. Mit zunehmender Dicke der Hornhaut wird eine größere Anpresskraft des Druckköpfchens notwendig, um die übliche Fläche einzudrücken. Der gemessene IOD wird demnach größer. Dementsprechend ist der gemessene IOD bei deutlich dünnerer Hornhaut niedriger (Lang 2008).

1.2.6 Visusprüfung

Unter dem Begriff Visus versteht man die Sehschärfe (Synonym: Minimum separabile, engl.: *visual acuity*)

Um die Sehschärfe im zeitlichen Verlauf zu kontrollieren, war für diese Studie die Prüfung des Fernvisus entscheidend.

Getestet wird der Patient unter bestkorrigierter Refraktion. Grundlage dafür stellen entweder Messwerte des Autorefraktors dar oder die Fernbrille bzw. Kontaktlinsen des Patienten. Mit Gläsern aus dem Gläserkasten oder am Phoropter wird dann die ideale Korrektur eingestellt.

Getestet wird jedes Auge einzeln; abgedeckt wird das andere Auge mit Papier oder der vollen Handfläche.

Die Darbietung der Zahlentafel erfolgt mit einem Sehzeichenprojektor. Die Distanz zwischen Sehzeichen (= Optotypen) und Patient beträgt je nach Untersuchungsraum 4-5 m. Durch den Projektor wird die Zahlengröße der Raumgröße automatisch angepasst. Die Beleuchtung der Optotypen ist immer konstant. Der entsprechend erreichte Visus steht rechts neben der Zahlenreihe als Dezimalzahl ausgedrückt.

Theoretisch drückt der Visuswert das Verhältnis von „Istentfernung“ in m (tatsächliche Distanz zwischen Lesetafel und Patient) zur „Sollentfernung“ in m (ideale Entfernung) aus (Lang 2008).

Praktisch bleibt der Patient mit konstanter Distanz sitzen und die Schriftgröße wird durch den Projektor variiert.

Ein Visus gilt als erreicht, wenn mindestens 60 % der Zahlenreihe korrekt erkannt werden. Konkret sind das mind. 3 von 5 bzw. 3 von 4 Zahlen.

Die Spannbreite des Projektors liegt bei der Sehschärfe zwischen 0,05 und 1,25. Kann kein Wert der niedrigsten Visusstufe identifiziert werden, so wird mit einer Leseprobetafel, Metertafel genannt, in 1 m Entfernung geprüft. Angegeben wird die Sehschärfe dann als Bruch (z. B.: 1/12 o. ä). Die Istentfernung (Zähler) beträgt 1 m. Die Sollentfernung (Nenner) steht hinter der entsprechenden Zahlenreihe.

Kann auf dieser Leseprobetafel noch immer nichts erkannt werden, wird auf Fingerzählen, Handbewegungen und Lichtschein getestet.

1.3 Das Glaukom

Das Glaukom, umgangssprachlich auch „Grüner Star“ genannt, umfasst eine Gruppe von Krankheiten unterschiedlicher Ätiologie mit stetig fortschreitender Optikusneuropathie. Die Folge sind Gesichtsfelddefekte bis hin zur Erblindung.

Der Schaden am N. opticus lässt sich an Veränderungen der Exkavation der Sehnervpapille nachweisen: Exkavation kann man mit dem Begriff „Aushöhlung“

übersetzen. Diese liegt physiologisch zentral in der Papille, weist bei der Ophthalmoskopie eine runde Form und blassgelbe Farbe auf und kennzeichnet einen nervenfaserfreien Bereich. Der Randsaum der Papille besteht aus der Nervenfaserschicht. Die normale Farbe ist orange-rosa und die Breite dieses Randsaums konstant. Das Verhältnis von Exkavation zum gesamten Papillendurchmesser (Cup/Disk-Ratio) ändert sich bei glaukomatösen Augen. Das C/D-Verhältnis beträgt beim Gesunden im horizontalen Meridian 0,3. Beim Glaukompatienten vergrößert sich diese Papillenexkavation zuerst in vertikaler, dann auch in horizontaler Richtung. Der C/D-Wert steigt an. Glaukomverdächtig sind v. a. eine C/D-Zunahme und eine C/D-Differenz $> 0,1$ zwischen beiden Augen (Kanski 1996).

Die gesamte Papille erscheint blasser und somit zunehmend avital (Lang 2008).

Grundlage dieser Form- und Farbveränderungen der Papillenexkavation ist ein Axonverlust und Untergang des glialen Gewebes in Form der Astrozyten. Des Weiteren kommt es zur Bindegewebsvermehrung der Lamina cribrosa sclerae und des postlaminären Optikusbereiches, und zur Reduktion der Kapillardichte im Nervenfaserbündel (Lütjen-Drecoll und Kruse 2007).

Risikofaktoren für glaukomatöse Erkrankungen sind:

- Ein erhöhter Augeninnendruck (IOD) - Hauptrisikofaktor
- Fehlregulationen der Gefäße
- Systemische arterielle Hypertonie (Lang 2008)
- Höheres Lebensalter: Mit zunehmendem Alter wird vermehrt „extrazelluläres Material“ ins Trabekelwerk eingelagert (Lütjen-Drecoll und Kruse 2007, S.168). Dieses besteht aus „elastischen und kollagenen Fasern, Glykoproteinen, Proteoglykanen, verschiedenen Glykosaminoglykanen“ (Lütjen-Drecoll und Kruse 2007, S.171). Der Widerstand beim trabekulären Kammerwasserabfluss steigt damit an. Zudem sinkt der uveosklerale Kammerwasserabfluss durch eine Verdickung des Trabeculum ciliare, einem vorderen Anteil des Ziliarmuskels am Übergang zum Trabekelwerk. Durch eine verminderte Kammerwassersekretion kann der IOD bei älteren Patienten häufig noch konstant gehalten werden (Lütjen-Drecoll und Kruse 2007).

Glaukome können anhand unterschiedlicher Kriterien klassifiziert werden. Eine Möglichkeit ist die Unterscheidung nach offenem oder engem Kammerwinkel je nach Kammerwinkeleinsicht bei der Gonioskopie und Beeinträchtigung des Kammerwasserabflusses.

Eine weitere Klassifikationsmöglichkeit ist das Manifestationsalter – von kongenital über juvenil bis adult.

Eine gängige Einteilung der Glaukome erfolgt in primär und sekundär.

Bei primären Glaukomen lassen sich erhöhter IOD und Optikusschäden nicht durch andere Augenerkrankungen begründen. Zu diesen zählen: Offenwinkel-, Engwinkel- und kongenitales Glaukom.

Sekundäre Glaukome sind Folge anderer okulärer oder systemischer Erkrankungen. Beispiele dafür sind das Pseudoexfoliations- oder Pigmentdispersionsglaukom (Kanski 1996).

1.3.1 Primäres Offenwinkelglaukom (POWG)

Synonyme: *Glaucoma chronicum simplex (GCS)*; *primary open angle glaucoma*

Das POWG ist die häufigste Glaukomform unter Erwachsenen. Kennzeichnend für das POWG ist ein verminderter Kammerwasserabfluss durch eine Abflussbehinderung im Trabekelwerk. Extrazelluläre Matrix wird dort vermehrt abgelagert. Die Ursache ist bislang noch unbekannt. Lütjen-Drecoll und Kruse vermuten einen möglichen Zusammenhang mit einer erhöhten Konzentration des Wachstumsfaktors TGF β 2, welcher bei 50 % der Patienten mit POWG im Kammerwasser deutlich erhöht ist (Lütjen-Drecoll und Kruse 2007).

Der Kammerwinkel ist gonioskopisch vollständig einsehbar und die Strukturen erscheinen unauffällig.

Symptome bereitet das POWG erst im fortgeschrittenen Stadium. Es beginnt asymptomatisch und entwickelt sich langsam progredient und chronisch weiter. Gelegentlich berichten Patienten über Kopfschmerzen, Rötung oder Brennen der Augen, Sehverschlechterung oder Farbringe um Lichtquellen (Halos). Diese Halos sind auf ein transientes Hornhautepithelödem durch hohen IOD zurückzuführen. Signifikante Gesichtsfelddefekte werden vom Patienten meist erst wahrgenommen, wenn das POWG schon weit fortgeschritten ist (Lang 2008).

Diagnostische Alarmzeichen eines POWG sind:

- IOD-Erhöhungen ab 22 mmHg

- IOD-Schwankungen im Tagesdruckprofil über 6 mmHg
- Unterschied im IOD beider Augen über 5 mmHg
- Glaukomtypische Veränderungen der Sehnervenpapille
- Gesichtsfelddefekte (Lang 2008)

Für das POWG scheint es eine genetische Disposition zu geben. Man vermutet eine multifaktorielle Genese. Das oder die bislang noch unbekanntes Gene könnten eine geringe Penetranz und unterschiedliche Expressivität aufweisen. Allgemein kann man von einem Erkrankungsrisiko von ca. 10 % für Geschwister und ca. 4 % für Kinder erkrankter Eltern ausgehen (Kanski 1996).

1.3.2 Pseudoexfoliationsglaukom (PEX-Glaukom; Glaucoma capsulare)

Das systemische Pseudoexfoliationssyndrom ist die Ursache für ein PEX-Glaukom als sekundär chronisches Offenwinkelglaukom. Der kausale Zusammenhang zwischen diesem Syndrom und einem Sekundärglaukom wurde bereits 1925 von A. Vogt beschrieben.

Betroffen ist der gesamte vordere Augenabschnitt. Extrazelluläres PEX-Material wird von verschiedenen Geweben in Übermaß produziert (Jünemann 2012).

Kennzeichnend für dieses Krankheitsbild ist eine überschießende Bildung und Ablagerung der PEX-Fibrillen im Trabekelwerk des Kammerwinkels. Ursache dafür ist ein möglicherweise genetisch determiniertes Ungleichgewicht zwischen fibrinogenen Wachstumsfaktoren, wie TGF- β 1, und proteolytischen Enzymen in Kombination mit vermehrtem oxidativem Stress (Schlötzer-Schrehardt und Naumann 2006).

Sowohl das vor Ort produzierte wie auch eingeschwemmte PEX-Material lagern sich besonders im Bereich der Innenwand des Schlemmkanals ab und erhöhen den Abflusswiderstand des trabekulären und uveoskleralen Kammerwasserabflussweges (Schlötzer-Schrehardt und Naumann 1995). Typisch sind daher hohe IOD-Werte von über 35 mmHg zum Zeitpunkt der Diagnosestellung. Im tageszeitlichen Verlauf fallen starke Schwankungen und Spitzen des IOD auf. Die Folge ist ein sich schnell entwickelnder Papillenschaden mit rasch fortschreitenden Gesichtsfelddefekten. Die Prognose des PEX-Glaukoms gilt daher eher als schlecht.

Typischer Frühbefund ist eine Kammerwinkelpigmentierung mit ungleicher Intensität, auch *patchy pigmentation* genannt, und wellenförmigem Überschreiten der Schwalb-Linie, Sampaolesi-Linie genannt (Jünemann 2012).

Weitere Befunde sind:

- Ablagerungen auf der Linse
- Tyndall in der Vorderkammer als Zeichen einer gestörten Blut-Kammerwasser-Schranke infolge einer Vaskulopathie der Irisgefäße
- Pupillarsaumatrophy mit unregelmäßiger Grauweißfärbung
- Irisstromaatrophie
- Mydriasischwäche
- Linsensubluxation durch Instabilität der Zonulafasern
- Melaninablagerungen und Trabekelpigmentierung
- Kleinere Papillendurchmesser und geringere zentrale Hornhautdicken im Vergleich zu GCS-Patienten
- IOD-Anstieg infolge iatrogen herbeigeführter Mydriasis: Ursache dafür ist eine schlagartige Freisetzung von PEX-Flocken und Pigment aus degenerativem Irisepithel mit Ablagerung und Verstopfung des Trabekelmaschenwerks.

Die Therapie des PEX-Glaukoms gleicht der des GCS. Aufgrund des rapiden Fortschreitens der Glaukomschäden ist hier eine möglichst schnelle und konsequente Senkung des IOD anzustreben. Da die medikamentöse Therapie häufig nicht zum erwünschten Therapieziel führt, müssen beim PEX-Glaukom recht früh chirurgische Therapieoptionen in Betracht gezogen werden (Jünemann 2012).

1.3.3 Pigmentdispersionsglaukom

Das Pigmentdispersionssyndrom betrifft ca. 2 % der weißen Bevölkerung, von welchen ca. 35 % ein Pigmentdispersionsglaukom mit typischen glaukomatösen Papillenveränderungen und Gesichtsfelddefekten entwickeln (Schwenn et al. 2003). Typisch für dieses Syndrom ist die Ausschwemmung von Melaningranula aus dem Pigmentepithel der Iris in den vorderen Augenabschnitt. Eine Ursache dafür ist eine nach posterior, also Richtung Hinterkammer, gewölbte Iris. Durch diese Wölbung reibt die Irisrückfläche auf den Zonulafasern und der Linsenvorderfläche. Das Pigmentepithel der Iris wird auf diese Weise abgerieben und lässt bei der Untersuchung an der Spaltlampe mit retroilluminiertem Licht dieses teilweise durchscheinen. Diese Transilluminierbarkeit der Iris wird als „Kirchenfensterphänomen“ bezeichnet (Schwenn et al. 2003, S.403).

Auffällig ist auch die überaus tiefe Vorderkammer.

Die Ablagerung vom ausgeschwemmten Pigment zeigt zudem zwei weitere typische Untersuchungsbefunde beim Patienten mit Pigmentdispersionssyndrom: Zum einen erzeugen vertikale Pigmentablagerungen am Hornhautendothel die sog. Krukenberg-Spindeln. Zum anderen zeigt sich gonioskopisch ein weit geöffneter Kammerwinkel mit einem stark pigmentierten Trabekelmaschenwerk. Die Endothelzellen dieses Maschenwerks phagozytieren das Pigment, gehen dadurch allmählich zugrunde und verstopfen dann den trabekulären Kammerwasserabfluss mit einer Erhöhung des IOD als Folge. Bei dem Pigmentdispersionsglaukom handelt es sich daher um ein sekundäres Offenwinkelglaukom.

Vom Pigmentdispersionssyndrom sind beide Geschlechter gleichermaßen betroffen. Die Konversion vom Syndrom zum Glaukom ist beim männlichen Geschlecht mit 80 – 90 % aller Erkrankten deutlich höher als bei Frauen. Das Verhältnis Männer zu Frauen beträgt etwa 5:1. Der Zeitpunkt der Glaukomentwicklung ereignet sich beim Mann durchschnittlich 10 Jahre früher als bei der Frau. Betroffen sind vor allem junge Männer um das 30. - 50. Lebensjahr mit ausgeprägter Myopie (Rosentreter et al. 2013).

1.4 Glaukomtherapie

1.4.1 Einordnung der Trabekulotomie *ab interno* mit dem Trabektom in die Leitlinien

Der Berufsverband der Augenärzte e. V. und die Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e. V. haben zuletzt 10/2006 die Leitlinie 15a für das primäre chronische Offenwinkelglaukom, das Normaldruckglaukom und die okuläre Hypertonie herausgegeben. Ziel dieser Leitlinie ist die Verhinderung eines Schadens am N. opticus und eine möglichst lange Erhaltung des Sehvermögens durch die Reduktion des IOD. Als behandlungsbedürftig gilt hier zum einen der Verdacht auf bzw. das Vorliegen eines manifesten Glaucoma chronicum simplex oder Normaldruckglaukom, und zum anderen eine okuläre Hypertonie mit dem Vorliegen von Risikofaktoren (erhöhtes Alter, C/D-Ratio erhöht, IOD>26 mmHg, dünne Hornhautdicke).

Laut Leitlinie sollte zunächst mithilfe medikamentöser Therapien versucht werden den IOD zu senken. Führen diese Medikamente zu keiner ausreichenden

Drucksenkung oder zwingen Kontraindikationen oder Nebenwirkungen zum Absetzen der Medikamente, sollte ein chirurgisches Interventionsverfahren zur dauerhaften IOD-Reduktion durchgeführt werden.

(Leitlinie 15a, Stand 10/2006).

1.4.2 Medikamentöse Therapie

Wie bereits in der o.g. Leitlinie erläutert wurde, stellt das konservative, medikamentöse Therapiekonzept die Grundlage der Glaukomtherapie dar.

Zu dieser Medikation zählen drucksenkende Augentropfen und systemische Karboanhydrasehemmer.

Prinzipiell lassen sich bei antiglaukomatösen AT zwei Hauptwirkarten unterscheiden: β -Blocker, α 2-Agonisten und Karboanhydrasehemmer reduzieren die Kammerwasserproduktion. Prostaglandinderivate steigern den Abfluss des Kammerwassers. Direkte Parasympathomimetika, auch Cholinergika genannt, erzeugen eine Ziliarmuskelkontraktion und erhöhen damit ebenfalls den KW-Abfluss. Adrenergika können auf beide Wirkweisen wirken: über α -Rezeptoren wird die Kammerwasserproduktion gedrosselt, über β -Rezeptoren der Abfluss gesteigert. Osmotika, wie Mannitol, gehören zur Gruppe der Osmodiuretika und erhöhen die Abdiffusion des Kammerwassers durch erhöhte Konzentrationsgefälle (Karow und Lang-Roth 2015).

Die genauen, auch in dieser Studie berücksichtigten Wirkstoffgruppen mit Präparatbeispielen werden detailliert in Kapitel 2.2 dargestellt.

1.4.3 Trabekulektomie

Die Trabekulektomie (TBE) gilt bis heute als Goldstandard unter den drucksenkenden Operationsverfahren. In der Durchführung ist dieses Verfahren recht aufwendig. Ziel ist das Erzeugen eines Abflussweges für das Kammerwasser aus der Vorderkammer heraus, vorbei am Trabekelwerk, unter die Konjunktiva, wo es dann schließlich resorbiert wird. Dafür wird aus Bindehaut und Sklera eine Art Deckel präpariert, das Trabekelwerk dann von extern entfernt, und die „Deckel“ wieder locker fixiert. Durch den Kammerwasserfluss entwickelt sich dann subkonjunktival ein Filterkissen. Die intraoperative Applikation von antifibrotischen Substanzen, wie

Mitomycin C, verhindert eine frühzeitige Vernarbung des neu geschaffenen Abflussweges (Lang 2008).

Die Trabekulektomie senkt laut Mosaed et al. den IOD mit postoperativ im Durchschnitt erreichten 12 mmHg zwar am effektivsten, doch weist sie dafür aber eine höhere Komplikationsrate auf (Mosaed et al. 2009).

Mögliche Komplikationen sind die intraokulare Hypotonie, Endophthalmitis, eine verfrühte Kataraktentstehung und dadurch eine Visusminderung (Zahid et al. 2013).

1.5 Die Trabekulotomie

Die klassische Trabekulotomie *ab externo* findet in unserer heutigen Zeit als Ersteingriff bei kongenitalen Glaukomen ihre Anwendung. Hierbei wird nach Anlage eines Konjunktiva- und Skleralappens bei 12 Uhr ein radiärer Schnitt zum Sondieren des Schlemmkanals durchgeführt. Ein Trabekulotom, eine bestimmte Sondenart, wird dann von extern durch diesen Zugang in den Schlemmkanal eingeführt, in Richtung Vorderkammer geschwenkt und das Trabekelmaschenwerk auf diese Weise eingerissen. Das Kammerwasser kann dann ungehindert von der Vorderkammer in den Schlemmkanal abfließen (Lang 2008).

Bei diesem Verfahren sind Bindehaut und Sklera chirurgisch eröffnet, können vernarben und so auf spätere ophthalmologische Eingriffe Einfluss nehmen.

1.6 Das Trabektom

Das Trabektom ermöglicht die Durchführung der Trabekulotomie *ab interno*.

Das Trabekelmaschenwerk wird dabei durch einen kleinen kornealen Zugang entfernt. Die Konjunktiva bleibt auf diese Weise unangetastet.

1.6.1 Entwicklung und Einführung

Das Trabektom der Firma NeoMedix™ (NeoMedix Corporation, Tustin, California, USA) wurde von George Baerveldt und seinem Team entwickelt (Jordan et al. 2010). Im April 2004 wurde das Gerät durch die United States Food and Drug Administration für den klinischen Gebrauch in den USA zugelassen. Dort wurde im Januar 2006 das erste Mal ein Patient mit Offenwinkelglaukom auf diese Weise chirurgisch behandelt.

Im Jahre 2008 war dieses Operationsverfahren einer Trabekulotomie *ab interno* bereits in den USA, Mexiko, Kanada und Japan etabliert (Minckler et al. 2008).

Zurzeit werden weltweit an vielen Zentren Patienten mit dem Trabektom behandelt.

1.6.2 Aufbau des Gerätes

Das Trabektom besteht aus 3 Einheiten: Konsole, Handstück und Fußpedal (s. Abbildung 3).

Die Konsole, also das Standgerät, vereinigt die Steuerungssysteme der Irrigation, Aspiration und des Elektrokauters. Der Generator des Elektrokauters arbeitet mit einer Frequenz von 550 kHz. Die Leistung des Kauters ist in 0,1 W-Schritten bis zum Maximalwert von 10 W manuell einstellbar (Francis et al. 2006). Bei Operationen an der UMG liegt die Standardenergie zwischen 0,8 und 1,0 W. Abbildung 4 zeigt die Konsole.

Laut Herstellerempfehlung sollten 1,5 W nicht überschritten werden.

Der Bewässerungsfluss wird durch den hydrostatischen Druck reguliert. Die Infusionsflasche mit *balanced salt solution* (BSS) ist an einer dafür vorgesehenen Halterung an der Konsole aufgehängt. Die Höhe dieser Aufhängung für die Infusionslösung lässt sich manuell einstellen. Standardhöhe ist ca. 80 cm oberhalb des Geräteblocks (Francis et al. 2006).



Abbildung 3: Konsole des Trabektoms mit Bewässerungssystem; hier im Operationssaal bereits steril abgedeckt



Abbildung 4: Konsole des Trabektoms: Aspiration/Irrigation im oberen Bildteil, Generator im unteren Bildteil

Das Handstück (siehe Abb. 5) ist ein Einwegartikel. Die Spitze dieses Handstückes wird bis in den Schlemmkanal eingebracht. Ihre Größe misst 19,5 G.

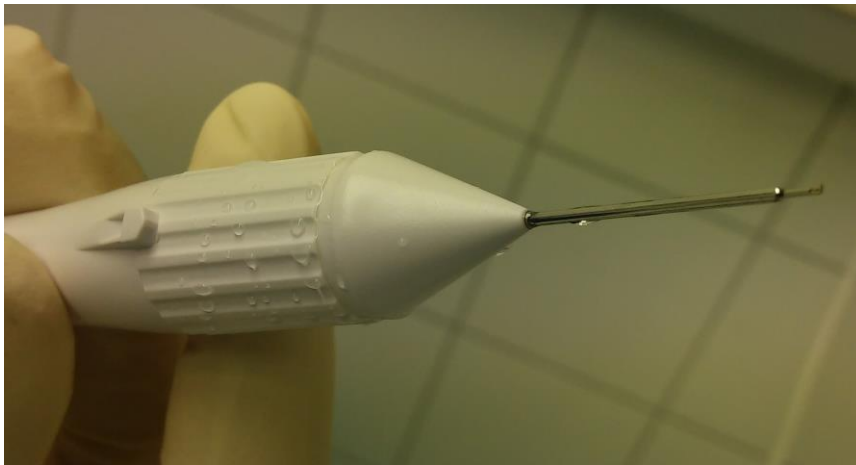


Abbildung 5: Das Handstück des Trabektoms

Am äußersten Ende der Handstückspitze befindet sich die sog. Fußplatte (Francis et al. 2006). Ihre dreieckige, spitz zulaufende Form erleichtert das Durchdringen des Trabekelwerks. Minckler beschrieb das Aussehen dieser Fußplatte treffend mit dem Ausdruck *hock design* (Minckler et al. 2005). Abbildung 6 zeigt die Trabektomspitze schematisch dargestellt.

Das zu entfernende Gewebe wird auf diese Weise in Richtung Elektrokauter geführt. Die Fußplatte verfügt über eine polymerbeschichtete, glatte Oberfläche. Dieser Polymermix ist über 500 °C hitzebeständig, weist einen hohen Härtegrad auf, ist biokompatibel und beständig gegenüber chemischen Stoffen. Die Spitze des Handstückes mit der speziell geformten und beschichteten Fußplatte ist so konstruiert, dass die äußere Wand des Schlemmkanals und das umliegende Gewebe beim Einsatz des Elektrokauters vor thermischen und mechanischen Schäden geschützt werden (Francis et al. 2006). Laut Francis zeigten experimentelle Tests, dass die Temperatur des umliegenden Gewebes während laufender Ablation um max. 1,2 °C ansteigt (Francis et al. 2006). Der Elektrokauter befindet sich 150 µm von der Fußplatte entfernt (Minckler et al. 2005).

Zwischen Ablations- und Gegenelektrode fließt der elektrische Strom zum Entfernen vom Trabekelwerk. Das Gewebe wird dabei durch hochenergetische Impulse zerrissen; d. h. hohen Energiespitzen folgen niedrigerenergetischen Zwischenintervallen. Die Öffnung für die Aspiration von Gewebe und überschüssiger Flüssigkeit liegt lediglich 0,3 mm vom Kauter entfernt. Die Absaugung erfolgt mit dem Prinzip einer Schlauchquetschpumpe (Francis et al. 2006): Infusionslösung in

einem Silikonschlauch wird durch mechanischen, von extern aufgebracht Druck auf den Schlauch in eine Richtung gedrückt. So entsteht eine Sogwirkung und das ablatierte Maschenwek incl. BSS-Lösung wird abgesaugt.

Dieser gesamte vordere Abschnitt des Handstücks mit Fußplatte, Kauter und Aspiration weist eine Größe von 25 G auf. Die Öffnung des Irrigationszuflusses liegt proximaler im Handstück in einem breiteren Bereich mit einer Größe von 19,5 G (Jordan et al. 2010).

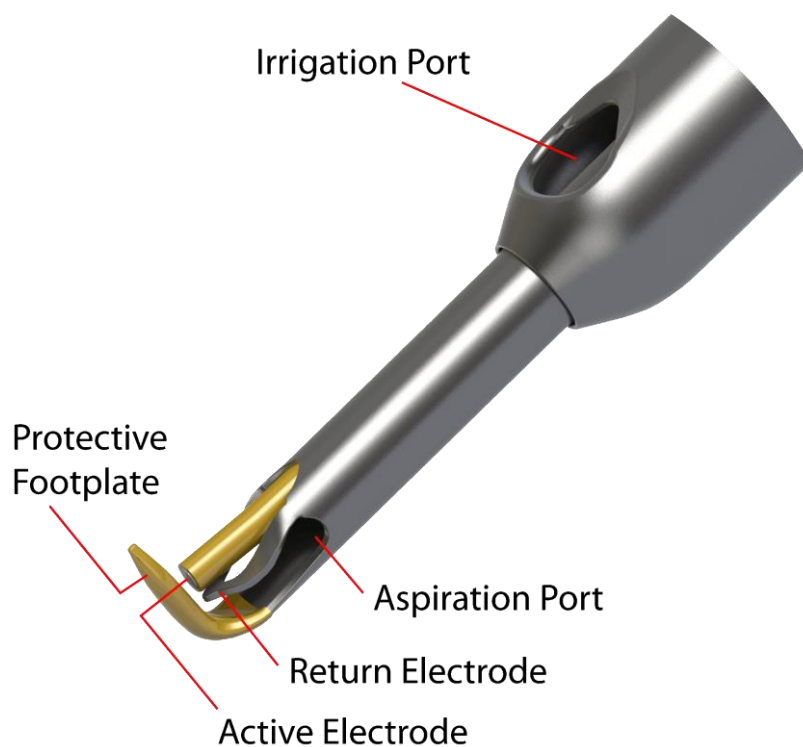


Abbildung 6: Die Spitze des Trabektomhandstücks

(die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma Neomedix™)

Die Distanz zwischen Kauter und Irrigation beträgt 3 mm. Ziel dieser Bewässerung ist zum einen die Abkühlung des umgebenden Gewebes zum Schutz vor thermischen Schäden, zum anderen die Aufrechterhaltung des IOD in der Vorderkammer während der Operation. Die Flussgeschwindigkeit lässt sich, wie bereits oben erwähnt, manuell an der Konsole einstellen. Der Maximalwert liegt bei 10 ml/min. Der Standardfluss beträgt ca. 3 ml/min. (Francis et al. 2006).

Zusammenfassend verfügt das Handstück demnach über 3 Funktionen: Irrigation, Aspiration und Elektrokauter. Diese Funktionen werden vom Chirurgen über ein Fußpedal gesteuert:

Pos.1: Irrigation,

Pos.2: Irrigation + Aspiration,

Pos.3: Irrigation + Aspiration + Elektrokauter (Francis et al. 2008).

1.6.3 Operationsablauf

Präoperativ sollten als Operationsvorbereitung Antikoagulantien abgesetzt werden.

Die Trabekulotomie *ab interno* kann unter verschiedenen Anästhesiemethoden erfolgen: Retrobulbäre oder parabolbäre Injektionsanästhesie, Tropfanästhesie oder Intubationsnarkose.

Die Lagerung des Patienten erfolgt in Rückenlage. Der Chirurg sitzt während der OP seitlich am Kopf des Patienten auf der Seite des zu operierenden Auges.

Die Operation beginnt mit der Desinfektion von Haut, Kornea, Konjunktiva und Konjunktivalsack mithilfe von 5 %iger PVP-Jod-Lösung. Es folgt das sterile Abdecken des Operationsgebietes, Eröffnen der dabei auf das Auge aufgebrachten Folie, und Einsetzen des Lidsperrers. Zum Schutz der Kornea wird nun ein Viscoelasticum, häufig Methocel 2 %, aufgetragen. Um eine optimale Einsicht in den nasalen Kammerwinkel zu erlangen, wird das Mikroskop 45° in Richtung Chirurg gekippt. Der Kopf des Patienten kann bei Bedarf leicht vom Chirurgen weggedreht werden. Nach Aufsetzen einer Gonioskoplinse (modifiziertes Swan-Jacobs-Gonioskop) wird der Kammerwinkel zunächst genau begutachtet. Die Parazentese der Kornea erfolgt von temporal limbusnah mit einer Größe von 1,8 mm. Durch diesen Zugang wird das Viscoelasticum zur Erhaltung der Stabilität und Vergrößerung der Vorderkammer injiziert. Nach Testung des Trabektoms auf Funktionsfähigkeit wird das Handstück unter laufender Irrigation quer durch die Vorderkammer in den Schlemmkanal nasal eingeführt (s. Abbildung 7). Die gesamte Arbeit mit dem Trabektom erfolgt unter gonioskopischer Sicht.

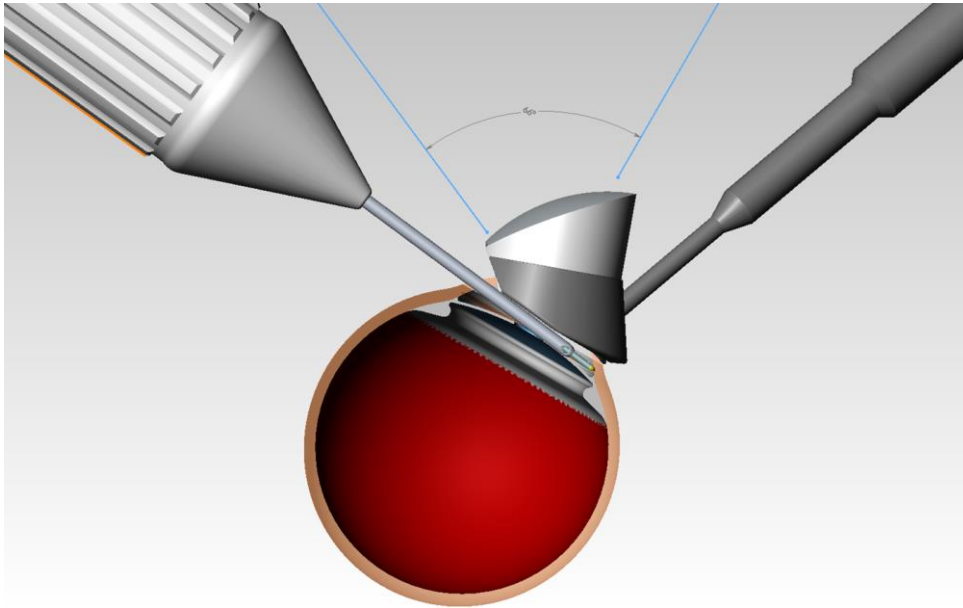


Abbildung 7: Positionierung der Trabektomspitze durch die Vorderkammer
(die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma Neomedix™)

Mit dem Trabektom wird dann im bzw. gegen den Uhrzeigersinn das Trabekelwerk und die innere Wand des Schlemmkanals ablatiert. Die Ablation erfolgt über 3-4 Uhrzeiten. Intraoperativ erscheint das Trabekelwerk dunkel, die Rückwand nach der Entfernung des Trabekelwerks weiß. Bei der Entfernung des Trabektoms kann der nun neu eröffnete Bereich des Schlemmkanals durch milde Refluxblutungen aus den Sammelkanälchen rötlich erscheinen. Abbildung 8 verdeutlicht schematisch die Entfernung des Trabekelwerks mit der weißlich erscheinenden Rückwand.

In Abbildung 9 wird die Trabekelwerkablation durch elektrische Impulse bei kontinuierlicher Aspiration und Irrigation dargestellt.

Blut und Viscoelasticum müssen zum Schluss sorgfältig aus Vorderkammer und Schlemmkanal gespült werden, um so erneut einer Abflussbehinderung des Kammerwassers vorzubeugen. Die Stichinzision kann mit einer Ethilon 10/0-Einzelknüpfnaht mit versenktem Knoten verschlossen werden, ist aber meist auch ohne Naht dicht. Zuletzt wird der Druck des Auges palpatorisch auf einen Wert von 20-25 mmHg eingestellt. Dieser relativ hohe Druck soll postoperative Nachblutungen verhindern.

Im Anschluss an die OP werden auf das Auge zum einen antibiotische und steroidhaltige Augensalben oder -tropfen aufgetragen. Zum anderen wird ein Pilocarpinpräparat aufgebracht. Durch die so hervorgerufene Miosis entfernt sich die Iris vom Operationsgebiet und die Bildung von Synechien soll so verhindert werden.

Schließlich kann der Patient den Operationssaal mit einem Oleotüll-Augenverband verlassen.

Die Operation dauert vom sterilen Abdecken bis zum fertigen Augenverband ca. 10-20 min.

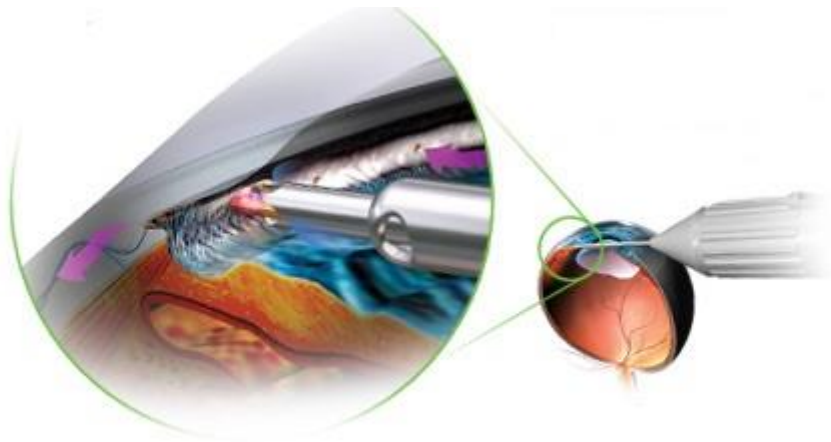


Abbildung 8: Schematische Darstellung des Trabektoms im Einsatz

(die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma Neomedix™)

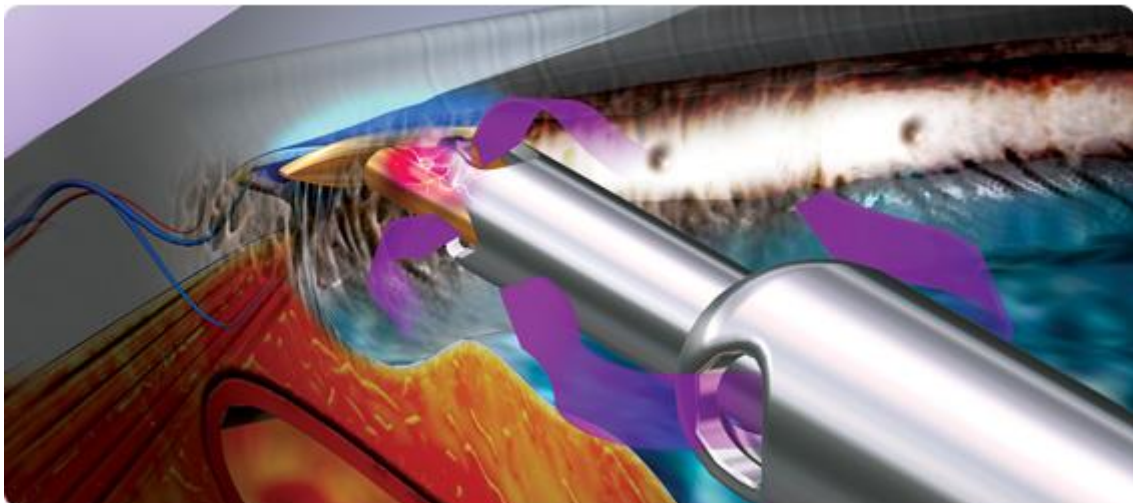


Abbildung 9: Entfernung des juxtakanalikulären Trabekelmaschenwerks durch elektrische Impulse unter kontinuierlicher Irrigation und Aspiration

(die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma Neomedix™)

1.7 Fragestellung

Das Ziel dieser retrospektiven Studie ist die Analyse der Auswirkungen der Trabekulotomie *ab interno* mittels Trabektom auf folgende Parameter:

- die Höhe des intraokularen Augendrucks
- die Anzahl der Wirkstoffgruppen drucksenkender Augentropfen
- den Verlauf des Visus
- die Notwendigkeit der systemischen Einnahme von Carboanhydrasehemmern

Bis zum heutigen Tage wurden Studien zur Beurteilung des Erfolges dieser Intervention in Mexiko, Nordamerika und Japan durchgeführt. Vergleichbare Ergebnisse aus dem europäischen Raum liegen jedoch noch nicht vor. Die Ergebnisse dieser Studie sollen dazu beitragen, den möglichen Erfolg der Operation im Vorfeld abschätzen zu können.

Im Detail soll diese Studie folgende Fragen beantworten können:

1. Ist eine Veränderung der o.g. Parameter durch die Trabekulotomie *ab interno* mittels Trabektom erkennbar?
2. Wie stellen sich diese Veränderungen im zeitlichen Verlauf dar?
3. Wie verhält sich postoperativ die neu eröffnete Trabektomspur? Sind Vernarbungen erkennbar? Wenn ja, in welcher Ausdehnung und in welchem Zeitraum entstehen diese?
4. Welche Diagnosegruppe spricht besonders gut auf das Operationsverfahren an?
5. Wie wirkt sich eine Kombination aus Trabekulotomie *ab interno* und Phakoemulsifikation mit HKL-Implantation aus?

2 MATERIAL UND METHODEN

Seit dem 27. September 2010 wird an der Universitätsmedizin Göttingen das Operationsverfahren der Trabekulotomie *ab interno* mit dem Trabektom bei Glaukompatienten durchgeführt.

Die in dieser Studie erfassten Daten entstammen dem Operationszeitraum vom 27. September 2010 bis einschließlich 24. Januar 2012.

2.1 Das Patientenkollektiv

Im o. g. Operationszeitraum wurden an der UMG 72 Trabekulotomien *ab interno* durchgeführt. Erfasst werden konnten in dieser Studie 71 Fälle. Die Krankenakte des einen fehlenden Falles war im Auswertungszeitraum nicht verfügbar und wurde daher in diese Studie nicht mit einbezogen.

Die Altersspanne des Patientenkollektivs reichte vom 36. bis 88. Lebensjahr. Im Mittel waren die Patienten zum OP-Zeitpunkt $69,2 \pm 11,18$ Jahre alt.

Von den 71 Fällen waren 42 männliche und 29 weibliche Patienten. 53 Patienten wurden an einem Auge operiert, 9 Patienten in zeitlichem Abstand an beiden Augen. Betrachtet man die einzelnen Diagnosen der Patienten, so musste in 56 Fällen aufgrund eines Primären Offenwinkelglaukoms (GCS) operiert werden. Das PEX-Glaukom war in 11 Fällen der Behandlungsgrund. Die 3 erfassten Pigmentdispersionsglaukome und ein einziger Fall eines Sekundärglaukoms aufgrund einer chronischen Uveitis stellten eher seltene Diagnosen dar.

Die Trabekulotomie *ab interno* wurde sowohl als alleinige Operation bei zuvor phaken und pseudophaken Patienten durchgeführt als auch in Kombination mit einer Kataraktoperation mit Implantation einer künstlichen Hinterkammerlinse.

Der Beobachtungszeitraum reichte präoperativ bis 81 Tage vor der OP zurück. Solch eine weit zurückliegende Voruntersuchung lag aber lediglich bei einem einzigen Patienten vor. Beim überwiegenden Teil der Patienten fanden die letzten Voruntersuchungen bis ca. 7 Tage präoperativ statt. Postoperativ lag der längste Beobachtungszeitraum 1021 Tage nach der Intervention. In die Auswertung flossen frühestens Daten ab dem 5. postoperativen Tag. Auf diese Weise sollten die durch operative Manipulationen hervorgerufenen IOD-Veränderungen die Studiendaten nicht verfälschen.

Die nachfolgende Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Charakteristika des Patientenkollektivs:

Tabelle 2: Demographische Daten des Patientenkollektivs

<u>Parameter</u>	<u>Anzahl</u>
• Erfasste Operationsfälle	71
○ Männlich	42
○ Weiblich	29
• Pat. mit OP an einem Auge	53
• Pat. mit OP an beiden Augen	9
• Alter	
○ Altersspanne (in Lebensjahren)	36. - 88.
○ Arithmetisches Mittel \pm SD (in Jahren)	69,2 \pm 11,18
• Diagnosen	
○ GCS	56
○ PEX-Glaukom	11
○ Pigmentdispersionsglaukom	3
○ Sekundärglaukom	1
• Kammerwinkeleinsicht nach Shaffer	
○ IV°	33
○ III°- IV°	4
○ III°	13
○ II°	1
○ Keine Angaben	20
• Trabekulotomie ab interno allein	57
○ phake Pat.	28
○ pseudophake Pat.	29
• Trabekulotomie <i>ab interno</i> + Kataraktextraktion	14

2.1.1 Einschlusskriterien

Voraussetzung für die Durchführung des Eingriffs war das Einverständnis des Patienten. Eingeschlossen wurden Patienten mit POWG oder PEX-Glaukom mit unzureichender Drucksenkung oder Tropfenunverträglichkeit.

Grundvoraussetzung für die Durchführung der Trabekulotomie *ab interno* war eine gute Einsicht in den Kammerwinkel. Es sollte mind. Shaffer Grad II vorliegen. Vorangegangene drucksenkende OPs oder Laserbehandlungen waren nicht von Bedeutung. Durchgeführt wurde die Trabektom-OP bei phaken und pseudophaken Augen. Eine Kombination aus Trabektom und Kataraktextraction mit Phakoemulsifikation und HKL-Einsatz war ebenfalls möglich. Ein weiteres Einschlusskriterium war die Compliance des Patienten bezüglich postoperativen drucksenkenden Augentropfen und routinemäßigen Nachkontrolluntersuchungen.

Da es noch keine ausreichende Datenlage zur erwartenden Drucksenkung des Eingriffs gab, wurden auch Patienten mit hohen Druckwerten in die Studie aufgenommen.

2.1.2 Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterium für die Durchführung der Trabektom-OP war keine gute gonioskopische Einsicht in den Kammerwinkel. Ein enger Kammerwinkel, eine flache Vorderkammer, somit Shaffer I- 0, oder Hornhauttrübungen, wie z. B. durch ein Hornhautödem oder ein stark ausgeprägtes Pterygium o. ä., konnten Ursachen für diesen schlechten Einblick darstellen.

Ein weiteres Ausschlusskriterium waren Neovaskularisationsglaukome: Durch die Rubeosis iridis im Kammerwinkel wird dieser „wie ein Reißverschluss“ (Lang 2008, S. 265) enger geschnürt und die Einsicht dadurch schlechter. Solche Glaukomtypen werden primär kausal behandelt (Lang 2008).

Bei anatomischen Fehlbildungen des Kammerwinkels war die OP ebenfalls nicht möglich. Bestätigte sich bereits präoperativ die Incompliance des Patienten bzgl. Augentropfen und postoperativer Nachkontrollen, so wurde die Trabekulotomie *ab interno* nicht durchgeführt.

2.2 Datenerhebung

Bei dieser Studie handelt es sich um eine retrospektive Studie. Für die Durchführung wurde die Zustimmung der Ethikkommission der Universität Göttingen eingeholt (Antragsnr.: DOK_08_2013).

Bei jedem Patienten sollten IOD, Kammerwinkelöffnung, Anzahl drucksenkender Augentropfen und bestkorrigierter Visus im zeitlichen Verlauf überwacht werden. Die Werte präoperativ entstammen der Aufnahmeuntersuchung 1-3 Tage vor der OP, oder Voruntersuchungen in der Ambulanz der Augenklinik an der UMG. Postoperativ erfolgten regelmäßige Kontrolluntersuchungen in der Ambulanz.

Die Daten zur Analyse des Therapieerfolges des Trabektoms entstammen somit den Patientenakten der UMG. Wenn die Patientenakte nach der Behandlung und Abrechnung im Archiv gelagert wurde, konnte für diese Studie Einsicht genommen und die benötigten Daten herausgefiltert werden.

Die Erhebung der Daten bei Aufnahme- bzw. Kontrolluntersuchungen erfolgte durch eine/n erfahrene/n Arzt/Ärztin der Abteilung Augenheilkunde der UMG. Dabei wurde zu Beginn eine ausführliche Anamnese mit Schwerpunkt auf aktuellen Beschwerden, einer subjektiven Sehveränderung und der Einnahme von Medikamenten erhoben. Besonderes Augenmerk bei der Medikamenteneinnahme lag auf der Anwendung drucksenkender Augentropfen bzw. Salben und der Einnahme systemisch wirkender Antiglaukomatosa, wie Acetazolamid p. o. (z. B. Diamox®). Konnte der Patient dazu keine Angaben machen und lag zwischenzeitlich kein weiterer Besuch beim niedergelassenen Augenarzt mit einer Änderung der Augentropfen vor, so wurden diese Angaben von den Verordnungen der letzten Nachkontrolle in der Ambulanz übernommen.

Für diese Studie war die Anzahl der Wirkstoffgruppen drucksenkender Augentropfen entscheidend. Tabelle 3 zeigt die erfassten Antiglaukomatosa mit zugehörigen Wirkstoffen und den an der UMG und von zuweisenden Ärzten häufig verordneten Präparaten:

Tabelle 3: Antiglaukomatosa (modifiziert nach Angaben von Ruß 2014, S.345-347)

Wirkstoffgruppe	Wirkstoffname	Handelsname (Bsp.)
Betablocker	Timolol	Tim-Ophtal®
	Levobunolol	Vistagan Liquifilm®
	Metipranolol	Betamann®
	Carteolol	Arteoptic®
Prostaglandinanaloga	Latanoprost	Xalatan®
	Travoprost	Travatan®
	Tafluprost	Taflotan®
	Bimatoprost	Lumigan®
Sympathomimetika / α 2-Agonisten	Clonidin	Clonid Ophtal®
	Brimonidin	Alphagan®
Parasympathomimetika / Cholinergika	Pilocarpin	Pilomann®, Spersacarpin®
Carboanhydrasehemmer	Dorzolamid	Trusopt®
	Brinzolamid	Azopt®

Die anschließende Befunderhebung begann mit der Prüfung des Fernvisus mit einem Sehzeichenprojektor unter bestmöglicher Verbesserung der Refraktion durch eine der Arzthelferinnen oder einen Arzt/Ärztin. Die Visusangabe erfolgte als Dezimalzahl, Bruchwert bei Testung mit einer Metertafel oder den Angaben Fingerzählen (FZ), Handbewegung (HBW), Lichtschein (LS). Diese Sehschärfenbestimmung wurde entweder vom Augenarzt selbst oder von einer erfahrenen Ambulanzschwester durchgeführt.

Nach der spaltlampenmikroskopischen Untersuchung des vorderen Augenabschnitts wurde der IOD mithilfe des Applanationstonometers nach Goldmann durch die Ärztin/den Arzt gemessen.

Bei der anschließenden Gonioskopie wurde präoperativ der Einblick in den Kammerwinkel nach Shaffer beurteilt. Postoperativ erfolgte die Beurteilung der Trabektomspur: Die Ausdehnung des operativ eröffneten Schlemmkanals im Kammerwinkel wurde in Uhrzeiten angegeben und war anschließend dem OP-Bericht zu entnehmen. Eine Standardöffnung erstreckte sich über 3-4 Uhrzeiten. Postoperativ wurden bei den Nachkontrollen die verbliebenen offenen Uhrzeiten im Vergleich zu allen operativ eröffneten Uhrzeiten angegeben. Formuliert wurde dies

z. B. als: „3 von 4“, bedeutet 3 noch offene Uhrzeiten von allen 4 eröffneten Uhrzeiten.

Sämtliche Angaben aus Anamnese und Untersuchung wurden schließlich auf einheitlichen Anamnese- und Untersuchungsbögen der UMG notiert und bildeten so die Grundlage für diese Studie.

2.2.1 Besonderheiten bei der Erhebung der Daten

Da die Daten auf den Anamnese- und Untersuchungsbögen handschriftlich notiert worden sind, gab es dort einige Notizen und Formulierungen, welche beim Patienten individuell für diese Studie interpretiert werden mussten. Solche Besonderheiten bei der Datenerhebung werden nun im Folgenden näher beschrieben.

Visusprüfung:

Stand hinter dem Visuswert ein „p“ für „partiell“, so bedeutete dies, dass der Patient nicht alle Zahlen der entsprechenden Zeile richtig erkennen konnte. Mind. 3 von 5 Zahlen wurden aber korrekt identifiziert. Daher wurde für die Berechnungen der entsprechende Visuswert ohne „p“ übernommen.

Bei der Schreibweise „pp“ handelte es sich allerdings nicht um die übliche Art der Aufzeichnung. Es sollte auf diese Weise ausgedrückt werden, dass der Patient in der entsprechenden Zahlenreihe weniger als 60 % korrekt erkennen konnte. Damit galt diese Visusstufe aber als nicht erreicht. Somit wurde für diese Auswertung ein um 0,1 geringerer Visuswert erfasst.

Beispiel: Anstelle von „0,7 pp“ galt demnach der Visus „0,6“.

War die Visusprüfung durch Ambulanzschwester und Arzt erfolgt, so wurde der vom Arzt ermittelte Wert übernommen.

Tonometrie nach Goldmann:

Bei einer deutlichen Markierung eines IOD-Wertes im Tagesdruckprofil als Messung unter medikamentöser Mydriasis wurde dieser IOD aus den Berechnungen ausgeschlossen.

IOD-Messung mit icare®:

Waren in Tagesdruckprofilen IOD-Werte mit dem icare®-Handtonometer gemessen und als solche markiert worden, so wurden diese aus den Berechnungen

ausgeschlossen. Es wurden hier demnach ausschließlich Messwerte, ermittelt mittels Goldmann, berücksichtigt.

Pachymetrie:

Werte zur Hornhautpachymetrie (Hornhautdickenmessung) waren bei einigen wenigen Patienten angegeben und wurden jedoch in dieser Auswertung nicht miteinbezogen.

Gonioskopie:

Präoperativ sollte die Kammerwinkelweite gonioskopisch beurteilt werden. Kam es in den 4 beurteilten Quadranten zu leichten Schwankungen gemäß der Einteilung nach Shaffer, so wurde der überwiegend vorherrschende Einteilungsgrad übernommen. Die Einschätzung „Kammerwinkel weit offen“ wurde als Shaffer-Grad IV interpretiert. Der Ausdruck „Trabekelwerk gut beurteilbar“ entsprach Shaffer-Grad III.

„Trabekelwerk gut erkennbar, einzelne Synechien von der Iris in Richtung Trabekelwerk“ wurde als Shaffer-Grad IV gewertet.

Wenn die Kammerwinkelweite erst zu OP-Beginn beurteilt und notiert worden war, so wurden Angaben unter medikamentöser Mydriasis oder mit bereits in die Vorderkammer injiziertem Viscoelasticum für diese Berechnungen nicht übernommen.

Postoperativ wurden die noch offenen Uhrzeiten der Trabektomspur beurteilt. „Trabekulotomiebereich wirkt nicht offen“ galt als 0 offene Uhrzeiten von ursprünglich 3 eröffneten Uhrzeiten.

„Kammerwinkel bzw. Schlemmkanal offen, einzelne Synechien“ entsprach 3 von 3 Uhrzeiten offen.

„Keine Synechien, nur noch minimaler Spalt zu sehen“ wurde als 0,5 von 3,5 Uhrzeiten offen gedeutet.

Und schließlich der Ausdruck „1Uhrzeit sicher offen, 1 Uhrzeit partiell offen“ entsprach 1 ½ von ursprünglich 3 ½ offenen Uhrzeiten.

Drucksenkende Augentropfen:

Die anamnestischen Angaben der Patienten bzgl. drucksenkender Augentropfen waren nicht immer eindeutig.

Bei Angaben, wie „Pilo ab und zu“ oder „Pilo bis einschließlich gestern getropft“, wurde diese Wirkstoffgruppe zum jeweiligen Tag dazu gezählt.

War bei den Augentropfen die Notiz „heute nicht getropft“ zu finden, wurde dieser Tag aus der Messung ausgeschlossen.

Acetazolamid:

Diamox® und Glaupax® enthalten beide den Wirkstoff Acetazolamid und sind daher gleichwertig zu beurteilen.

Wurde Diamox® nach der Tensiomessung verabreicht, so wurde die Auswirkung bei der nächsten Druckmessung berücksichtigt.

Die Angabe „Diamox® 250 mg alle 2 Tage“ wurde als Durchschnittswert von 125 mg täglich gewertet.

2.3 Statistische Analysen

Die erhobenen Daten der Patienten wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit anonymisiert ausgewertet.

Die Berechnungen erfolgten mit Microsoft Excel 2010. Wurde für bestimmte statistische Rechnungen ein weiteres Programm verwendet, so wird dieses an entsprechender Stelle beschrieben.

2.3.1 Datenvorbereitung

Die aus den Akten entnommenen Daten wurden in einer Excel Tabelle gesammelt. Jedem Patienten wurde eine Fallnummer zugeordnet und folgende Informationen zusammengetragen: Alter zum Operationszeitpunkt, Linsenstatus, Kammerwinkeleinsicht präoperativ, Diagnose, OP-Datum und ggf. weitere drucksende Operationen. Dem entsprechenden Tag im Vergleich zum OP-Tag wurden IOD, lokale und systemische Antiglaukomatosa, Trabektomspur (Uhrzeit offen zu zu) und Visus zugeordnet.

Waren im Tagesdruckprofil mehrere IOD-Werte für einen Tag angegeben, so wurde der Mittelwert aus allen Druckwerten für diesen Tag berechnet. Für die Ermittlung eines Druckwertes für den Zeitraum der TDP-Aufzeichnung wurde dann der Mittelwert aus diesen durchschnittlichen Tageswerten berechnet. Die Werte wurden

auf zwei Nachkommastellen gerundet. Auf diese Weise hat jeder Tag die gleiche Gewichtung, unabhängig von der Anzahl der Messwerte an diesem Tag.

2.3.2 Zeitlicher Verlauf

Die Parameter IOD, Anzahl drucksenkender Augentropfen, Acetazolamid-Einnahme und die Öffnung der Trabektomspur wurden postoperativ im zeitlichen Verlauf dargestellt. Zum Vergleich diente der aktuellste präoperative Messwert. Für die postoperative Betrachtung der ersten 2 Jahre wurden Zeiträume mit 3 Monatsblöcken (3 x 30 Tage entspricht 90 Tagen) erstellt. Im dritten Beobachtungsjahr wurden Zeiträume von 6 Monaten (180 Tagen) gewählt. Der entsprechende Messwert des Patienten konnte dann dem jeweiligen Zeitraum zugeordnet werden. Lagen für einen Zeitraum mehrere Werte vor, so wurde das arithmetische Mittel berechnet und dabei jedem Messtag dieselbe Gewichtung gegeben.

Die graphische Darstellung mittels Box Plots erfolgte ebenfalls mithilfe von Microsoft Excel 2010. Da für diese Graphik keine direkte Darstellungsmöglichkeit in diesem Programm vorhanden war, mussten Zwischenrechnungen, wie 1.Quartil - Minimum, 1.Quartil, Median - 1.Quartil, 3.Quartil - Median und Maximum - 3.Quartil, durchgeführt werden. Grundlage der Konstruktion stellte dann „gestapelte Säulen 2D“ dar.

Bei jedem der o. g. Parameter erfolgten die Berechnungen zunächst für alle Patienten zusammen und anschließend nach Diagnosen, Linsenstatus oder OP-Kombinationen unterteilt.

Intraokularer Druck:

Die deskriptive Analyse des IOD im zeitlichen Verlauf umfasst zum einen die Berechnung des arithmetischen Mittels und Medians der erfassten IOD-Werte im jeweiligen Zeitintervall mit einer graphischen Darstellung in Form des Box Plots. Zum anderen wurde für jeden Patienten die Druckdifferenz postoperativ im Vergleich zum präoperativen Ausgangswert berechnet und daraus die prozentuelle Druckveränderung ermittelt. Aus diesen Werten ist anschließend das arithmetische Mittel für das Kollektiv im jeweiligen Zeitabschnitt berechnet worden. Die Angabe erfolgte in Prozent (%).

Diese Analysen wurden zunächst für das gesamte Patientenkollektiv durchgeführt, anschließend nach Hauptdiagnosen GCS und PEX-Glaukom und nach der Operationsdurchführung in Form einer alleinigen Trabekulotomie ab interno, oder einer Kombinationsoperation mit Kataraktextraktion und HKL-Einsatz, gegliedert.

Anzahl drucksenkender Augentropfen:

Die Analyse der Anzahl von Wirkstoffgruppen drucksenkender Augentropfen umfasste die Berechnung des Mittelwertes mit der graphischen Darstellung desselben im zeitlichen Verlauf in Form eines Box Plots. Die Gliederung des Patientenkollektivs erfolgte hierbei nach den Diagnosen PEX und GCS, dem Linsenstatus phak und pseudophak, und der kombinierten Operation mit einer Kataraktextraktion.

Acetazolamid:

Untersucht wurde hier der Anteil der Patienten mit der Notwendigkeit einer postoperativen Einnahme von Acetazolamidpräparaten p. o. im zeitlichen Verlauf. Die Patientenanzahl mit Acetazolamideinnahme im jeweiligen Zeitintervall wurde ins Verhältnis zur gesamten Patientenzahl dieses Zeitintervalls gesetzt. Die Einnahme wurde speziell für GCS- und PEX-Glaukom-Patienten separat betrachtet.

Öffnung der Trabektomspur postoperativ:

Untersucht werden sollte hier, ob und mit welcher Geschwindigkeit der mithilfe des Trabektoms eröffnete Schlemmsche Kanal vernarbt bzw. synechiert. Klinisch gebräuchlich ist die Angabe der Uhrzeiten als Größenmaß der Trabektomspur. Berechnet wurde die Anzahl der zum jeweiligen Zeitpunkt noch offenen Uhrzeiten im Verhältnis zu allen primär eröffneten Uhrzeiten. Für diese Analysen wurden die Anteile in Prozentangaben umgerechnet. Die deskriptive Analyse umfasste die Berechnung des arithmetischen Mittels mit Standardabweichung und die Darstellung in Form von Box Plots. Besonders die Betrachtung der einzelnen Diagnosen stand hier im Vordergrund.

2.3.3 Vergleich: präoperativ mit postoperativ

Bei den Parametern IOD, Visus und Anzahl drucksenkender Augentropfen erfolgte der Vergleich des letzten Messwertes präoperativ mit dem zuletzt erfassten Wert

postoperativ. Lagen präoperativ mehrere Daten vor, so wurde auch hier das arithmetische Mittel gebildet und jedem Messtag dabei dieselbe Gewichtung gegeben.

Die bei diesen Analysen berücksichtigten postoperativen Daten entstammten einem Beobachtungszeitraum von mind. 3 Monaten nach der Intervention. Die Zeitspanne lag postoperativ demnach zwischen 90 und 1021 Tagen. Von den 71 Fällen lagen bei 54 Daten mit einem Beobachtungszeitraum von mind. 3 Monaten vor.

Sämtliche Berechnungen erfolgten sowohl für das gesamte Patientenkollektiv zusammen betrachtet als auch für GCS, PEX-Glaukom, phake bzw. pseudophake Patienten, Kombioperationen mit Kataraktextraktion und HKL-Implantation separat betrachtet.

Intraokularer Druck:

Die deskriptive Analyse des IOD umfasste hier zuerst die Darstellung der Druckdifferenzen absolut und relativ. Für prä- und postoperative Werte wurden das arithmetische Mittel mit Standardabweichung, Minimum und Maximum berechnet. Es erfolgte dann die Ermittlung des Patientenanteils mit IOD-Zunahme bzw. –Abnahme mit jeweiliger Druckveränderung.

Die Untersuchung der statistischen Signifikanz erfolgte für das gesamte Kollektiv aus 54 Patienten mithilfe des Wilcoxon-Signed-Rank-Tests ($p < 0,001$) mit Sigmaplot 11.0. Von einem gepaarten t-Test wurde aufgrund der nicht-normalverteilten Datensätze abgeraten.

Wurde die statistische Signifikanz zwischen prä- und postoperativem IOD für GCS- und PEX-Patienten separat betrachtet, so lagen wieder normalverteilte Daten vor. Die Berechnung erfolgte dann mithilfe des gepaarten t-Tests mit Sigmaplot.

Die graphische Darstellung in Form von Box Plots und Scatterplots wurden wiederum mit Microsoft Excel 2010 angefertigt.

Zusätzlich zu den bereits o. g. Unterkategorien im Zuge der Analysen wurden hier noch nach Kammerwinkeleinsichten gegliedert.

Visus:

Bei diesem Vergleich des prä- mit dem postoperativen Visuswert konnten nur 52 Patienten erfasst werden, da bei 2 Patienten keine postoperativen Visuswerte erfasst worden waren und somit diese Auswertung nicht möglich war.

Bei einem Fall lag der postoperative Visus bei „Handbewegungen“. Dies entspricht einer numerischen Zahl von 1/800 (Winkler und Funk 2013).

Analysiert wurden die Visusdifferenz, arithmetisches Mittel mit Standardabweichung prä- und postinterventionell, und der Anteil der Patienten mit konstantem, verbessertem und verschlechtertem Visus incl. der jeweiligen Sehschärfenänderung. Die graphische Darstellung erfolgte erneut in Form des Box Plots.

Anzahl drucksenkender Augentropfen:

Die Analyse der Anzahl applizierter Wirkstoffgruppen umfasste zuerst die Berechnung der absoluten Differenz. Anschließend wurde der Patientenanteil mit einer Zunahme, Abnahme ≥ 1 und Abnahme ≥ 2 AT ermittelt.

2.3.4 Erfolgskriterien

Zur Beurteilung eines Erfolges wurden IOD, Anzahl drucksenkender Augentropfen und die Notwendigkeit weiterer drucksenkender OPs gemeinsam bewertet. Grundlage dieser Bewertung waren der letzte, aktuellste IOD präoperativ, der zuletzt erfasste IOD postoperativ (Zeitspanne liegt zwischen 5 und 1021d), Anzahl der drucksenkenden AT vor und nach Intervention, und die Tatsache einer weiteren drucksenkenden OP.

Die Erfolgskriterien wurden wie folgt definiert:

- 1) Intraokularer Druck ≤ 21 mmHg
- 2) Drucksenkung um mind. 20 %
- 3) Reduktion drucksenkender AT um mind. 2 Wirkstoffgruppen
- 4) Keine weitere drucksenkende Operation

Für die Erfolgsdefinition standen 2 Betrachtungsvarianten zur Auswahl. Da in anderen Literaturen je eine der Varianten Anwendung findet, wird hier auf beide Möglichkeiten eingegangen:

- Erfolgsvariante I definierte sich durch die Gültigkeit von Kriterium 1 **oder** 2 **oder** 3, jeweils **zuzüglich** Kriterium 4.
- Erfolgsvariante II definierte sich durch die Gültigkeit des Kriteriums 1 **in** **Verbindung** mit 2 **oder des alleinigen** Kriteriums 3 und **jeweils verbunden mit** Kriterium 4.

Als drucksenkende Operation galten folgende:

- Cyclophotokoagulation (CPC)
- Trabekulektomie mit Mitomycin C
- Lasertrabekuloplastik
- Kataraktextraktion gezielt zur Tensiosenkung

Während des Beobachtungszeitraumes erfolgte bei 2 Patienten eine Katex am selben Auge. Diese verfolgte primär allerdings nicht das Ziel einer Drucksenkung und wurde daher nicht als weitere drucksenkende Intervention gewertet.

3 ERGEBNISSE

Bei der folgenden Ergebnisdarstellung wird zunächst der zeitliche Verlauf bestimmter Parameter beleuchtet, anschließend direkte prä- mit postoperativen Werten verglichen und zuletzt die Erfüllung der Erfolgskriterien untersucht.

3.1 Darstellungen im zeitlichen Verlauf

3.1.1 Intraokularer Druck

Bei der Betrachtung des IOD im zeitlichen Verlauf wurden zunächst alle 71 Fälle, unabhängig von Diagnose, Kombinationsoperation o. ä., berücksichtigt.

Präoperativ lag der IOD im Mittel bei $22,99 \pm 5,00$ mmHg.

Postoperativ war im Durchschnitt stets eine Druckreduktion zu verzeichnen. Diese Abnahme lag innerhalb des ersten postoperativen Jahres bei mehr als 20 %. Bei den Berechnungen wurde für jeden Patienten die Druckdifferenz postoperativ im Vergleich zum präoperativen Ausgangswert berechnet und daraus die prozentuelle Druckveränderung ermittelt. Aus diesen Einzelpatientenwerten ist anschließend im jeweiligen Zeitabschnitt das arithmetische Mittel für das Kollektiv berechnet worden. So ermittelt erniedrigte sich der IOD im Mittel innerhalb der ersten 3 Monate (Tag 4 - 90) um 21,56 %, innerhalb des 4. - 6. Monats (Tag 91 - 180) um 20,64 %, im 7. - 9. Monat (Tag 181 - 270) um 26,05 % und im 10. - 12. Monat (Tag 271 - 360) um 22,9 %. Werden die Mittelwerte der im Verlauf kontrollierten Patientengruppe betrachtet, so sank der Druck auf durchschnittlich $17,51 \pm 4,84$ mmHg, $17,02 \pm 4,41$ mmHg, $16,58 \pm 3,45$ mmHg und $15,98 \pm 5,14$ mmHg in den jeweiligen Zeiträumen. Ab dem zweiten postoperativen Jahr schwankte die Druckabnahme zwischen 13,54 % und 25,06 %. Im ersten Quartal des zweiten Jahres (13. - 15. Monat, Tag 361 - 450) fiel die Drucksenkung mit 13,54 % auf erreichte Druckwerte von $18,76 \pm 4,15$ mmHg niedriger aus als zuvor. Bereits im zweiten Quartal des zweiten Jahres (16. - 18. Monat, Tag 451 - 540) stieg diese Reduktion auf 25,06 % wieder an und erreichte somit IOD-Werte von $16,34 \pm 3,18$ mmHg.

Ab der zweiten Hälfte des 2. postoperativen Jahres wurden die Messwerte im Beobachtungszeitraum von insgesamt 6 Monaten zusammengefasst. Demnach fanden sich Absenkungen des IOD um 17,18 % im 19. - 24. Monat, um 16,43 % im 25. - 30. Monat und um 21,3 % im 30. - 36. Monat.

In der folgenden Tabelle 4 sind die genauen Messwerte incl. berechneter Standardabweichung (SD) vom IOD und der Anzahl der lokal applizierten Antiglaukomatosa dargestellt.

Tabelle 4: IOD und Anzahl lokal applizierter Antiglaukomatosa

	Mittlerer IOD			Mittlere Anzahl an drucksenkenden AT		
	in mmHg	SD	Patientenanzahl	absolut	SD	Patientenanzahl
präoperativ	22,99	5,00	71	3,44	0,84	71
postoperativ						
0-3 Monate	17,51	4,84	71	3,35	1,10	71
4-6 Monate	17,02	4,41	40	2,82	1,12	40
7-9 Monate	16,58	3,45	31	2,88	1,03	31
10-12 Monate	15,98	5,14	19	2,92	0,92	19
13-15 Monate	18,76	4,15	18	2,53	1,07	17
16-18 Monate	16,34	3,18	7	2,71	0,76	7
19-24 Monate	19,25	6,45	4	2,40	0,49	4
25-30 Monate	18,17	1,61	3	2,67	1,53	3
31-36 Monate	15,00	---	1	3,00	---	1

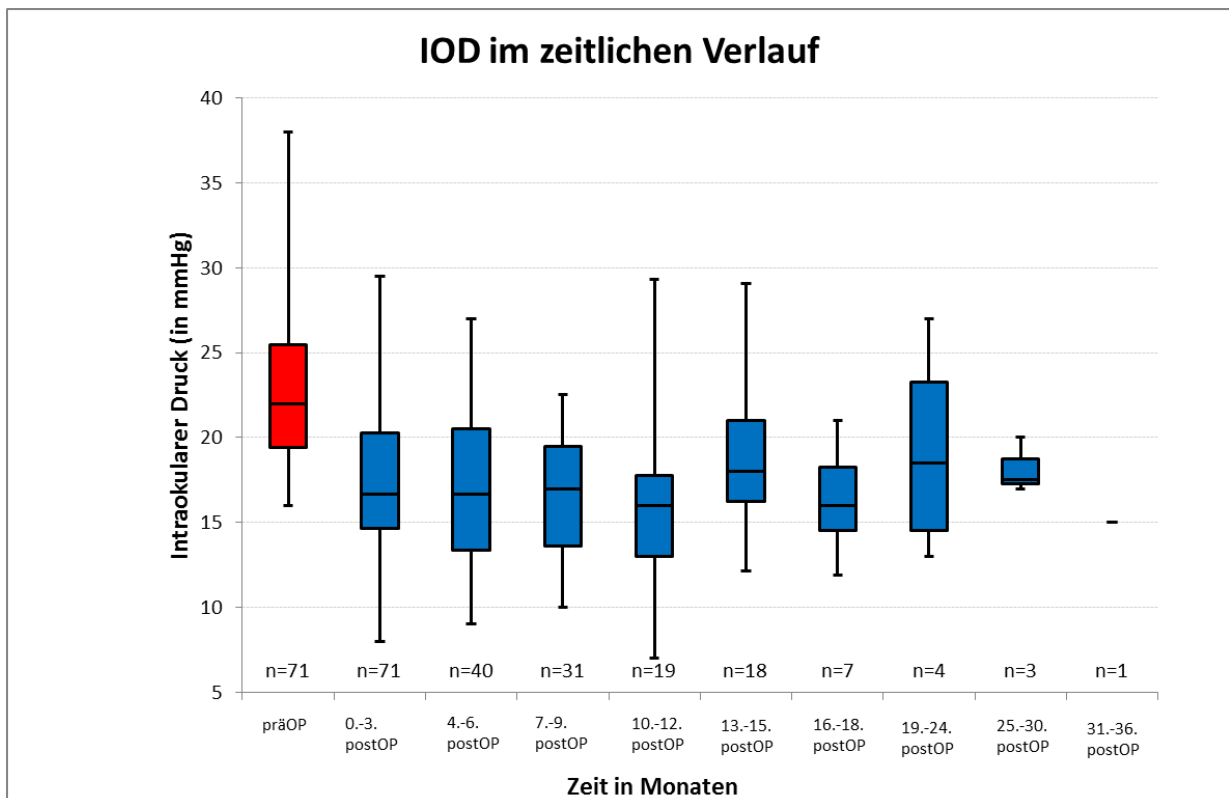


Abbildung 10: Box Plots zum intraokularen Druck im zeitlichen Verlauf bei allen erfassten Patienten

Erklärungen zu Abb. 10: Anhand der Box Plots wird die Spannweite der erfassten Daten sichtbar. Der waagerechte Balken innerhalb eines Kastens zeigt den Median. Die obere und untere Begrenzung

eines Kastens entspricht dem 75. bzw. 25. Quartil der Werte. Maximum und Minimum werden durch die vertikalen Ausreißer dargestellt.

Betrachtet man die Therapieergebnisse für Patienten mit GCS und PEX-Glaukom separat voneinander, fällt folgendes auf:

Die Senkung des IOD fällt bei Patienten mit PEX-Glaukom größer aus als beim GCS. 11 Fälle mit der Diagnose eines PEX-Glaukoms standen für die Auswertung zur Verfügung. Es konnten dabei Daten über einen einjährigen postoperativen Verlauf zusammengetragen werden. Präoperativ wurde im Mittel ein IOD von $23,77 \pm 4,84$ mmHg ermittelt. Die Reduktion schwankte im ersten postoperativen Jahr zwischen 27,35 % - 38,22 %.

Genauere Druckwerte sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: IOD im zeitlichen Verlauf bei Patienten mit PEX-Glaukom und GCS

	Mittlerer IOD bei PEX-Glaukom			Mittlerer IOD bei GCS		
	in mmHg	SD	Patientenanzahl	in mmHg	SD	Patientenanzahl
Präoperativ	23,77	4,84	11	22,26	4,67	56
postoperativ						
0-3 Monate	15,07	3,60	11	17,76	4,97	56
4-6 Monate	16,44	3,68	6	17,12	4,56	34
7-9 Monate	15,17	2,64	6	16,91	3,58	25
10-12 Monate	15,00	1,41	2	16,09	5,43	17
13-15 Monate	---	---	---	18,76	4,15	18
16-18 Monate	---	---	---	16,34	3,18	7
19-24 Monate	---	---	---	19,25	6,45	4
25-30 Monate	---	---	---	18,17	1,61	3
31-36 Monate	---	---	---	15,00	---	1

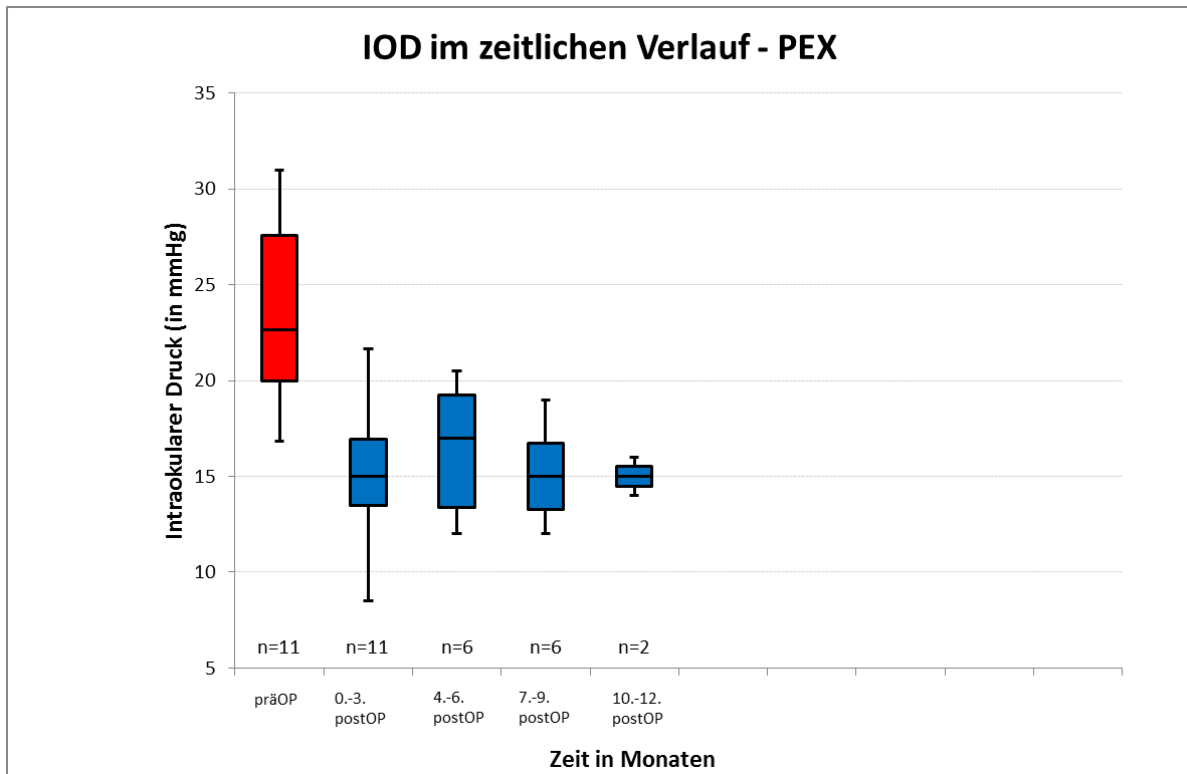


Abbildung 11: Box Plots zum intraokularen Druck im zeitlichen Verlauf bei Patienten mit PEX-Glaukom

Für die Beurteilung des Therapieergebnisses standen bei Patienten mit GCS 56 Fälle zur Verfügung. Der Beobachtungszeitraum reichte dabei insgesamt über 3 postoperative Jahre. Um mit PEX-Patienten vergleichen zu können wurde hier besonderes Augenmerk auf das erste postoperative Jahr gelegt. Der präoperative mittlere IOD lag bei $22,26 \pm 4,67$ mmHg. Die IOD-Senkung schwankte anschließend zwischen 18,17 % - 23,13 %. Auch hier wird für detaillierte Messwerte auf Tabelle 5 verwiesen.

Beim PEX-Glaukom war der Druckabfall demnach um mind. 4,22 % höher als beim GCS.

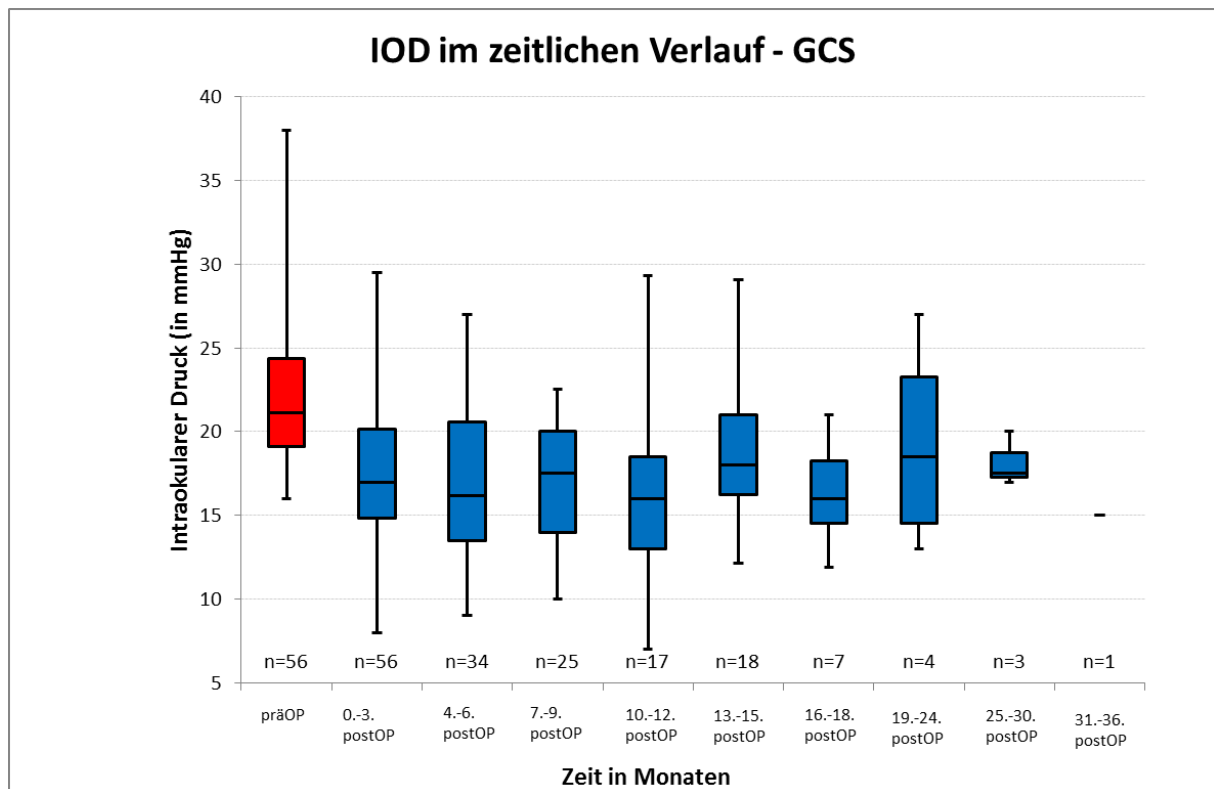


Abbildung 12: Box Plots zum intraokularen Druck im zeitlichen Verlauf bei Patienten mit GCS

In den bis hier dargestellten Ergebnissen wurden die OP-Verfahren der alleinigen Trabekulotomien *ab interno* und der Kombinationsoperationen mit Kataraktextraktion und HKL-Einsatz gemeinsam bewertet.

Betrachtete man Trabektom-OPs (57 Fälle) allein, so fiel der präoperative IOD von durchschnittlich $23,21 \pm 5,15$ mmHg im ersten Jahr um einen prozentualen Anteil zwischen 19,72 - 24,95 %. Der erreichte IOD lag zwischen $16,71 \pm 5,23$ mmHg und $17,79 \pm 4,82$ mmHg. Im zweiten postoperativen Jahr lag die Reduktion zwischen 12,59 % und 23,23 %. Im dritten Jahr schwankte die Abnahme zwischen 16,43 % und 21,30 %. Detaillierte Druckwerte der jeweiligen Zeiträume sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Verglich man diesen Verlauf mit dem bei Kombinationsoperationen mit Kataraktextraktion und HKL-Einsatz (14 Fälle), so konnte hier eine stärkere IOD-Senkung verzeichnet werden. Im ersten postoperativen Jahr lag die Druckreduktion stets deutlich über 20 %. Während präoperativ der IOD im Mittel $22,06 \pm 4,39$ mmHg betrug, so lag er postoperativ zwischen $13,25 \pm 4,27$ mmHg und $16,44 \pm 3,86$ mmHg. Die Abnahme schwankte in den ersten 12 Monaten demnach zwischen 21,28 % und 34,83 %. Für das zweite postoperative Jahr lagen hier lediglich Daten der 1. Jahreshälfte vor. Hier schwankte die Drucksenkung zwischen 16,86 % - 36 %.

Tabelle 6: IOD im zeitlichen Verlauf bei Patienten mit alleiniger Trabekulotomie *ab interno* und in Kombination mit Kataraktextraktion

	Mittlerer IOD bei alleinigen Trabektom-OPs			Mittlerer IOD bei Kombinationsoperationen aus Trabektom mit Kataraktextraktion und HKL-Einsatz		
	in mmHg	SD	Patienten-anzahl	in mmHg	SD	Patienten-anzahl
präoperativ	23,21	5,15	57	22,06	4,39	14
postoperativ						
0-3 Monate	17,79	4,82	57	16,40	4,95	14
4-6 Monate	17,21	4,62	30	16,44	3,86	10
7-9 Monate	17,30	3,46	22	14,81	2,89	9
10-12 Monate	16,71	5,23	15	13,25	4,27	4
13-15 Monate	19,40	4,43	14	16,50	1,91	4
16-18 Monate	16,40	3,48	6	16,00	---	1
19-24 Monate	19,25	6,45	4	---	---	---
25-30 Monate	18,17	1,61	3	---	---	---
31-36 Monate	15,00	---	1	---	---	---

3.1.2 Anzahl lokal applizierter Antiglaukomatosa

Im Folgenden wurde die Anzahl der Wirkstoffgruppen von drucksenkenden Augentropfen ausgewertet. Zunächst wurden Daten aller erfassten Patientenfälle berücksichtigt. Dies waren 71. Mit länger werdendem Beobachtungszeitraum sank die erfasste Fallzahl. In den unten aufgeführten Darstellungen sind die genauen Anzahlen berücksichtigter Patientenfälle mit angegeben.

Vor der OP versuchten die 71 Patienten mit durchschnittlich $3,44 \pm 0,84$ AT den IOD in einen akzeptablen Bereich zu bringen. Direkt nach der OP änderte sich dies zunächst kaum. Erst ab dem 4. postoperativen Monat sank die AT-Anzahl im Mittel unter 3. Der Tiefststand wurde mit durchschnittlich $2,4 \pm 1,49$ AT im Zeitraum zwischen dem 19. - 24. Monat erfasst. Die max. Reduktion betrug somit rund 1,04 AT. Während der 2 ½ Jahre nach der OP wurde insgesamt eine AT-Anzahl von 2,4 - 2,92 benötigt.

Im letzten erfassten Zeitraum vom 31. - 36. Monat wurde nur noch ein Patient erfasst. Im Vergleich der Durchschnittswerte war hierbei mit einer Reduktion um 0,44 AT die minimale Abnahme zu verzeichnen. Personenbezogen betrachtet blieb die Applikation von 3 verschiedenen Antiglaukomatosa kontinuierlich unverändert.

Die genauen Mittelwerte der AT mit den errechneten SD sind der obigen Tabelle 4 zu entnehmen.

Der Trend der AT-Reduktion im Laufe der Zeit incl. der Spannweite der Messwerte ist in Abb. 13 zu erkennen.

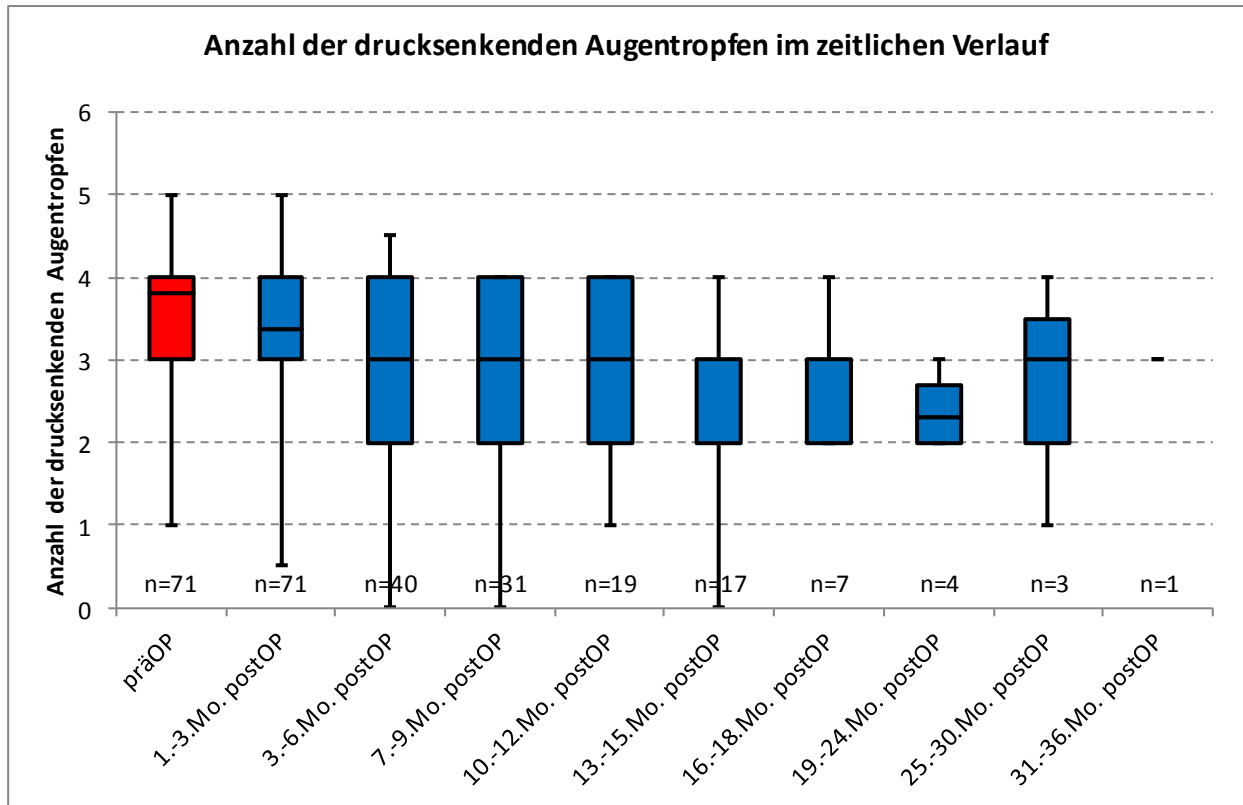


Abbildung 13: Box Plots zur Anzahl topischer Antiglaukomatosa im zeitlichen Verlauf beim gesamten Patientenkollektiv

Filterte man aus den o. g. Daten alle GCS-Patienten heraus, zeigte sich für diese ein nahezu identischer Verlauf, dessen Unterschiede max. im Zehntel-Bereich lagen.

Bei Patienten mit PEX-Glaukom lag die präoperative AT-Anzahl mit durchschnittlich $3,77 \pm 0,85$ um 0,4 höher als beim GCS. Die erfassten Daten beim PEX berücksichtigten lediglich das erste postoperative Jahr. Die Reduktion der AT-Anzahl schwankte zwischen mind. 0,15 in den ersten 3 Monaten nach der OP, und max. 1,10 im 7. - 9.Monat. Vergleicht man diese Reduktion mit dem GCS, so war dort eine Senkung der AT-Anzahl zwischen 0,06 - 0,59 zu verzeichnen. Eine annähernd so große Reduktion von 0,97 lag erst im 19. - 24.Monat vor.

Beim PEX-Glaukom reduzierte sich die AT-Anzahl demnach etwas stärker als beim GCS. Die Differenz der Reduktion zwischen PEX und GCS reichte von mind. 0,09 bis max. 0,66 innerhalb des ersten postoperativen Jahres.

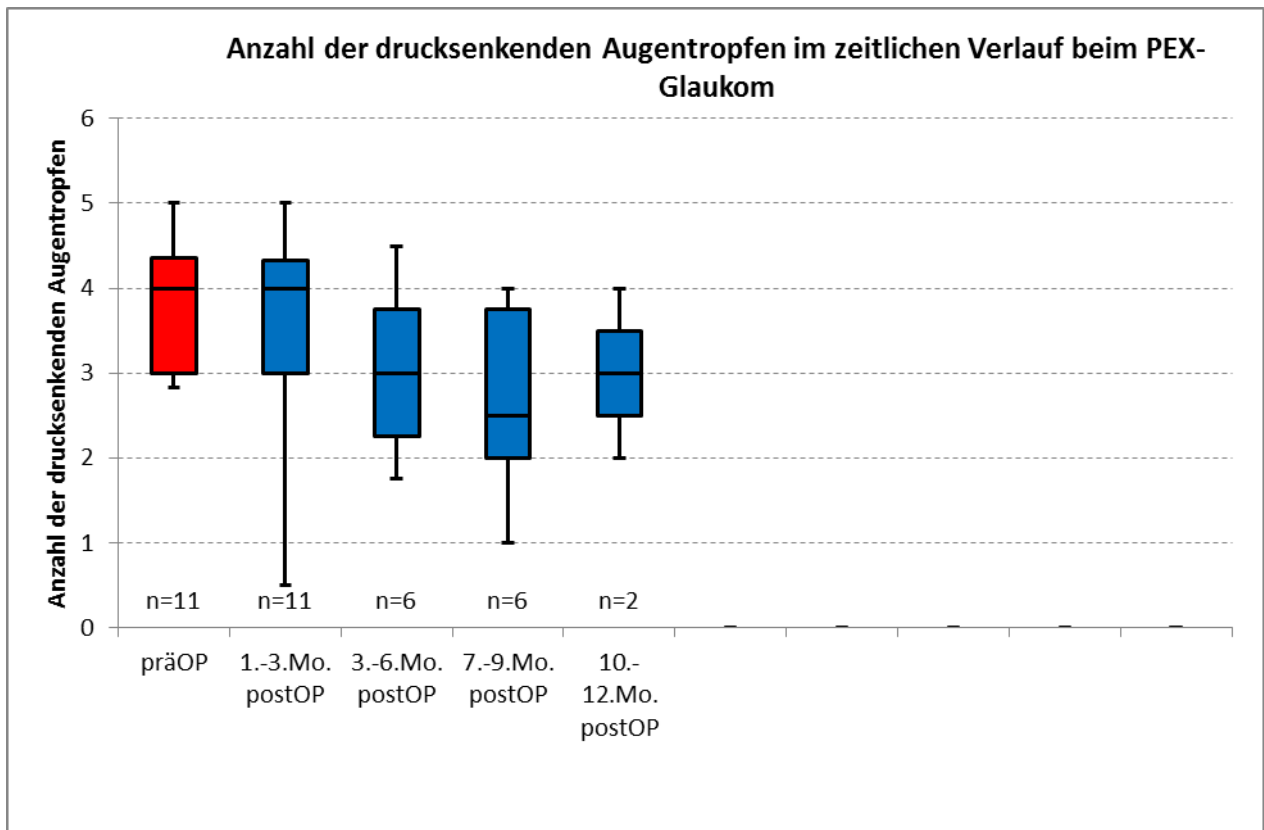


Abbildung 14: Box Plots zur Anzahl topischer Antiglaukomatosa im zeitlichen Verlauf beim PEX-Glaukom

3.1.3 Einnahme systemischer Antiglaukomatosa

Hier wurde der Anteil der Patienten berechnet, der Acetazolamid p. o. / i. v. (Diamox®) zur Senkung des IOD einnehmen musste.

Vom gesamten Patientenkollektiv war vor der Intervention rund 1/5 (21,13 %) auf die Einnahme von Diamox angewiesen. Im zeitlichen Rahmen zwischen dem 7. - 9. Monat nach der Trabekulotomie *ab interno* sank der Anteil der Patienten bereits auf 0 %. Gegen Ende des ersten Jahres bzw. Anfang des Zweiten stieg der Anteil der Patienten mit Acetazolamidbedarf kurzzeitig an, um sich anschließend wieder 0 % anzunähern.

Die Abbildung 15 veranschaulicht den zeitlichen Verlauf.

Betrachtet man ausschließlich GCS-Patienten, so zeigte sich postoperativ ein identischer Verlauf.

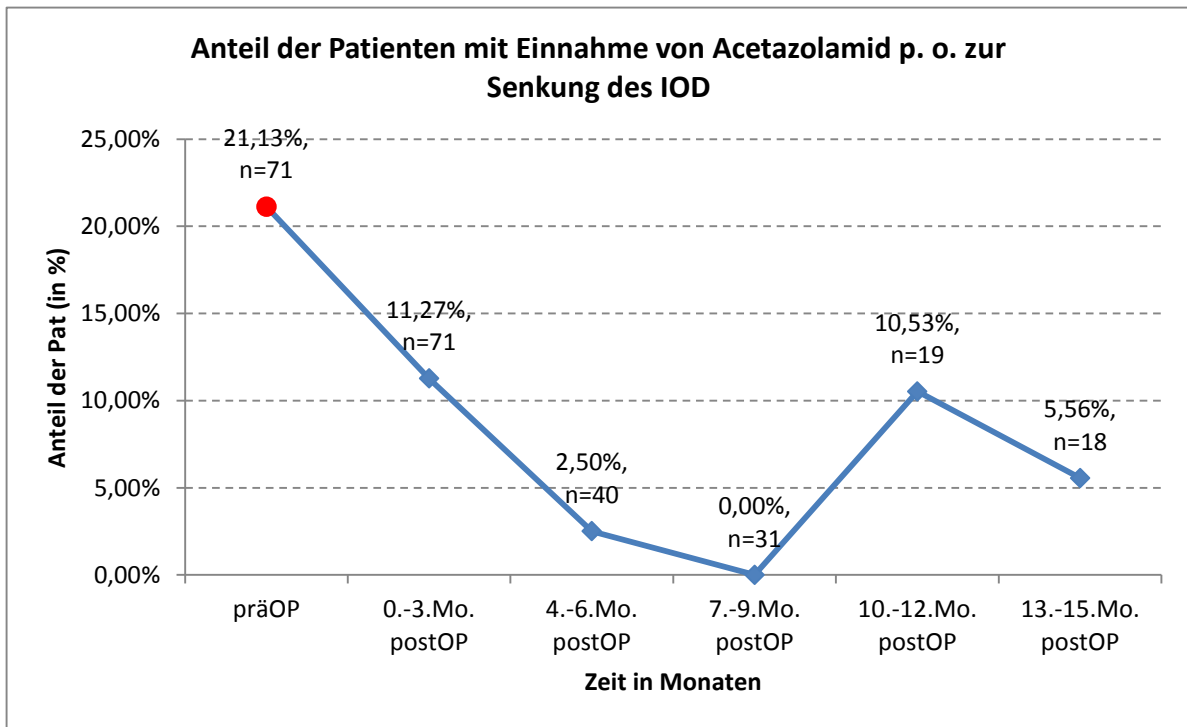


Abbildung 15: Patienten mit systemischer Carboanhydrasehemmereinnahme (n = Patientenanzahl)

Lediglich bei Patienten mit der Diagnose PEX-Glaukom sank der Patientenanteil mit Diamoxeinnahme durch die Trabektom-OP auf 0 %. Während präoperativ 4 von 11 Patienten (36,36 %) Acetazolamid p. o. einnehmen mussten, war es postoperativ kein einziger mehr. Die Abbildung 16 veranschaulicht diesen Abfall.

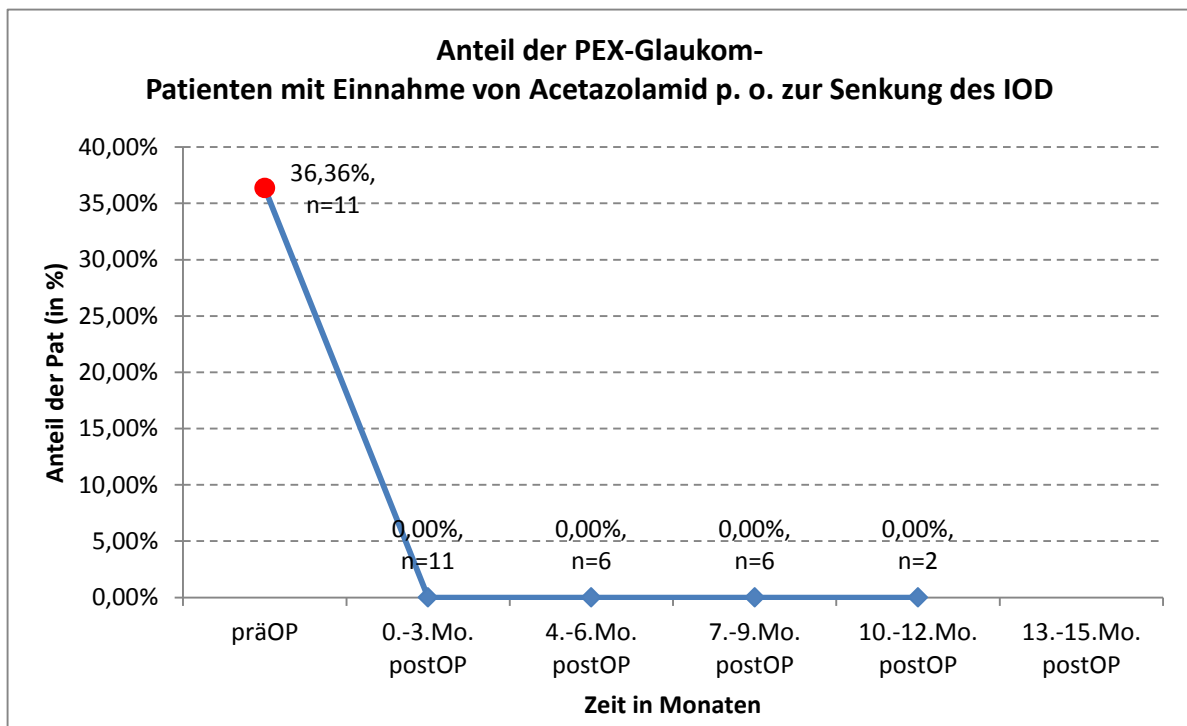


Abbildung 16: PEX-Glaukompatienten mit systemischer Carboanhydrasehemmereinnahme (n = Patientenzahl)

3.1.4 Öffnung der behandelten Trabektomspur

Während der Trabekulotomie *ab interno* wurde über 3-4 Uhrzeiten das Trabekelmaschenwerk im Kammerwinkel entfernt. Bei den postoperativen Nachkontrollen wurde dann überprüft, um welchen Anteil von diesem neu eröffneten Bereich die weiße Rückwand des Schlemmkanals noch immer zu erkennen war. Dieser Anteil war bei 48 Fällen dokumentiert und ist im Folgenden in % angegeben. Mit zunehmender Beobachtungszeit reduzierte sich die Zahl der erfassten Fälle.

Im Mittel betrug in den ersten 90 Tagen nach dem Eingriff die verbliebene Öffnung bei den 48 Patienten 73,7 % ± 26,0 %. Daraufhin reduzierte sich die Öffnungsfläche zunächst um etwa 10 % in 3 Monaten. Konkret bedeutet das: Zwischen dem 4.-6. Monat postoperativ lag die Trabektomspuröffnung bei den 20 dokumentierten Fällen im Durchschnitt bei 60,1 %. In den darauf folgenden 7. - 9. Monaten war eine Öffnung von 50,9 % bei n = 15 zu verzeichnen. Mit durchschnittlich 49,2 % verbliebener Öffnungsfläche der Trabektomspur im letzten Quartal des ersten Jahres bei n = 9 blieb dieser Wert dann konstant.

Im zweiten postoperativen Jahr lagen die dokumentierten Fallzahlen in den ersten drei Quartalen bei $n = 3/2/1$. Da diese Stichprobengröße sehr klein ist, wird hier auf eine detaillierte Beschreibung dieser Öffnungsangaben verzichtet.

In den folgenden Abbildungen 17-20 ist der genaue Anteil der Patienten dargestellt, der zum angegebenen Zeitpunkt die jeweils farblich markierte Trabektomspuröffnungsfläche aufweist.

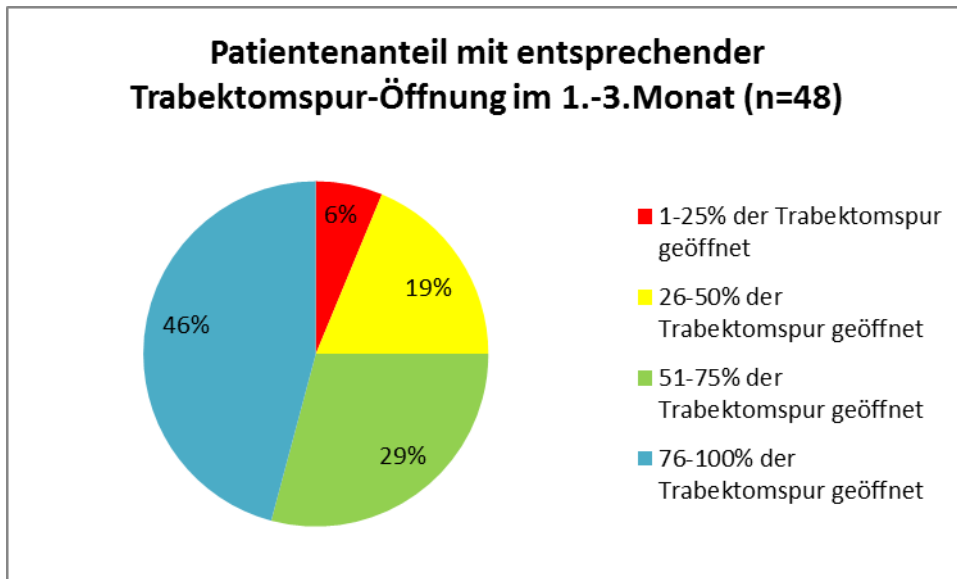


Abbildung 17: Patientenanteil mit Trabektomspuröffnung im 1. - 3. Monat

Die Abbildung 17 zeigt, dass innerhalb der ersten 90 Tage nach dem Eingriff fast die Hälfte der Patienten eine annähernd vollständige Öffnung der Trabektomspur aufweist. Bei einem Viertel der Patienten ist bereits in diesem Zeitraum mind. die Hälfte des eröffneten Trabekelwerks wieder gonioskopisch verschlossen.

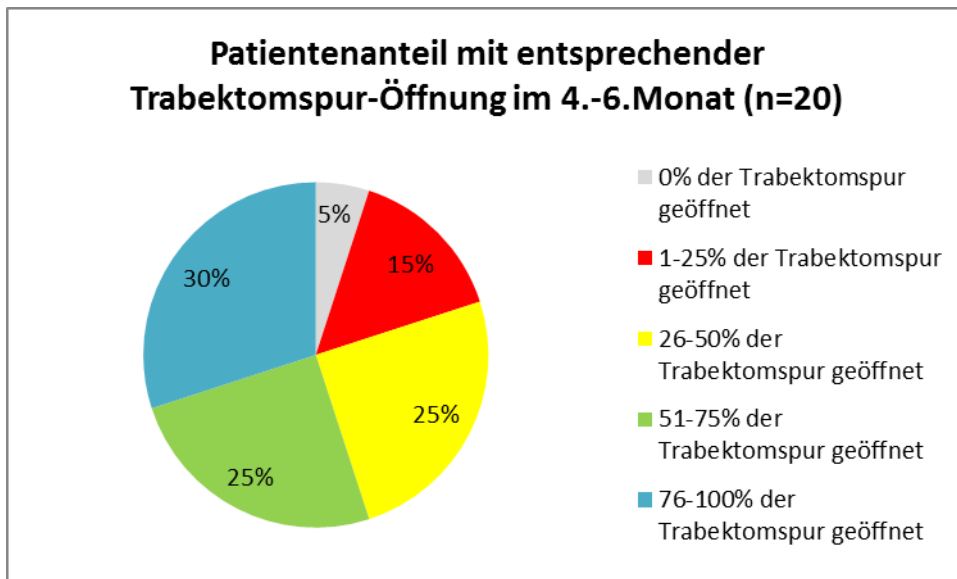


Abbildung 18: Patientenanteil mit Trabektomspuröffnung im 4. - 6. Monat

Laut Abb.18 sank zwischen dem 91. - 180. postoperativen Tag der Anteil der Patienten mit annähernd vollständiger KW-Öffnung im Trabektombereich auf 30 %. Es kam häufig zur Bildung von Synechien. Bei 45 % des Patientenkollektivs betrug die verbliebene Öffnungsfläche max. die Hälfte. Genauer gesagt hatte sich bei 15 % der Patienten die Öffnung auf max. ein Viertel der Ausgangsfläche reduziert, bei 5 % lag ein vollständiger, gonioskopisch sichtbarer Verschluss des Schlemmkanals vor.

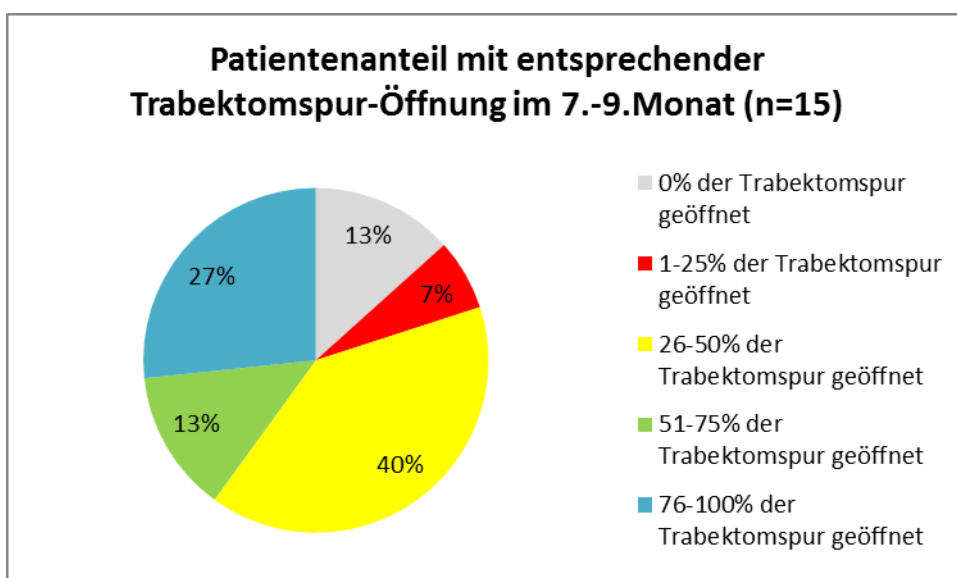


Abbildung 19: Patientenanteil mit Trabektomspuröffnung im 7. - 9. Monat

Zwischen den Tagen 181 - 270 vergrößerte sich der Patientenanteil mit einer TW-Öffnungsfläche von 26 – 50 % auf 40 % zu Lasten des Patientenanteils mit einer

Öffnung von 51 – 75 %. Bei mehr als doppelt so vielen Patienten (13 %) hat sich in dieser Zeit die Trabektomspur komplett verschlossen.

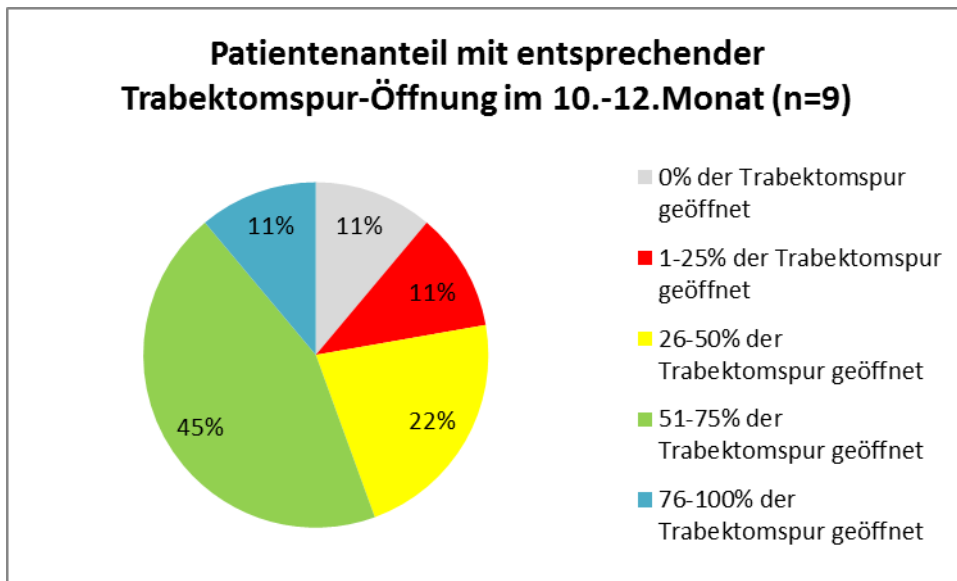


Abbildung 20: Patientenanteil mit Trabektomspuröffnung im 10. - 12. Monat

Laut Abb. 20 hat im letzten Quartal des ersten Beobachtungsjahres der Patientenanteil mit einer Trabektomspuröffnung von 51 – 75 % zu Lasten der beiden angrenzenden Bereiche auf 45 % zugenommen. Der vollständig verschlossene Bereich hat sich mit nun 11 % minimal verändert.

Alles in allem ist im Laufe des ersten postoperativen Jahres gonioskopisch ein zunehmender Verschluss des eröffneten Schlemmkanals zu erkennen.

Rund 1/10 der Patientenschaft behält über diesen Zeitraum hinweg ein annähernd vollständig eröffnetes TW bei. Etwa genauso viele verschließen sich wieder vollständig. Ebenfalls ca. 1/10 der Patienten können nach dem ersten Jahr max. 25 % noch verbliebene TW-Öffnungsfläche nachweisen. Der Großteil der Patienten - bis zu 2/3 - behält eine gonioskopisch sichtbare Öffnung der Trabektomspur von 26 - 75 % bei.

Filtert man aus dem Datensatz nur Patienten mit der Diagnose GCS heraus, so ergibt sich wiederum ein nahezu identischer Verlauf der arithmetischen Mittelwerte, wie sie bereits oben für das gesamte Patientenkollektiv beschrieben wurden. Kleine Abweichungen der Zahlenwerte liegen bei max. 2 %.

Bei Fällen mit der Diagnose PEX-Glaukom standen nur bei $n = 5$ Daten bzgl. der TW-Öffnung zur Verfügung. Im 1. Quartal des ersten postoperativen Jahres lag die durchschnittliche Öffnungsfläche mit $78,3 \% \pm 21,7 \%$ um $5,6 \%$ höher als beim GCS. Im 2. Quartal mit $n = 3$ war die Öffnung mit 75% um $17,6 \%$ größer als beim GCS. Mit $n = 2$ im 3. Quartal war eine $66,7 \%$ ige Öffnung zu verzeichnen. Für das letzte Quartal stand nur ein Fall zur Verfügung. Dieser lag jedoch mit $33,3 \%$ verbliebener Öffnungsfläche beim PEX um $17,9 \%$ kleiner als beim GCS. Die Stichprobengröße ist bei der hier vorliegenden Betrachtung der PEX-Patienten mit $n = 1 - 5$ recht klein und die Vergleiche mit dem GCS daher mit Vorsicht zu genießen.

3.2 Vergleich vom präoperativen mit letztem postoperativen Wert

Bei den folgenden Auswertungen wurde der zuletzt erfasste, präoperative Messwert mit dem aktuellsten erfassten postoperativen Wert verglichen. Die Daten nach dem Eingriff umfassen den Zeitraum zwischen 90 und 1021 Tagen.

3.2.1 Intraokularer Druck

In die Berechnungen der folgenden Ergebnisse sind zunächst die Daten von 54 Patienten mit einer postoperativen Nachbehandlung von mind. 3 Monaten, unabhängig von Diagnosetyp, Linsenstatus o. ä., eingeflossen.

Vor dem Eingriff wurde ein durchschnittlicher IOD von $22,42 \pm 5,06$ mmHg berechnet. Die gemessenen Werte schwankten dabei in einem Bereich zwischen 16 mmHg – 38 mmHg. Nach der Intervention lag der IOD im Mittel bei $17,62 \pm 4,86$ mmHg. Der Wertebereich erstreckte sich von 7 mmHg – 29,09 mmHg. Die durchschnittliche Drucksenkung betrug damit absolut 4,8 mmHg. Dies entspricht einer Senkung um 21,42 %. Zur Prüfung der statistischen Signifikanz wurde aufgrund der nicht-normalverteilten Daten der Wilcoxon-Signed-Rank-Test (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test) empfohlen. Laut dieses Tests ist die therapeutisch erzielte Druckdifferenz als statistisch signifikant ($P < 0,001$) zu bezeichnen.

Genauer betrachtet war bei 44 der 54 Patienten durch die Trabekulotomie *ab interno* eine Druckreduktion zu verzeichnen. Dies entspricht einem Patientenanteil von 81,5 %. In dieser Untergruppe fiel der Wert um durchschnittlich 6,64 mmHg (27,46 %). Bei 18,5 % der Patienten ($n = 10$) stieg der IOD postinterventionell im Mittel um 17,21 % an.

In der folgenden Abbildung 21 verdeutlichen die Box Plots die Spannweite der Messwerte und die Verringerung des Medians von 21,13 mmHg auf 17 mmHg. Diese Werte ähneln den oben beschriebenen arithmetischen Mittelwerten.

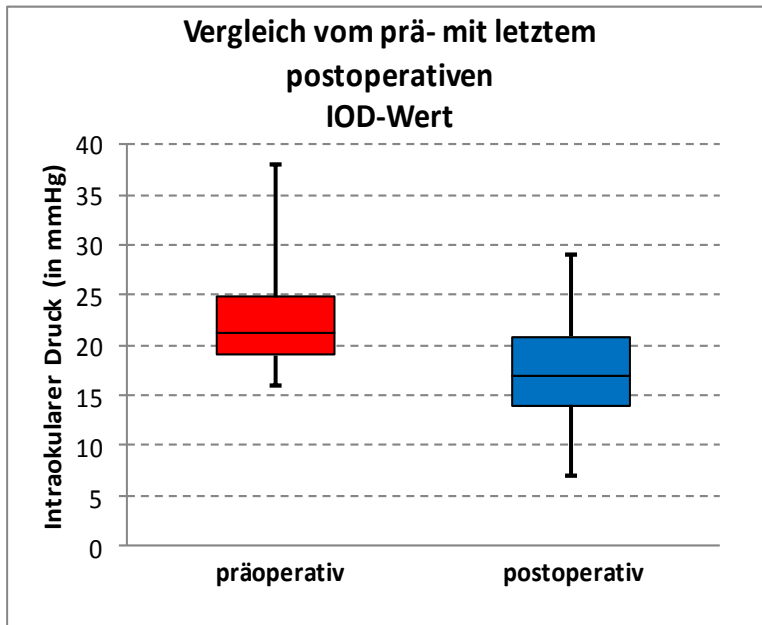


Abbildung 21: Box Plots zum Vergleich prä-/ postoperativer IOD

Der folgende Scatterplot in Abbildung 22 stellt die Druckwerte vor der Trabektom-OP den Druckwerten nach der OP gegenüber. Somit demonstrieren die blauen Datenpunkte unterhalb der Linie das Patientenkollektiv mit einer Verringerung des intraokularen Drucks durch den Eingriff. Die roten Punkte oberhalb der Linie zeigen einen Druckanstieg.

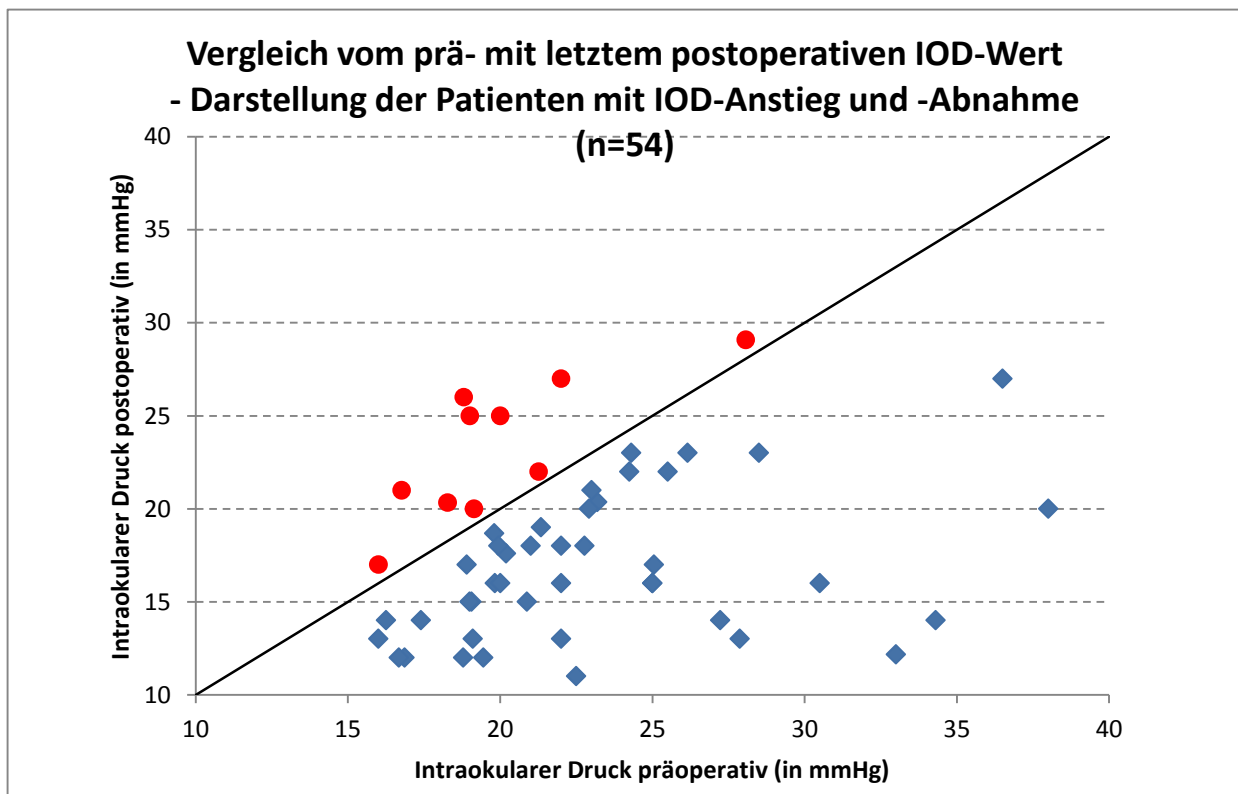


Abbildung 22

Von den 54 Patienten wurde bei 45 die Diagnose GCS gestellt. Betrachtet man diese Diagnosegruppe separat, ergibt sich ein annähernd identisches postoperatives Outcome, wie es bereits für das gesamte Patientenkollektiv oben geschildert wurde: Der IOD reduzierte sich im Mittel von $21,97 \pm 4,84$ mmHg um $4,07$ mmHg auf $17,89 \pm 5,02$ mmHg. Bei 80 % der GCS-Patienten kam es zur Drucksenkung, bei 20 % zum Anstieg.

Die Diagnose PEX-Glaukom war bei 8 der 54 Patienten Therapiegrundlage. Hier war der durchschnittliche Druckunterschied postoperativ im Vergleich zu präoperativ mit $-6,96$ mmHg stärker negativ als beim GCS. Während vor der OP ein IOD von $23,46 \pm 4,88$ mmHg ermittelt wurde, betrug er danach $16,5 \pm 4,11$ mmHg.

Bei 87,5 % der PEX-Patienten ($n = 7$) war ein Abfall des IOD zu verzeichnen. Lediglich bei einem Patienten (12,5 %) kam es postinterventionell zur Druckzunahme um 6mmHg. Im folgenden Scatterplot (Abb. 23) ist dieser Fall als roter Punkt oberhalb der Linie dargestellt. Die Fälle mit der IOD-Senkung erscheinen als grüne Punkte unterhalb der Linie.

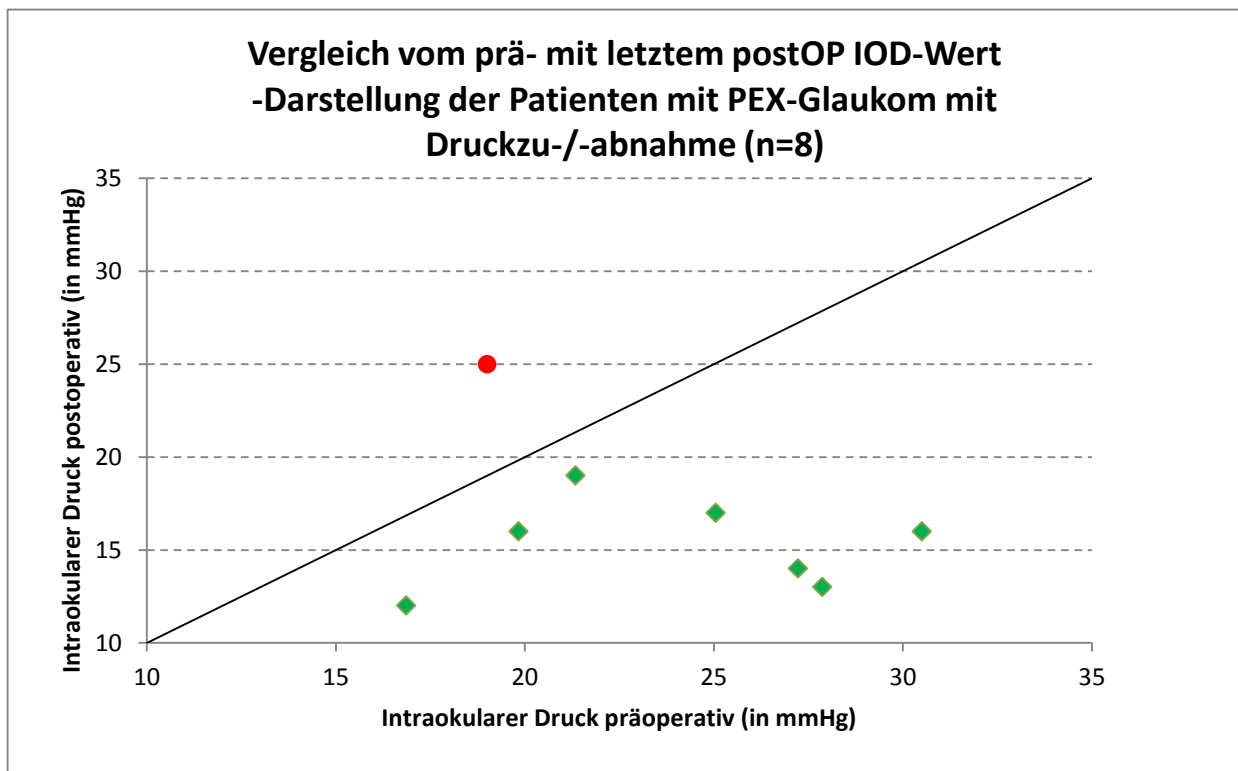


Abbildung 23

Von den 54 Patienten lag bei einem Patienten die Diagnose Pigmentdispersionsglaukom vor. Mit einem Abfall des IOD von 34,3 mmHg um 20,3 mmHg auf 14,0 mmHg wurde hier die zweithöchste Drucksenkung erreicht.

Eine weitere Untergruppeneinteilung berücksichtigt den Linsenstatus zum Zeitpunkt der Trabekulotomie *ab interno*. Unterschieden wird hierbei zwischen phaken Patienten, d. h. mit ihrer eigenen Linse, pseudophaken Patienten, d. h. nach Kataraktoperation mit Kunstlinseneinsatz, und der Kombinationsoperation aus Trabekulotomie und Kataraktextraktion in einer Sitzung.

Die 23 Patienten mit eigener Linse (phak) konnten von den o. g. Untergruppen die stärkste absolute IOD-Senkung verzeichnen. Die Reduktion betrug 5,37 mmHg. Dies entspricht einer IOD-Reduktion von 22,97 %. Bei 18 Fällen (78,3 %) kam es zum Druckabfall, bei 5 Fällen (21,7 %) zur Zunahme.

Die Untergruppe der Kombioperationen aus Trabektom-OP und Kataraktextraktion verzeichnete den stärksten relativen IOD-Abfall. Hier lag die Reduktion absolut bei 5,08 mmHg, entsprechend 24,60 %. Bei allen 12 Patienten kam es zur Druckabnahme.

Bei der Patientengruppe mit Kunstlinse (HKL) war eine Abnahme von 3,93 mmHg, entsprechend 17,59 %, zu verzeichnen. Diese fiel hier geringer aus als bei den beiden oben genannten Untergruppen.

Vergleicht man dies mit den Ergebnissen aus Kapitel 3.1.1, so fällt auf, dass auch dort die Kombinationsoperation den größten Operationserfolg in puncto relativer IOD-Reduktion erbrachte. Dort wurden die zugehörigen Zeitspannen miteinander verglichen.

Hier beim Vergleich prä- mit letztem postOP Wert schwanken die Messwerte, wie bereits erwähnt, zwischen 90 und 1021 Tagen. Die verglichenen Zeitpunkte sind demnach nicht immer identisch.

Bezüglich der Kammerwinkleinsicht wurde bei bester Einsicht (Shaffer-Grad IV°) eine um rund 1 mmHg stärkere IOD-Reduktion verzeichnet als bei Shaffer-Grad III°.

3.2.2 Anzahl lokal applizierter Antiglaukomatosa

Durch den operativen Eingriff konnte beim Patientenkollektiv, bestehend aus 54 Patienten, die Anzahl an drucksenkenden Augentropfen von durchschnittlich $3,5 \pm 0,9$ auf $2,6 \pm 1,2$ gesenkt werden. Eine generelle Abnahme der AT-Anzahl war bei 59,3 % der Patienten ($n = 32$) zu verzeichnen. Bei 22,2 % des Kollektivs ($n = 12$) reduzierte sich die notwendige Anzahl sogar um ≥ 2 .

Zu einer Erhöhung der zu applizierenden drucksenkenden AT kam es bei 2 Fällen, entsprechend 3,7 % des Kollektivs.

Bei 37 % der Patienten ($n = 20$) blieb die AT-Applikation unverändert.

Die Untergruppenanalyse der PEX-Patienten zeigte, wie bereits in Kap. 3.1.2, eine etwas stärkere Reduktion der AT als beim GCS. Bei den 8 Patienten sank die benötigte AT-Anzahl von im Durchschnitt $3,6 \pm 0,9$ auf $2,3 \pm 1,4$. Bei $\frac{3}{4}$ der Patienten ($n = 6$) war eine Abnahme zu verzeichnen, bei der Hälfte ($n = 4$) sogar ≥ 2 . Jeweils ein Patient (12,5 %) hielt seine Medikation unverändert bei bzw. musste diese erhöhen.

Bei den 45 GCS-Fällen kam es im Durchschnitt zu einer Reduktion der AT-Anzahl von $3,4 \pm 0,9$ auf $2,7 \pm 1,2$. Hier war bei 55,6 % der Patienten ($n = 25$) eine Reduktion zu verzeichnen, bei 17,8 % ($n = 8$) ≥ 2 AT. Nur in einem einzigen Fall

erfolgte eine Steigerung der Medikation (2,2 % des Kollektivs). 19 Patienten (42,2 %) behielten ihre Medikation bei.

Wählt man als weitere Unterteilung in Untergruppen den Linsenstatus, so ist in der Gruppe aus den 12 Fällen mit einer Kombinationsoperation aus Trabekulotomie ab interno und Kataraktextraktion mit Kunstlinseneinsatz der größte Patientenanteil mit einer Tropfenreduktion zu finden: Bei $\frac{3}{4}$ dieser Patienten ($n = 12$) konnte die Tropfenanzahl reduziert werden. Diese Senkung erfolgte im Mittel von $2,7 \pm 1,0$ auf $1,8 \pm 1,3$ AT. Bei einem Patienten stieg die Medikation an, bei Zweien blieb sie unverändert.

In der Untergruppe der phaken Patienten ($n = 23$) findet sich die stärkste Reduktion der AT im Vergleich zu pseudophaken Patienten und Kombinationsoperationen. Die benötigte Medikation sank von durchschnittlich $3,8 \pm 0,6$ auf $2,7 \pm 1,1$ AT. Der Patientenanteil mit einer registrierten Reduktion betrug dabei 65 % ($n = 15$). Bei 30,4 % der Patientenschaft ($n = 7$) betrug diese Reduktion sogar ≥ 2 AT. Es wurde hier kein Patient mit der Notwendigkeit einer Medikationserhöhung erfasst. Bei 2 Fällen blieb die Medikation konstant.

In der Untergruppe der pseudophaken Patienten ($n = 19$) ist der größte Anteil der Patienten mit einer konstanten Medikation zu verzeichnen. Mehr als die Hälfte benötigte postinterventionell dieselbe Anzahl an drucksenkenden AT (52,6 %, $n = 10$). Bei 42,1 % ($n = 8$) dieser Fälle sank die Anzahl. Ein Patient benötigte mehr AT.

Das arithmetische Mittel der AT-Anzahl unter allen diesen Patienten mit Kunstlinse lag präoperativ bei $3,6 \pm 0,8$, postoperativ bei $3,0 \pm 1,1$.

3.2.3 Visus

Für die Auswertung der Sehschärfe lagen Daten von 52 Patienten vor. Durch die Einbeziehung von Brüchen durch Metertafelangaben ergaben sich bei der Berechnung der arithmetischen Mittel auf zwei Nachkommastellen gerundete Visuswerte.

Vor dem Eingriff wurde im Mittel eine Sehschärfe von $0,57 \pm 0,27$ gemessen. Postinterventionell verbesserte sich diese um durchschnittlich $0,09 \pm 0,21$ auf $0,66 \pm 0,28$. Abbildung 24 verdeutlicht dies.

Diese Visusverbesserung um 0,09 ergab sich ebenfalls bei der separaten Betrachtung der Werte für GCS und PEX-Glaukom. Lediglich der präoperative Ausgangsvisus variierte dabei leicht.

Betrachtete man das Patientenkollektiv genauer, so war bei 53,8 % (n = 28) der 52 Patienten eine Visusverbesserung zu verzeichnen. Unter allen Verbesserungen lag der Durchschnitt dieser Zunahme bei 0,24.

Bei 8 der 28 Patienten mit einer verbesserten Sehfähigkeit könnte diese auf die simultane Durchführung einer Kataraktoperation zurückzuführen sein.

Zu einer allgemeinen Visusverschlechterung kam es bei 28,8 % (n = 15) der 52 Patientenfälle. Diese Abnahme betrug im Mittel 0,15. Davon waren zum Operationszeitpunkt 9 Patienten phak, 5 Patienten bereits pseudophak und 1 Patient im Zuge der Kombinationsoperation mit einer Kataraktextraktion gerade pseudophak geworden.

Bei 17,3 % (n = 9) war eine konstant bleibende Sehschärfe zu verzeichnen.

Nun werden die Untergruppen bzgl. des Linsenstatus zum Operationszeitpunkt genauer betrachtet:

Von den o. g. 52 Patientenfällen mit erfassten Daten zur Visusauswertung wurde in 12 Fällen die Kombinationsoperation mit simultaner Kataraktextraktion durchgeführt. Dabei stieg der Visus von durchschnittlich $0,54 \pm 0,23$ präoperativ auf $0,75 \pm 0,25$ postoperativ. Die Differenz lag mit durchschnittlich $0,21 \pm 0,20$ oberhalb derer von phaken oder pseudophaken Patienten. In 8 Fällen verbesserte sich dabei die Sehschärfe, in 3 Fällen blieb der Visus konstant, und in einem Fall reduzierte er sich um 0,1.

In der Untergruppe der phaken Patienten mit n = 22 stieg der Visus von präinterventionell $0,62 \pm 0,25$ um $0,03 \pm 0,22$ auf postinterventionell $0,65 \pm 0,29$.

Unter den pseudophaken Patienten mit HKL erhöhte sich die Sehschärfe von $0,54 \pm 0,31$ um $0,08 \pm 0,18$ auf $0,61 \pm 0,28$.

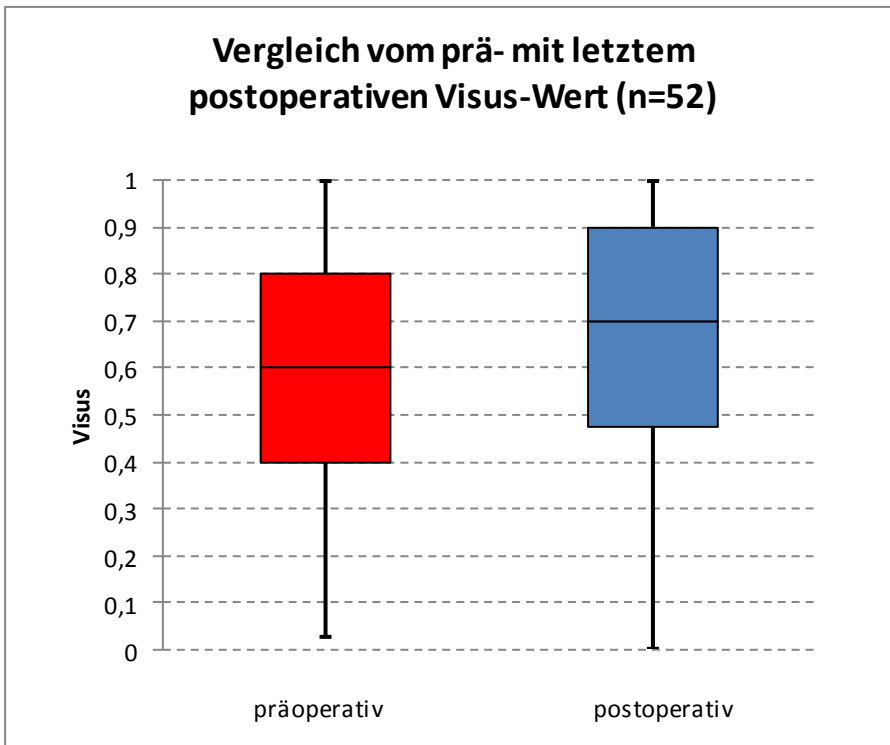


Abbildung 24: Box Plots zum Visusvergleich prä-/ postoperativ

3.3 Erfolgskriterien

Wie bereits in Kapitel 2.3.4 erwähnt, wurde im Folgenden nach 2 Varianten der Kombinationsmöglichkeiten der Erfolgskriterien ausgewertet.

Berücksichtigt wurde das gesamte Patientenkollektiv aus 71 Fällen. Der zuletzt erfasste IOD-Wert entstammte dem Zeitraum vom 5. - 1021. postoperativen Tag.

Variante I der Erfolgskriterien umfasst alle Fälle, bei denen folgende Bedingungen erfüllt worden sind:

- Postoperativer IOD ≤ 21 mmHg, **oder** Drucksenkung um mind. 20%, **oder** eine Reduktion der Anzahl drucksenkender AT um mind. 2
- **Zusätzlich** darf im postoperativen Verlauf keine weitere drucksenkende Operation notwendig geworden sein.

Diese Bedingungen wurden von 50 der 71 Patienten erfüllt. Dies entspricht einem Patientenanteil von 70,41 %. Dem entsprechend lag bei 21 Fällen (29,58 %) ein Misserfolg vor. Von diesen mussten 18 Patienten im weiteren Verlauf eine weitere drucksenkende Operation über sich ergehen lassen.

Die Untergruppenanalyse bzgl. der Diagnosen zeigte die höchste Erfolgsrate beim PEX-Glaukom: 10 von 11 Patienten (90,91%) erfüllten die o. g. Bedingungen. Nur ein Patient benötigte einen weiteren drucksenkenden Eingriff.

An zweiter Stelle folgten dann die GCS-Fälle. 67,86 % der 56 Patienten (n = 38) waren als Erfolg zu werten. Bei 18 Patienten (32,14 %) trafen die Erfolgskriterien nicht zu. Davon wurden 15 erneut operiert.

Am Pigmentdispersionsglaukom litten 3 Patienten. Nur bei einem (33,33 %) galt die Trabektom-OP hier als Erfolg.

Die Gruppierung bzgl. des Linsenstatus bzw. Kombinationsoperation mit Kataraktextraktion zeigte die meisten Erfolge in der Gruppe der Kombinationsoperation: Wenn Trabekulotomie *ab interno* und Kataraktextraktion mit HKL-Einsatz in einer Sitzung durchgeführt wurden (n = 14), war bei 11 Fällen ein Erfolg zu verzeichnen. Dies entspricht 78,57 % dieser Untergruppe. Zum Misserfolg kam es bei 21,43 % (n = 3). Von diesen kam es bei zweien zu drucksenkenden Operationen.

Die Gruppe der pseudophaken Patienten mit bereits vorhandener HKL hatten eine geringere Erfolgsrate zu verzeichnen. Von den 29 Fällen erfüllten 21 (72,41 %) die Erfolgskriterien. Von den 8 Misserfolgen (27,59 %) wurden alle nochmals operiert.

Unter den phaken Patienten war die geringste Erfolgsquote unter den hier genannten Linsenstatus-Untergruppen zu verzeichnen. Sie lag hier bei 64,29 % (n = 18 Fälle).

Bei Variante II der Erfolgsdefinition muss folgende strengere Kriterienkombination erfüllt sein:

- Postoperativer IOD ≤ 21 mmHg **in Verbindung mit** einer Drucksenkung um mind. 20% **oder eine alleinige** Reduktion der Anzahl drucksenkender AT um mind. 2
- **Zusätzlich** darf jeweils im postoperativen Verlauf keine weitere drucksenkende Operation notwendig geworden sein.

Im gesamten Patientenkollektiv mit 71 Fällen war mit diesen verschärften Erfolgskriterien der Anteil der Misserfolge höher als der der Erfolge. 36 Patienten (50,70 %) erfüllten die Bedingungen nicht, 35 Fälle (49,30 %) konnten Erfolg verbuchen.

Bei separater Betrachtung der Diagnosetypen schnitt das PEX-Glaukom auch hier am besten ab. Mit 8 von 11 Fällen (72,73 %) lag die Erfolgsrate deutlich über den Misserfolgen.

Beim GCS gewann hier wieder die Misserfolgsrate die Oberhand. Während 31 Patienten (55,36 %) die Erfolgskriterien nicht erfüllen konnten, gelang dieses nur in 25 Fällen (44,64 %).

Die 3 verzeichneten Fälle des Pigmentdispersionglaukoms spiegeln hier das exakt gleiche Ergebnis wie unter Variante I wieder.

Die Untergruppenanalyse bzgl. des Linsenstatus zeigt hier eine andere Rangliste als unter Variante I. Lediglich die Gruppe der phaken Patienten konnte mit 53,57 % (15 von 28 Fällen) ein Überwiegen des Erfolgs erreichen.

Unter den Kombinationsoperationen mit simultaner Kataraktextraktion errechnete sich mit 7 zu 7 (50 % zu 50 %) ein Gleichstand bzgl. Erfolg und Misserfolg.

Mit einer Misserfolgsrate von 55,17 % (n=16) unter den pseudophaken Fällen mit HKL (n = 29) lag die Misserfolgsrate oberhalb der Erfolgsrate von entsprechend 44,83 % (n = 13).

4 DISKUSSION

4.1 Vergleich der Studienergebnisse mit der Literatur bzgl. des intraokularen Drucks

4.1.1 Gesamtes Patientenkollektiv

In dieser retrospektiven Studie wurde die Effektivität der Trabekulotomie *ab interno* mittels Trabektom als minimal invasive Operationsmethode untersucht. Eines der Kriterien zur Beurteilung dieser Effektivität war die dauerhafte Senkung des intraokularen Drucks. Beim Vergleich des prä- mit dem aktuellsten postoperativen Messwert wurde hier eine Druckreduktion um 21,42 % von durchschnittlich $22,42 \pm 5,06$ mmHg auf $17,62 \pm 4,86$ mmHg ermittelt (n = 54). Der postoperative Beobachtungszeitraum schwankte hierbei zwischen 90 und 1021 Tagen. Das postoperative Outcome für Patienten mit GCS separat betrachtet war annähernd identisch. Unter PEX-Patienten (n = 8) schien die Intervention effektiver zu sein. Der Druck sank im Mittel um 29,66 %.

Bei genauerer Betrachtung der Messwerte aller 71 erfassten Fälle im zeitlichen Verlauf ab dem 4. postoperativen Tag lag der präoperative IOD bei durchschnittlich $22,99 \pm 5,00$ mmHg. Innerhalb des ersten postoperativen Jahres sank der IOD um mehr als 20 % auf im Mittel 17,51 mmHg im 1. Quartal, 17,02 mmHg im 2. Quartal, 16,58 mmHg im 3. Quartal und 15,98 mmHg im 4. Quartal. Auch hier war die Überlegenheit der Operation bei PEX-Patienten gegenüber GCS zu erkennen.

Während im ersten postoperativen Jahr die Druckreduktion bei den PEX-Fällen (n = 11) zwischen 27,35 % - 38,22 % lag, betrug diese bei den GCS-Fällen (n = 56) 18,17 % - 23,13 % bei einem um 1,51 mmHg niedrigeren präoperativen Ausgangswert.

Die ersten Ergebnisse zum Operationserfolg des Trabektoms wurden 2005 von Minckler und seinem Team veröffentlicht, welcher auch kommerzielle Beziehungen zur Herstellerfirma NeoMedix™ hat. In der prospektiven Pilotstudie wurden Werte von 37 erwachsenen Patienten ausgewertet. Die Datenerhebung erfolgte in Tijuana, Mexiko, im Zeitraum vom 30. März 2003 bis 16. Juli 2004. Unter diesen 37 Fällen lag 26 Mal die Diagnose GCS vor, 8 Mal PEX-Glaukom, 2 Mal Pigmentdispersionsglaukom und einmal ein Sekundärglaukom durch Steroidgabe.

Die Auswertung erfolgte für die gesamte Stichprobe gemeinsam. Der postoperative Beobachtungszeitraum betrug max. 13 Monate.

Der präoperative IOD lag in 3 Fällen bei $28,2 \pm 4,4$ mmHg nach einer einwöchigen Karenz gegenüber topischen Antiglaukomatosa, und in 34 Fällen bei $22,6 \pm 4,7$ mmHg unter kontinuierlicher Applikation topischer Antiglaukomatosa. Postoperativ wurde im Mittel ein IOD von $16,7 \pm 3,8$ mmHg ermittelt. Betrachtet man die Druckwerte im zeitlichen Verlauf, so betragen diese im 3. postoperativen Monat $17,9 \pm 4,1$ mmHg (n = 25), im 6. Monat $17,4 \pm 3,5$ mmHg (n = 25), im 9. Monat $15,1 \pm 1,7$ mmHg (n = 14) und im 12. Monat $16,3 \pm 2,0$ mmHg (n = 15) (Minckler et al. 2005).

Da in dieser Studie hier vor und nach der operativen Intervention drucksenkende Augentropfen appliziert werden konnten, richtet sich das Augenmerk beim Vergleich dieser Ergebnisse mit denen aus dem Jahre 2005 auf das Patientenkollektiv aus 34 Fällen. Unter diesen war eine IOD-Abnahme von 26,1 % zu verzeichnen.

Sowohl die prozentuale Druckabnahme, als auch die absoluten Mittelwerte der Quartale des ersten postoperativen Jahres dieser Studie und der Pilotstudie von Minckler liegen im ähnlichen Bereich.

Im Jahre 2006 wurde die Studie von Minckler und seinem Team fortgeführt. Zu den 2005 erfassten Patientenfällen wurden 64 Fälle neu aufgenommen. Das Patientenkollektiv aus 101 Fällen entstammte Daten aus Mexiko und den USA. Während präinterventionell ein mittlerer IOD von $27,6 \pm 7,2$ mmHg ermittelt wurde, lag dieser im Durchschnitt über den gesamten postinterventionellen Beobachtungszeitraum von 30 Monaten bei $16,9 \pm 3,7$ mmHg. Der Druckabfall betrug somit rund 40 % (Minckler et al. 2006).

Verglichen mit dieser Studie erscheint der Druckabfall von Minckler 2006 deutlich stärker. Dieser erklärt sich durch den höheren Ausgangsinnendruck. Der postoperativ erreichte Zieldruck von ca. 16,9 mmHg liegt mit dem in dieser Studie errechneten durchschnittlichen IOD von 17,62 mmHg wiederum im annähernd gleichen Bereich.

Die letzte, retrospektive Anschlussstudie wurde 2008 von Minckler veröffentlicht. Mit 1127 erfassten Operationen handelte es sich um den größten Datenpool. Von den bereits 2005 37 erfassten Patienten waren bis zum Jahre 2008 3 Patienten verstorben. Für das gesamte Kollektiv wurde nach 24 Monaten ein durchschnittlicher

Druckabfall von 30,7 % beobachtet. Während vor der Trabekulotomie *ab interno* der IOD bei $23,8 \pm 7,7$ mmHg betrug, so lag er danach bei $16,5 \pm 4,0$ mmHg nach 2 Jahren ($n = 50$) (Minckler et al. 2008).

Auch diese Zielwerte gleichen sich mit den oben beschriebenen Studien- und Literaturergebnissen. Langfristig pendelt sich der IOD im mittleren Zehnerbereich ein.

Während die bisher erwähnte Literatur Ergebnisse aus Mexiko und Nordamerika widerspiegelte, wurde 2013 der erste Bericht über Daten aus Japan veröffentlicht. Insgesamt wurden dort 80 Augen von 69 Patienten mittels Trabektom operiert. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich von 1 Woche bis 23 Monate nach dem Eingriff und lag im Mittel bei $8,4 \pm 5,5$ Monaten. Der IOD sank von $26,6 \pm 8,1$ mmHg nach 6 Monaten um 28,7 % auf $17,4 \pm 3,4$, und nach 12 Monaten um 30,9 % auf $17,9 \pm 6,1$ mmHg. Die durchschnittliche Reduktion des IOD betrug 34,6 % auf 17,4 mmHg. Es ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Druckwerten vor und nach der Intervention (Maeda et al. 2013). Der prozentuale Abfall ist zwar stärker als in dieser Studie berechnet, doch der erreichte Ziel-IOD entspricht den o. g. Werten.

Zusätzlich wurde in dieser japanischen Studie die korneale Endothelzelldichte vor und nach dem Einsatz des Trabektoms untersucht. Dabei war aber kein signifikanter Unterschied durch die Intervention zu verzeichnen. Die Zellkonfiguration der Kornea schien demnach nicht verändert worden zu sein (Maeda et al. 2013).

Bei all diesen Studien, wie auch in unserer Studie hier, kam es postoperativ zu einem erreichten durchschnittlichen Druckwert im mittleren Zehnerbereich.

4.1.2 Vergleich zwischen der alleinigen Trabekulotomie *ab interno* und der Kombination mit Kataraktextraktion und Implantation einer Hinterkammerlinse

In dieser Studie ist durch die Kombinationsoperation eine stärkere IOD-Reduktion erzielt worden, als durch die Trabektom-OP allein. Vergleichbare Daten lagen über die ersten 18 postoperativen Monate vor. Erfasst wurden 14 Fälle. Präoperativ wurde ein durchschnittlicher IOD von $22,06 \pm 4,39$ mmHg berechnet. Im ersten postprozeduralen Jahr reduzierte sich dieser im Mittel um $27,72 \% \pm 0,06 \%$

(Spannbreite der prozentualen Reduktion 21,28 % - 34,83 %) auf durchschnittlich $15,22 \pm 1,52$ mmHg, im zweiten Jahr um durchschnittlich $26,43 \% \pm 0,14 \%$ (Spannbreite 16,86 % - 36 %) auf $16,25 \pm 0,35$ mmHg. Der detaillierte zeitliche Verlauf der postoperativen IOD-Entwicklung ist in Kap. 3.1.1 in Tabelle 6 dargestellt. Alleinige Trabektom-OPs ($n = 57$) erzielten eine IOD-Reduktion von präoperativ durchschnittlich $23,21 \pm 5,15$ mmHg um $21,39 \% \pm 0,02 \%$ (Spannbreite 19,71 % - 24,95 %) auf $17,25 \pm 0,44$ mmHg im ersten postinterventionellen Jahr. Im zweiten Jahr reduzierte sich der Druck im Mittel um $17,67 \% \pm 0,05 \%$ (Spannbreite 12,59 % - 23,23 %) auf durchschnittlich $18,35 \pm 1,69$ mmHg.

Die durchschnittlichen IODs der 4 Quartale des ersten postoperativen Jahres lagen in der Untergruppe der Kombinationsoperationen stets unterhalb derer der alleinigen Trabektom-OPs.

In der Ergebnisdarstellung der Anschlussstudie von Minckler et al. 2008 wurden diese beiden Kollektive ebenfalls separat voneinander betrachtet.

Dort unterzogen sich 738 Patienten einer alleinigen Trabekulotomie *ab interno*. Der präoperative IOD lag bei $25,7 \pm 7,7$ mmHg. Der postoperative Beobachtungszeitraum erstreckte sich über 60 Monate. Im Mittel über diese gesamte Zeitspanne war mit einem Druck von $16,4 \pm 4,5$ mmHg eine IOD-Reduktion von rund $35 \pm 4 \%$ zu verzeichnen. Um die Werte mit denen dieser Studie hier genauer vergleichen zu können wird der Verlauf von Minckler detaillierter dargestellt. Nach 6 Monaten ($n = 260$) postoperativ betrug der IOD-Abfall 31 % auf rund $16,5 \pm 4,2$ mmHg. Nach dem ersten Jahr ($n = 102$) wurde der Mittelwert von $16,1 \pm 3,0$ mmHg ermittelt (-37 %). Durchschnittlich 40 % Drucksenkung wurden sowohl nach 18 Monaten mit absolut $16,1 \pm 2,9$ mmHg ($n = 67$) und nach 24 Monaten mit absolut $6,6 \pm 4,0$ mmHg ($n = 46$) ermittelt.

366 Patienten erhielten die Trabekulotomie *ab interno* mit Kataraktextraktion und HKL-Implantation in einer Sitzung. Der intraokulare Druck sank dabei von $20,0 \pm 6,2$ mmHg um $20 \pm 7 \%$ auf $15,5 \pm 4,0$ mmHg innerhalb eines Zeitraums von 30 Monaten. Nach einem halben Jahr lag der IOD bei $14,8 \pm 3,2$ mmHg (-21 %, $n = 143$), nach dem ersten Jahr bei $15,9 \pm 3,3$ mmHg (-18 %, $n = 45$), nach 18 Monaten $15,8 \pm 3,2$ mmHg (-19 %, $n = 20$) und $14,9 \pm 3,1$ mmHg nach insgesamt 2 Jahren (-30 %, $n = 4$) (Minckler et al. 2008).

Im Gegensatz zu unserer Studie war bei Minckler demnach die alleinige Trabektom-OP effektiver. Der prozentuale Druckabfall war deutlich größer als bei der Kombinationsoperation. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass der präoperative Ausgangswert deutlich höher lag. Bei annähernd gleich erreichtem Zieldruck beider Verfahren erklärt sich damit der stärkere prozentuale Abfall.

Das Operationsverfahren aus kombinierter Kataraktextraktion und Trabekulotomie *ab interno* wurde von Francis et al. 2008 in einer prospektiven Studie bei 304 aufeinander folgenden Operationsfällen mit der Diagnose Offenwinkelglaukom und Katarakt 21 Monate lang begutachtet. Auch Francis ist mit der Herstellerfirma NeoMedix™ geschäftlich verbunden. Die dort erfassten Ergebnisse decken sich mit denen der bisher erwähnten Literatur. Von einem Ausgangsdruckwert von durchschnittlich $20,0 \pm 6,3$ mmHg wurde nach 12 Monaten ein Wert von $15,5 \pm 2,9$ mmHg, und nach 21 Monaten ein Wert von $16,7 \pm 3,5$ mmHg erzielt. Vergleicht man diesen Jahreswert mit dem aus der hier durchgeführten aktuellen Studie, so gleichen sich die Bereiche.

Francis bestätigte, dass der langfristig erreichte Ziel-IOD im mittleren Zehnerbereich (ca. 14-16 mmHg) zu liegen kommt. Bei einem stark erhöhten präoperativen IOD sei die postoperative Druckreduktion statistisch signifikant größer als bei einem eher leicht erhöhten Ausgangswert. Hierbei wiederum sei zwar der IOD-Abfall statistisch signifikant kleiner, weise aber dafür eine deutlich größere Abnahme von Antiglaukomatosa auf (Francis et al. 2008).

Die genauere Betrachtung der Notwendigkeit drucksenkender Augentropfen erfolgt in Kapitel 4.2.

In der in Kapitel 4.1.3 detaillierter beschriebenen Studie von Jordan und seinem Team 2013 zeigte sich eine statistisch signifikante Überlegenheit der Kombinationsoperation im Vergleich zur alleinigen Trabektom-OP in phaken oder pseudophaken Augen (Jordan et al. 2013).

Diese beschriebene und auch durch diese Studie gefundene Überlegenheit einer Kombinationsoperation aus Trabekulotomie *ab interno* mit Phakoemulsifikation und HKL-Implantation im Hinblick auf die Reduktion des intraokularen Drucks könnte an dem drucksenkenden Einfluss der Kataraktoperation an sich liegen. Im Jahre 2000

untersuchten Hayashi et al. in einer komparativen, nicht randomisierten Fall-Kontroll-Studie den Einfluss einer Phakoemulsifikation mit Implantation einer Acryl-Linse auf die Weite und Tiefe der Vorderkammer. Beobachtet wurden Werte von 77 Patienten mit Engwinkelglaukom, 73 Patienten mit Offenwinkelglaukom und 74 Fällen ohne vorherige Glaukomerkrankung. In allen drei Gruppen war eine statistisch signifikante Vergrößerung der Kammerwinkelweite und Vorderkammertiefe zu verzeichnen. In der Gruppe der Offenwinkelglaukome lag präoperativ die mittlere Weite bei $27,9^\circ \pm 5,0^\circ$, die Vorderkammertiefe bei durchschnittlich $2,8 \pm 0,45$ mm. Mittels Kataraktoperation weitete sich der Kammerwinkel um ca. 10° . Nach 12 Monaten wies dieser eine Größe von $38,1 \pm 5,0^\circ$ und eine Tiefe von $4,31 \pm 0,38$ mm auf.

Der ebenfalls erfasste IOD wurde in den Glaukomaugen durch die Kataraktextraktion signifikant reduziert. Postoperativ lag der durchschnittliche IOD dann im selben Bereich wie der Druck der Kontrollgruppe ohne Glaukomerkrankung. Die erzielten Veränderungen blieben postoperativ ohne signifikante Schwankungen bestehen (Hayashi et al. 2000).

Durch die Erweiterung von Vorderkammer und Kammerwinkel wurde wahrscheinlich der Abfluss des Kammerwassers von der Vorderkammer in Richtung Schlemmkanal erleichtert und der IOD damit langfristig gesenkt.

Poley et al. untersuchten 2009 im speziellen den Langzeiteffekt der Phakoemulsifikation mit IOL-Implantation auf den IOD in glaukomatösen und nicht-glaukomatösen Augen in einer retrospektiven Studie. Dort war unter allen erfassten Fällen im Durchschnitt eine Reduktion des IOD um 17 % zu verzeichnen. Das Ausmaß dieser Reduktion verhielt sich proportional zum präoperativ ermittelten IOD. Das bedeutet, dass die Gruppe der Patienten mit dem höchsten IOD auch die höchste IOD-Senkung zu verzeichnen hatte. Diese betrug in dieser Untergruppe absolut 8,5 mmHg, entsprechend 34 %. Die nach rund einem Jahr erzielte statistisch signifikante IOD-Reduktion konnte bis zur Abschlussuntersuchung, welche bei bis zu 10 Jahren postoperativ lag, aufrechterhalten werden (Poley et al. 2009).

Diese Erkenntnis konnte im Jahre 2012 von Mansberger et al. in einer komparativen Fall-Kontroll-Studie schließlich bestätigt werden. Dort betrug die statistisch signifikante IOD-Reduktion, hervorgerufen durch Kataraktextraktion, im Durchschnitt

16,5 %. Auch dort war das Ausmaß der IOD-Abnahme proportional zum präoperativen IOD (Mansberger et al. 2012).

Laut Bussel et al. senkt die Phakoemulsifikation an sich den intraokularen Druck absolut um einen Betrag zwischen 1,5 – 3 mmHg (Bussel et al. 2014).

Diese Literaturangaben bestätigen somit einen drucksenkenden Effekt der Kataraktoperation und können eine Erklärung für die in dieser Studie ermittelte Überlegenheit der Kombinationsoperation in punkto Drucksenkung sein.

4.1.3 Vergleich zwischen GCS und PEX-Glaukom

Jordan et al. haben 2013 die Effektivität und Komplikationsrate der Operation mittels Trabektom verschiedener Glaukomtypen verglichen. Insgesamt standen Daten von 557 Operationen 487 Patienten zur Auswertung der prospektiven nichtrandomisierten Studie zur Verfügung. Aufgrund der Stichprobengröße der einzelnen Diagnosegruppen wurde das Hauptaugenmerk auf Patienten mit primärem Offenwinkelglaukom (GCS) und Pseudoexfoliationsglaukom gelegt. Dabei zeigte sich unter den Patienten mit GCS ($n = 261$) eine Druckreduktion um 24,8 % von $24,2 \pm 5,5$ mmHg auf $18,2 \pm 6,1$ mmHg nach einer mittleren Beobachtungsdauer von 204 ± 238 Tagen. In der Gruppe des PEX-Glaukoms mit $n = 173$ wurde eine IOD-Senkung von 29,6 % von $25,0 \pm 5,9$ mmHg auf $17,6 \pm 8,2$ mmHg nach einem Zeitraum von 200 ± 278 Tagen verzeichnet (Jordan et al. 2013).

Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit den in dieser Studie wiedergegebenen Daten. Es wird die Überlegenheit dieses Operationsverfahrens bei PEX-Glaukom-Patienten bestätigt. In beiden Studien lag hierbei die Druckreduktion fast 5 % höher als beim GCS.

Ting et al. verglichen 2012 in einer prospektiven, nichtrandomisierten Kohortenstudie die Operationsergebnisse von Augen mit der Diagnose GCS und PEX-Glaukom. In beiden Diagnosegruppen wurde zudem nach der Operationsmethode der alleinigen Trabekulotomie *ab interno* und der Kombinationsoperation weiter unterschieden.

Die Daten für die Verlaufsbeobachtung entstammten der Zentraldatenbank der Trabektomstudiengruppe. Diese Datenbank erhält ihre Informationen durch die Übermittlung von Verlaufsdaten der ersten 20 operierten Fälle eines jeden neuen Chirurgen an die Firma NeoMedix™.

Für die Diagnosegruppe GCS standen Daten von 450 Fällen mit alleiniger Trabekulotomie und von 263 Fällen mit der Kombinationsoperation mit Kataraktextraktion und Kunstlinsenimplantation zur Verfügung. Innerhalb von 12 Monaten war, entsprechend dieser Untergruppen, eine Reduktion des IOD von $25,5 \pm 7,9$ mmHg um 34 % auf $16,8 \pm 3,9$ mmHg ($n = 293$) bei der Trabekulotomie *ab interno* bzw. von $19,9 \pm 5,4$ mmHg um 22 % auf $15,6 \pm 3,2$ mmHg ($n = 247$) bei Kombinationsoperationen zu verzeichnen.

In der Diagnosegruppe PEX-Glaukom reduzierte sich in der Untergruppe der alleinigen Trabektom-OPs ($n = 67$) der Augeninnendruck von $29,0 \pm 7,5$ mmHg um 44,48 % auf $16,1 \pm 4,0$ mmHg ($n = 53$) nach dem ersten Jahr. Der präoperative Wert lag hier signifikant höher als in der Gruppe der GCS.

Unter den 45 Fällen der kombinierten Operation mit PEX-Glaukom sank der Druck von $21,7 \pm 8,4$ mmHg um 34,56 % auf $14,2 \pm 3,1$ mmHg ($n = 42$).

Zusammenfassend war die Drucksenkung hier bei beiden Gruppen (Trabektom allein vs. kombinierte Operationsmethode) beim PEX-Glaukom signifikant höher als beim GCS zu allen postoperativen zeitlichen Messpunkten (ausgenommen Tag 1 postoperativ).

Der Ort der Abflussblockade liege beim PEX im Trabekelwerk und werde mittels Trabektom somit sicher entfernt. In dieser Diagnosegruppe sei der Vergleich zwischen Trabektom-OP allein und kombiniertem Operationsverfahren schwierig aufgrund der recht weit auseinander liegenden präoperativen Ausgangsdruckwerte (Ting et al. 2012).

Alles in allem wurde auch hier ein intraokularer Druck um 15 mmHg wieder erreicht.

Die Ergebnisse von Ting und ihrem Team stehen in Übereinstimmung mit denen in dieser Studie eruierten Werte.

4.2 Vergleich der Studienergebnisse mit der Literatur bzgl. der Anwendung drucksenkender Medikamente

4.2.1 Gesamtes Patientenkollektiv

Ein weiteres Beurteilungskriterium der Effektivität der Trabekulotomie *ab interno* mit dem Trabektom in dieser Studie war die Anzahl von Wirkstoffgruppen drucksenkender Augentropfen.

Im Vergleich zwischen präoperativem Ausgangswert und zuletzt erfasstem postoperativen Wert wurde eine Abnahme der Anzahl topischer Antiglaukomatosa von durchschnittlich $3,5 \pm 0,9$ auf $2,6 \pm 1,2$ erfasst ($n = 56$). Die postoperative Beobachtung erstreckte sich wiederum auf den Zeitraum von 90 bis 1021 Tagen.

Eine allgemeine Augentropfenreduktion wurde bei 59,3 % des Patientenkollektivs erreicht. Bei 37 % blieb die AT-Applikation unverändert, und bei 3,7 % stieg die Anzahl an.

Betrachtet man die AT-Anzahl genauer im zeitlichen Verlauf, so sank diese Zahl von $3,44 \pm 0,84$ ($n = 71$) auf $2,92 \pm 0,92$ nach einem Jahr ($n = 19$) und auf $2,4 \pm 0,49$ nach zwei Jahren ($n = 4$).

In der Pilotstudie von Minckler et al. 2005 lagen bei 34 der 37 erfassten Patientenfälle Daten bzgl. der Applikation lokaler Antiglaukomatosa vor. Deren Anzahl sank von durchschnittlich 1,2 auf 0,4 nach 6 Monaten ($n = 25$), und auf 0,1 nach 12 Monaten ($n=15$). Bei 3 Patienten wurde vor dem Eingriff auf AT aufgrund von Unverträglichkeiten verzichtet. Detailliertere Analysen bzgl. der AT-Anzahl waren in dieser Pilotstudie nicht erfolgt. Verglichen mit dem entsprechenden Jahreswert dieser aktuellen Studie schien die Reduktion bei Minckler größer zu sein (Minckler et al. 2005).

In der darauf folgenden Anschlussstudie von Minckler et al. 2006 wurde die Notwendigkeit drucksenkender Augentropfen nicht untersucht.

Erst 2008 erfolgte in der letzten Anschlussstudie eine Analyse der Anzahl der topisch applizierten Antiglaukomatosa. Insgesamt reduzierte sie sich von ursprünglich 2,8 auf 1,2 nach 24 Monaten (Minckler et al. 2008).

Diese Reduktion ist um ca. 0,6 AT größer als der in dieser Studie im entsprechenden Zeitraum ermittelte Wert.

4.2.2 Vergleich zwischen Trabekulotomie *ab interno* allein und der Kombinationsoperation mit Phakoemulsifikation und Kunstlinsenimplantation

Die Untergruppe der alleinigen Trabekulotomie bei phaken Patienten (n = 23) erbrachte im Vergleich zur Gruppe der pseudophaken Patientengruppe und der kombinierten Operationsmethode die stärkste Reduktion der notwendigen topischen Antiglaukomatosa. Die AT-Anzahl sank von durchschnittlich $3,8 \pm 0,6$ auf $2,7 \pm 1,1$ AT.

Unter dem Patientenkollektiv der Kombinationsoperationen befand sich mit 75 % der größte Patientenanteil mit einer generellen Tropfenreduktion.

In der Anschlussstudie von Minckler et al. 2008 wurde zwischen den Untergruppen der alleinigen Trabekulotomie und dem Kombinationsverfahren bzgl. der notwendigen Anzahl drucksenkender AT zur Kontrolle des IOD kein bedeutsamer Unterschied nachgewiesen. Während vor dem Eingriff im Mittel $2,93 \pm 1,28$ AT verordnet wurden, waren es danach im Durchschnitt $1,8 \pm 1,4$ bzw. $1,7 \pm 1,5$ AT. Eine Überlegenheit eines der beiden Vorgehensweisen bei der Operation konnte somit nicht bestätigt werden.

In der ebenfalls 2008 veröffentlichten Studie von Francis und seinem Team wurde die Anzahl topischer Antiglaukomatosa ausschließlich beim kombinierten Operationsverfahren mit simultaner Kataraktextraktion dargestellt. Vor dem Eingriff waren durchschnittlich $2,65 \pm 1,13$ AT notwendig (n = 304). Nach 6 Monaten postoperativ waren es nur noch $1,76 \pm 1,25$ AT bei n = 106, nach 12 Monaten $1,44 \pm 1,29$ AT bei n = 34 (Francis et al. 2008).

In unserer Kombinationsoperationsgruppe entspricht der präoperative Ausgangswert mit durchschnittlich 2,7 dem in der Francis Studie ermittelten Wert. Auch die erhobenen Daten mit 1,8 AT in unserer Studie und 1,76 bei Francis gleichen sich. Die fortlaufende Abnahme der AT im zweiten Jahr bei Francis übertrifft die Ergebnisse dieser Studie, wobei zum jeweiligen Zeitpunkt das Patientenkollektiv hier kleiner ausfiel.

Francis fand heraus, dass bei einem eher leicht erhöhten präoperativen Ausgangsdruckwert zwar die IOD-Reduktion statistisch signifikant kleiner ist, aber

eine stärkere Medikamentenabnahme zu verzeichnen sei, als bei sehr hohen präoperativen IOD-Werten (Francis et al. 2008).

Alles in allem reduziert sich die Anzahl lokaler Antiglaukomatosa bei Einzel- und auch Kombinationsoperationen um ca. eine Wirkstoffgruppe.

4.2.3 Vergleich zwischen GCS und PEX-Glaukom

Wie beim intraokularen Druck konnte in dieser Studie auch in punkto Anzahl drucksenkender AT bei Patienten mit PEX-Glaukom eine stärkere Reduktion verzeichnet werden als bei GCS. Im Vergleich des prä- mit letztem postoperativem Wert kam es beim PEX-Glaukom zu einer Abnahme von durchschnittlich $3,6 \pm 0,9$ auf $2,3 \pm 1,4$ AT ($n = 8$), beim GCS von $3,4 \pm 0,9$ auf $2,7 \pm 1,2$ AT ($n = 45$). Die Reduktion fällt beim PEX-Glaukom demnach um durchschnittlich 0,5 AT größer aus.

Diese Überlegenheit der Operation beim PEX-Glaukom bestätigten auch Ting et al. 2012. In der Untergruppe der Trabekulotomie *ab interno* allein wurde eine statistisch signifikant höhere Abnahme drucksenkender Augentropfen bei PEX-Patienten festgestellt. Im Genaueren fiel die AT-Anzahl von $3,09 \pm 1,15$ auf $2,24 \pm 1,36$ nach 6 Monaten, und auf $2,21 \pm 1,38$ nach 12 Monaten. Während bei Patienten mit GCS vor dem Eingriff $2,73 \pm 1,33$ AT verabreicht wurden, waren es nach 6 Monaten $2,14 \pm 1,34$, und nach 12 Monaten $2,16 \pm 1,29$. Die prozentuale Reduktion der topischen Antiglaukomatosa war demnach beim PEX-Glaukom um ca. 6 % höher, entsprechend einer absoluten Zahl von ca. 0,3 AT.

In dieser hier durchgeführten aktuellen Studie war die Reduktion der AT-Anzahl unter den PEX-Patienten größer als in der Studie von Ting et al..

4.3 Vergleich der Erfolgskriterien dieser Studie mit Kriterien anderer Literatur

In dieser Studie wurden zwei Varianten von Erfolgsdefinitionen dargestellt. Die genaue Definition der zu erfüllenden Kriterien beider Varianten wurde in Kapitel 2.3.4 und 3.3 bereits ausführlich beschrieben. Der Unterschied bestand in folgendem Punkt: Während in Variante I der postoperative IOD ≤ 21 mmHg oder eine

Drucksenkung um mind. 20 % zutraf, so mussten für Variante II diese beiden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein.

Unter den Voraussetzungen von Variante I betrug die Erfolgsquote 70,41 %. Die Untergruppenanalyse der Diagnosen zeigte die höchste Erfolgsrate beim PEX-Glaukom. Bzgl. des Linsenstatus war bei der Kombinationsoperation mit simultaner Phakoemulsifikation und Kunstlinsenimplantation mit 78,57 % der größte Erfolg zu verzeichnen.

Unter den Bedingungen von Variante II lag die Erfolgsquote bei lediglich 49,3 %. Der größte Erfolg fand sich auch hier unter den PEX-Patienten mit 72,73 % und den zum Operationszeitpunkt phaken Patienten mit 53,57 %.

In der Literatur wurden erst 2006 von Minckler et al. Erfolgskriterien definiert. Allgemeiner Erfolg wurde dort als $IOD \leq 21$ mmHg mit oder ohne Applikation topischer Antiglaukomatosa in Verbindung mit der fehlenden Notwendigkeit weiterer drucksenkender Operationen beschrieben. Darunter lag die Erfolgsquote bei 84 %. Zum Fehlschlag von 16 % führte dabei in 9 Fällen die Notwendigkeit einer zusätzlichen Trabekulektomie mit Mitomycin C, und in 7 Fällen ein $IOD > 21$ mmHg (Minckler et al. 2006).

Diese Erfolgskriterien waren „lockerer“ als in dieser Studie beschrieben. Dort wurde weder die prozentuale Drucksenkung noch die Anzahl drucksenkender Augentropfen erwähnt. Dies könnte den um 13,59 % höher berechneten Erfolg als in unserer Variante I erklären.

Zwei Jahre später verschärfen Minckler et al. ihre Definitionen von Erfolg und Misserfolg. Als Misserfolgsdefinition 1 galt: ein postoperativer $IOD > 21$ mmHg, und gleichzeitig <20 % Druckreduktion, oder eine weitere drucksenkende Operation. Die Erfolgskriterien waren entsprechend spiegelbildlich zu erschließen. Entsprechend einer graphischen Kaplan-Meier-Analyse ergab sich so eine Erfolgsquote von ca. 75 % nach 12 Monaten und ca. 70 % nach 24 Monaten für das gesamte Patientenkollektiv (Minckler et al. 2008, S.154).

Die Definition 2 von Misserfolg lautete wie folgt: ein postoperativer $IOD > 21$ mmHg, oder <20 % Druckreduktion, oder die Notwendigkeit weiterer drucksenkender Operationen. Laut der graphischen Kaplan-Meier-Analyse lag die Erfolgsquote

demnach bei ca. 50 % nach 1 Jahr und bei ca. 47 % nach 2 Jahren für das gesamte Patientenkollektiv (Minckler et al. 2008, S.157).

Die graphisch abgelesenen Erfolgsquoten für beide Definitionen entsprechen den in dieser aktuellen Studie erfassten Erfolgsquoten.

Des Weiteren fanden Minckler et al. in jener Studie heraus, dass der Großteil der drucksenkenden Folgeoperationen im ersten postoperativen Jahr stattfinden.

Zudem lag die Rate an zusätzlich notwendigen Operationen in der Gruppe der alleinigen Trabekulotomien *ab interno* mit 100 von 738 Fällen (14 %) höher als unter den Kombinationsoperationen mit simultaner Kataraktoperation. Dort waren in 12 von 366 Fällen (4 %) Folgeoperationen indiziert (Minckler et al. 2008).

Francis et al. definierten 2008 ihre Erfolgskriterien ähnlich zu den in dieser Studie als Variante I beschrieben. Im speziellen musste der IOD postoperativ um mind. 20 % abnehmen oder die Anzahl drucksenkender Augentropfen sinken und zudem durfte keine drucksenkende Folgeoperation stattfinden. Einziger Unterschied zu unserer Variante I ist das Fehlen einer absoluten Obergrenze des IOD postinterventionell. In jener Studie von Francis lag demnach die Erfolgsrate bei 78 % nach 6 Monaten und bei 64 % nach 12 Monaten (Francis et al. 2008).

Da in dieser Studie hier der Zeitraum der erfassten Daten zwischen dem 5. - 1021. Tag postoperativ schwanken, ist eine exakte zeitliche Gegenüberstellung mit Daten anderer Studien nicht exakt möglich. Im Allgemeinen liegt die hier ermittelte Erfolgsquote von 70,41 % vom gesamten Patientenkollektiv aber im annähernd gleichen Bereich wie die Rate in Francis` Studie.

2012 wurde von Ting et al. Erfolg ähnlich der hier beschriebenen Variante II definiert. Dort mussten folgende Bedingungen erfüllt sein: postoperativer IOD < 21 mmHg bei gleichzeitiger Drucksenkung um mind. 20 % bei 2 aufeinander folgenden Kontrollen nach 3 Monaten und keiner weiteren drucksenkenden Folgeoperation in der Zukunft. Zunächst wurden die Operationsfälle alleiniger Trabekulotomien *ab interno* ausgewertet. Dabei zeigte sich eine statistisch signifikant höhere Inzidenz von drucksenkenden Operationen bei Patienten mit GCS. Die Rate lag bei 34,9 %, beim PEX-Glaukom bei 20,9 %. Die kumulative 1-Jahres-Erfolgsrate war mit 79,1 % beim PEX-Glaukom statistisch signifikant höher als beim GCS (62,9 %).

Unter den Kombinationsoperationen aus Trabekulotomie *ab interno*, Kataraktextraktion und HKL-Implantation zeigte sich zwischen den Diagnosen PEX-Glaukom und GCS kein statistisch signifikanter Unterschied bzgl. der Inzidenz von drucksenkenden Folgeoperationen. Die Notwendigkeit von Folgeoperationen war generell seltener als unter den alleinigen Trabekulotomien. Auch die Erfolgsrate war dort größer. Ein signifikanter Unterschied zwischen der kumulativen 1-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit zwischen PEX-Glaukom (86,7 %) und GCS (91 %) wurde dabei nicht ermittelt (Ting et al. 2012).

Die Erfolgsquoten jener Studie waren höher als die in dieser Studie berechneten Werte. Unter den Bedingungen von Variante II wurde hier aktuell eine Erfolgsrate von 49,3 % für alle Patienten errechnet. Der Erfolg mit 72,73 % unter unseren PEX-Patienten ähnelt dem Wert der PEX-Patienten mit Durchführung einer alleinigen Trabektom-OP (79,1 %) in Tings Studie. Die PEX-Patienten mit Durchführung einer Kombinationsoperation in Tings Studie erreichten mit Erfolgsquoten von 86,7% leicht höhere Raten.

4.4 Einfluss auf nachfolgende drucksenkende Operationen

Ob und in welcher Weise sich eine fehlgeschlagene Operation mittels Trabektom auf nachfolgende drucksenkende Eingriffe auswirkt, wurde von Jea et al. 2012 untersucht. In jener retrospektiven Kohortenstudie sollte speziell der Effekt auf folgende Trabekulektomien (TBE) mit Verwendung eines antifibrotisch wirkenden Agens, meist Mitomycin C, beurteilt werden. Die benötigten Daten entstammten medizinischen Akten aus dem Zeitraum von Februar 2006 bis Oktober 2008. Die Studiengruppe, bestehend aus 34 Patienten, erhielt Trabekulektomien nach fehlgeschlagenen Trabektom-OPs. Der durchschnittliche postoperative Beobachtungszeitraum lag hier bei $15,4 \pm 9,8$ Monaten. Das mittlere Intervall zwischen dem Eingriff mittels Trabektom und der Trabekulektomie betrug 4,9 Monate.

In der zu vergleichenden Kontrollgruppe, bestehend aus 42 Patienten, waren Fälle mit einer Trabekulektomie ohne Trabektom-Voroperation und einer durchschnittlichen postinterventionellen Beobachtungszeit von $18,6 \pm 10,4$ Monaten enthalten.

Die Quintessenz jener Studie war, dass eine fehlgeschlagene Trabekulotomie *ab interno* mittels Trabektom nicht zu einem erhöhten Risiko für einen Fehlschlag der folgenden Trabekulektomie führt.

Genauer untersucht wurde dabei u. a. der Operationsablauf und die perioperative Versorgung der TBE: Sowohl die Einwirkzeit von Mitomycin C als auch der Zeitpunkt der Nahtlösung postoperativ blieben von vorherigen Trabektom-OPs unbeeinflusst.

Die Begutachtung des postoperativen IOD erbrachte keinen signifikanten Unterschied zwischen der Studien- und Kontrollgruppe zu jedem erfassten Zeitpunkt. Auch die Erfolgsrate beider Gruppen ähnelte sich. Ein statistisch signifikanter Unterschied lag nicht vor. Ebenso verhielt es sich mit der Komplikationsrate. In der Studiengruppe wurde ein Hyphema als postoperative Komplikation mit 20,6 % häufiger beobachtet als in der Kontrollgruppe (7,1 %). Dieser Unterschied war allerdings nicht statistisch signifikant. Das vorliegende Hyphema war zudem von minimaler Ausprägung, zeigte keinen Einfluss auf den IOD und resorbierte sich innerhalb weniger Tage ohne jegliche Intervention.

Auch die Rate zusätzlicher chirurgischer Eingriffe beider Gruppen ähnelte sich.

Alles in allem kamen Jea et al. zu dem Schluss, dass die Trabekulotomie *ab interno* mittels Trabektom weder die Durchführung, noch das Erfolgsergebnis einer folgenden TBE beeinflusst. Das Trabektom lässt die Konjunktiva unangetastet und kann deshalb als erste Interventionsmöglichkeit zur operativen Drucksenkung in Betracht gezogen werden (Jea et al. 2012).

Auch Jordan et al. 2013 weisen auf die durch das Trabektom unveränderte Augenoberfläche hin. Dies sei besonders für Patienten nach einer perforierenden Keratoplastik oder mit immunologisch bedingten Augenoberflächenerkrankungen von Interesse (Jordan et al. 2013).

4.5 Einfluss der präoperativen Kammerwinkelweite auf das Operationsergebnis

Im Jahre 2014 untersuchten Bussel et al. in einer prospektiven Studie den Einfluss der präoperativen Kammerwinkeleinsicht auf das Outcome der Trabekulotomie *ab interno*. Die zur Auswertung zur Verfügung stehenden Daten entstammten der Datenbank der Trabektomstudie. Beobachtet wurden 671 Patienten über ein Jahr

hinweg. Verglichen wurden Operationsfälle mit einem initial engem Kammerwinkel, entsprechend Shaffer-Grade (SG) \leq II°, und Fälle mit offenem Kammerwinkel, also SG \geq III°. Beide Kategorien wurden wiederum in die Untergruppen der alleinigen Trabekulotomie *ab interno* und der Kombinationsoperation gegliedert. Die Auswertung ergab, dass bei diesen beiden Untergruppen zwischen einem engen und weiten Kammerwinkel kein signifikanter Unterschied bzgl. des IOD, der Anzahl drucksenkender Augentropfen, oder der Rate an nachfolgenden drucksenkenden Operationen zu verzeichnen war. Auch die Erfolgsrate, definiert als IOD $<$ 21 mmHg mit einer Drucksenkung von mind. 20 % und keiner weiteren drucksenkenden Operation, zeigte nach 12 Monaten Beobachtungszeit bei beiden Kammerwinkeltypen keinen signifikanten Unterschied.

Ein präoperativ enger Kammerwinkel (SG \leq II°) führte zu keinem schlechteren postoperativen Outcome und sei demnach keine Kontraindikation für eine Trabekulotomie *ab interno* mit dem Trabektom (Bussel et al. 2014).

Hier in dieser Studie galt eine präoperative Kammerwinkeleinsicht Shaffer-Grade 0°- I° als Ausschlusskriterium. Grund dafür war eine unzureichende Sicht auf das potentielle Operationsgebiet und der somit nicht gewährleistete, optimale Einsatz des Trabektoms.

Beim Vergleich des zuletzt erfassten IOD mit dem präoperativen Wert wurde bzgl. der Kammerwinkelweite bei Shaffer-Grade IV° (n = 25) eine um ca. 1 mmHg stärkere IOD-Reduktion verzeichnet, als bei SG III° (n = 10).

4.6 Mögliche Störfaktoren dieser Studie

Grundlage der Analyse topischer Antiglaukomatosa ist die Anamnese. Bei der Erhebung der Medikamentenanamnese wurde auf die Richtigkeit der Patientenangaben vertraut. Um offensichtlichen Unklarheiten vorzubeugen, wurde ggf. auf Aufzeichnungen des vorherigen Kontrolltermins, oder auf Medikamentenpläne niedergelassener Augenärzte zurückgegriffen.

Inwieweit die Patienten die Tropfen regelmäßig verwendeten konnte nicht kontrolliert werden.

Ein weiterer möglicher Störfaktor ist die limitierte Stichprobengröße bei den Untergruppenanalysen. Im zeitlichen Verlauf sank die Anzahl der in der entsprechenden Untergruppe erfassten Fälle. Bei der Darstellung entsprechender Ergebnisse ist daher die Stichprobengröße mit $n = \dots$ stets mit angegeben.

Bei der Untersuchung diverser Parameter im zeitlichen Verlauf beinhaltet das erste Quartal Messwerte ab dem 5. postoperativen Tag. In einem Fall ist dieser Tag im Zeitraum 4. - 7. Tag enthalten. Die Tatsache der Manipulation am Auge durch den Eingriff und mögliche operative, harmlose Komplikationen, wie Refluxblutungen aus dem Schlemmkanal, könnten Werte in den ersten postoperativen Tagen beeinflusst haben. Zudem erfolgte in der postoperativen Versorgung die Anwendung antibiotischer und steroidhaltiger Augentropfen /-Salben. Steroide können, individuell unterschiedlich, Erhöhungen des IOD verursachen.

So führt die Gabe steroidhaltiger AT bei der Normalbevölkerung in 30 – 40 % zu einem Druckanstieg. Unter Glaukompatienten mit GCS wird sogar von einem Druckanstieg bei ca. 90 % dieses Patientenkollektivs durch Kortisongabe berichtet (Rüfer und Uthoff, 2013).

Aus diesem Grund sind die Druckwerte der ersten 3 Monate nur unter Vorbehalt auswertbar.

4.7 Beantwortung der unter 1.7 gestellten Fragen

1. Ist eine Veränderung der Parameter IOD, Anzahl drucksenkender Augentropfen, Visus und Einnahme systemischer Carboanhydrasehemmer durch die Trabekulotomie *ab interno* mittels Trabektom erkennbar?

Der Erfolg der Operation wurde bereits in den vorigen Kapiteln genauer dargestellt. Durch die Intervention kam es zu einer statistisch signifikanten Reduktion des IOD um durchschnittlich 21 %. Die Zahl topischer Antiglaukomatika konnte um ca. 1 AT-Anzahl gesenkt werden. Die Sehschärfe verbesserte sich im Durchschnitt um 0,09. Der Patientenanteil mit der Notwendigkeit einer systemischen Einnahme von Carboanhydrasehemmern erreichte im 7. postoperativen Monat erstmals das 0 %-Niveau.

2. Wie stellen sich diese Veränderungen im zeitlichen Verlauf dar?

Die unter der obigen Frage 1. beschriebenen Veränderungen wurden über den maximalen Zeitraum von 1021 Tagen beobachtet. Der Erfolg scheint soweit langfristig zu bestehen. Der IOD pendelt sich dauerhaft im mittleren Zehnerbereich ein, die Reduktion drucksenkender Augentropfen ist am Ende des zweiten Beobachtungsjahres mit -1,04 AT am größten. Der Patientenanteil mit einer Einnahme systemischer Carboanhydrasehemmer nähert sich gegen Ende des ersten Jahres dem 0 %-Niveau an.

3. Wie verhält sich postoperativ die neu eröffnete Trabektomspur? Sind „Vernarbungen“ erkennbar? Wenn ja, in welcher Ausdehnung und in welchem Zeitraum entstehen diese?

Operativ wurde über 3 - 4 Uhrzeiten das Trabekelmaschenwerk im Kammerwinkel entfernt. Am Ende des ersten postoperativen Quartals ist davon eine durchschnittliche Öffnungsfläche von ca. 74 % nachweisbar. Pro Quartal reduzierte sich die verbleibende Öffnung im Mittel um 10 %. So war im dritten Quartal ca. die Hälfte der behandelten Fläche „vernarbt“ oder gonioskopisch der Schlemm`sche Kanal nicht mehr zu erkennen. Dieser Zustand hielt sich dann annähernd konstant bis zum Ende des ersten Jahres.

Insgesamt verblieb bei 10% aller Patienten das behandelte Areal komplett offen, bei ebenfalls 10% vernarbte es komplett innerhalb eines Jahres.

4. Welche Diagnosegruppe spricht besonders gut auf das Operationsverfahren an?

Bei Fällen mit der Diagnose Pseudoexfoliationsglaukom lag die Erfolgsquote stets höher als beim primären Offenwinkelglaukom. Für die Analyse dieser Untergruppe standen lediglich Daten aus dem ersten postoperativen Jahr zur Verfügung. In dieser Zeit war die IOD-Reduktion beim PEX-Glaukom stärker, die Abnahme drucksenkender AT größer, und die Notwendigkeit der Einnahme von Acetazolamid sank mittels Operation auf 0 %.

Ungeachtet dessen zeigte sich die Trabekulotomie *ab interno* auch bei anderen Glaukomtypen, wie dem GCS, erfolgreich.

5. Wie wirkt sich eine Kombination aus Trabekulotomie *ab interno* und Phakoemulsifikation mit HKL-Implantation aus?

Der Einsatz des Trabektoms kann problemlos mit der Durchführung einer Phakoemulsifikation und HKL-Implantation kombiniert werden. Die Kataraktoperation verstärkt den drucksenkenden Effekt und unterstützt so die Glaukomtherapie.

4.8 Fazit

Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die Effektivität der Trabekulotomie *ab interno* mittels Trabektom zur Therapie von Glaukompatienten. Die Senkung des intraokularen Drucks als eines der Erfolgskriterien erfolgt durchschnittlich um 21,4 % und pendelt sich im mittleren Zehnerbereich ein. Bei Patienten mit PEX-Glaukom war eine um mind. 5 % stärkere IOD-Abnahme zu verzeichnen, als bei Patienten mit GCS.

Eine Kombinationsoperation aus Trabektom-OP und Phakoemulsifikation mit Kunstlinsenimplantation ist ohne höhere Komplikationsrate und ohne niedrigere Erfolgsquote möglich. Diese verstärkt den drucksenkenden Effekt.

Die notwendige Anzahl topischer Antiglaukomatosa zur Stabilisierung des IOD im Zielbereich wird infolge des Trabektom-Einsatzes durchschnittlich um ca. 1 Wirkstoffgruppe gesenkt. Der Patientenanteil, der eine Reduktion der AT verzeichnet, liegt bei ca. $\frac{2}{3}$. Auch hier haben die Fälle mit PEX-Glaukom eine stärkere Reduktion zu verzeichnen als bei den Fällen mit GCS. Es können im Mittel 0,5 AT mehr abgesetzt werden. Anders als bei der IOD-Betrachtung sorgt die alleinige Trabekulotomie *ab interno* in punkto AT bei zuvor phaken Patienten für eine größere AT-Abnahme als bei pseudophaken Patienten oder bei Kombinationsoperationen.

Die Erfolgsrate liegt hier bei unserer Variante I (Definition: postoperativer IOD \leq 21 mmHg, oder Drucksenkung um mind. 20 %, oder eine Reduktion der Anzahl drucksenkender AT um mind. 2; jeweils zusätzlich im postoperativen Verlauf keine weitere drucksenkende Operation; siehe auch Kapitel 2.3.4) bei rund 70 %. Die höchste Quote erreichen auch hier die Untergruppen der PEX-Glaukome und Kombinationsoperationen mit simultaner Kataraktextraktion.

Unter den verschärften Erfolgskriterien von Variante II (Definition: postoperativer IOD \leq 21 mmHg in Verbindung mit einer Drucksenkung um mind. 20 %, oder eine alleinige Reduktion der Anzahl drucksenkender AT um mind. 2; jeweils zusätzlich

keine weitere drucksenkende Operation; s. Kapitel.2.3.4) halten sich Erfolg und Misserfolg mit rund 50 % zu 50 % die Waage. Das PEX-Glaukom kann sich aber auch hier bei Untergruppenanalysen mit einer Erfolgsrate von fast 73 % behaupten. Durch den Einsatz des Trabektoms wird die Oberfläche von Konjunktiva und Kornea nicht beschädigt. Eine spätere Trabekulektomie hat damit keine schlechtere Prognose.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel dieser retrospektiven Studie ist die Beurteilung der Effektivität einer Trabekulotomie *ab interno* mittels Trabektom.

Das Gerät vereinigt die Eigenschaften eines Elektro kauters mit Irrigation und Aspiration. Unter kontinuierlicher gonioskopischer Sicht erfolgt die gezielte, selektive, kontinuierliche Ablation des Trabekelwerks und der inneren Wand des Schlemm'schen Kanals über 3-4 Uhrzeiten. Für den Zugang wird ein kleiner, temporal am Rand der Kornea platzierter Schnitt benötigt; die Konjunktiva bleibt unangetastet. Durch die Ablation vom Trabekelmaschenwerk und der inneren Wand des Schlemmkanals wird der Abfluss des Kammerwassers aus der Vorderkammer bis zu den Sammelkanälen erleichtert und so der Augendruck als Risikofaktor zur Glaukomentstehung verringert.

Es wurden in der rein retrospektiven Studie Daten von 71 konsekutiven Operationsfällen im Zeitraum vom 27.09.2010 bis 24.01.2012 erfasst. Darunter lag 56-mal ein GCS zugrunde, 11-mal ein Pseudoexfoliationsglaukom. Die Trabekulotomie *ab interno* wurde entweder als alleinige OP durchgeführt (n = 57) oder in Kombination mit einer Phakoemulsifikation und Kunstlinsenimplantation (n = 14). Der postoperative Beobachtungszeitraum erstreckte sich vom 5. - 1021. Tag. Bei jedem Patienten wurde in dieser Zeit der intraokulare Druck, die Anzahl der Wirkstoffgruppen topischer Antiglaukomatosa, die systemische Einnahme von Carboanhydrasehemmern, der Visus und der gonioskopische Wiederverschluss der neu eröffneten Trabektomspur analysiert.

Im Durchschnitt sank der intraokulare Druck statistisch signifikant im direkten Vergleich prä-/postoperativ um 21,4 %. Im zeitlichen Verlauf zeigte sich im ersten postoperativen Jahr eine Reduktion von stets mehr als 20 %. Innerhalb der ersten zwei Jahre lag die Reduktion zwischen 13,5 – 25 %. Der erreichte Zielwert pendelte sich im mittleren Zehnerbereich ein. Die Untergruppe der PEX-Glaukome wies innerhalb der ersten 12 Monate eine um mind. 4,22 % stärkere IOD-Abnahme auf als beim GCS.

Bzgl. der präoperativen Kammerwinkeleinsicht sank der Druck bei SG IV° um 1 mmHg mehr als bei SG III°.

Die Anzahl der Wirkstoffgruppen drucksenkender Augentropfen konnte im Durchschnitt um 0,9 gesenkt werden. Bei 22,2 % der Fälle waren es ≥ 2 AT weniger. Auch hier profitierte das Patientenkollektiv der PEX-Glaukome stärker vom Eingriff.

Die Notwendigkeit systemischer Carboanhydrasehemmer reduzierte sich von präoperativ 20 % der Patienten auf 0 % postoperativ. Der Visus verbesserte sich bei beiden Glaukomtypen im Mittel von $0,57 \pm 0,27$ auf $0,66 \pm 0,28$.

Von der eröffneten Trabektomspur war nach einem Jahr gonioskopisch durchschnittlich 50 % weiterhin als offen zu erkennen. Bei 10 % der Fälle blieb die Spur komplett offen erhalten, bei ebenfalls 10 % „vernarbte“ sie vollständig.

Angelegt an Erfolgsdefinitionen verschiedener Literaturen sind hier in dieser Studie zwei Varianten des Erfolgs der Trabekulotomie *ab interno* mittels Trabektom untersucht worden. Variante I ist definiert als ein postoperativer IOD ≤ 21 mmHg oder eine Drucksenkung um mind. 20%, oder Reduktion drucksenkender AT ≥ 2 , und jeweils zusätzlich keine weitere drucksenkende Operation in der Folgezeit. Darunter betrug die Erfolgsrate 70 %. Die höchste Erfolgsquote erreichte die Untergruppe der PEX-Glaukome mit rund 90 %. Die Gruppe der Kombinationsoperation erfüllte mit 79 % mehr als den allgemeinen Erfolgsdurchschnitt.

In Variante II verschärften sich die zu erfüllenden Erfolgskriterien durch die simultane Erfüllung eines postoperativen IOD ≤ 21 mmHg und einer Drucksenkung von mind. 20 %, oder einer alleinigen AT-Reduktion ≥ 2 . Zusätzlich durfte auch hier keine weitere drucksenkende Operation erfolgt sein. Erfolg und Misserfolg hielten sich hier mit rund 50 : 50 die Waage. Das PEX-Glaukom stach auch hier mit einer Erfolgsrate von fast 73 % hervor.

Die Ergebnisse bestätigen die Trabekulotomie *ab interno* mittels Trabektom als effektives und erfolgreiches Verfahren in der Glaukomtherapie. Es kann bei verschiedenen Glaukomtypen, insbesondere beim PEX-Glaukom, beim Versagen einer rein medikamentösen Therapie durchgeführt werden. Der Erfolg einer künftigen Trabekulektomie wird durch den vorigen Trabektomeinsatz nicht beeinflusst.

Die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse stehen in Übereinstimmung mit denen anderer Autoren.

Die Kombination mit einer Kataraktextraktion verstärkt den gewünschten drucksenkenden Effekt.

In unserer Studie wurden Glaukompatienten mit progredientem Glaukom, ungenügender Senkung des IOD oder einer Augentropfenunverträglichkeit eingeschlossen.

Um die Erfolgsquote dieses Operationsverfahrens zu steigern, sollte die Patientenauswahl gemäß den Erkenntnissen dieser Studie folgende Kriterien erfüllen:

- intraokularer Zieldruck < 21 mmHg
- Ausgangsdruck < 30 mmHg
- Insbesondere Patienten mit Pseudoexfoliationsglaukom
- Bereitschaft der Patienten, auch postoperativ topische Antiglaukomatosa anzuwenden
- Erfordernis einer schnellen Rehabilitation durch diesen minimalinvasiven Eingriff
- Simultane Kombinationsoperation mit Kataraktextraktion und Kunstlinsenimplantation möglich.

6 LITERATURVERZEICHNIS

Brubaker RF (1991): Flow of aqueous humor in humans; the Friedenwald lecture. J Invest Ophthalmol Vis Sci 32, 3145-3166

Busse II, Kaplowitz K, Schuman JS, Loewen NA, Trabectome Study Group (2014): Outcome of ab interno trabeculectomy with the trabectome by degree of angle opening. Br J Ophthalmol 0,1-6

Francis BA, See RF, Rao NA, Minckler DS, Baerveldt G (2006): Ab interno trabeculectomy: Development of a novel device (Trabectome™) and surgery for open-angle glaucoma. J Glaucoma 15, 68-73

Francis BA, Minckler DS, Dustin L, Kawji S, Yeh J, Sit A, Mosaed S, Johnstone M and the Trabectome study group (2008): Combined cataract extraction and trabeculotomy by the internal approach for coexisting cataract and open-angle glaucoma: Initial results. J Cataract Refract Surg 34, 1096-1103

Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F (2000): Changes in anterior chamber angle width and depth after intraocular lens implantation in eyes with glaucoma. Ophthalmology 107, 698-703

<http://flexikon.doccheck.com/de/Sehsch%C3%A4rfe> , Zugriff am 26.03.2014

<http://www.neomedix.net/Technology/LearningFromNature>

Jea SY, Mosaed S, Vold SD, Rhee DJ (2012): Effect of a failed trabectome on subsequent trabeculectomy. J Glaucoma 21, 71-75

Jordan JF, Neuburger M, Reinhard T (2010): Minimal-invasive Kammerwinkelchirurgie: Das Trabektom. Ophthalmologe 107, 855-860

Jordan JF, Wecker T, van Oterendorp C, Anton A, Reinhard T, Boehringer D, Neuburger M (2013): Trabectome surgery for primary and secondary open angle glaucomas. J Graefes Arch Exp Ophthalmol 251, 2753-2760

Jünemann AGM (2012): Diagnose und Therapie des Pseudoexfoliationsglaukom. Ophthalmologe 109, 962-975

Kanski JJ: Glaukome. In: Kanski JJ (Hrsg.): Lehrbuch der klinischen Ophthalmologie; übersetzt und bearbeitet von Burk A und Burk R. 2. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1996, 226-274

Karow T, Lang-Roth R: Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie. 23. Auflage; Thomas Karow Verlag, Pulheim 2015

Lang GK: Glaukom. In: Lang GK, Gareis O, Lang GE, Recker D, Spraul CW, Wagner P: Augenheilkunde. 4. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2008, 225-272

Leitlinie 15a: Primäres chronisches Offenwinkelglaukom, Normalglaukom und okuläre Hypertension. Herausgegeben von: Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V., Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e.V., Stand 10/2006

Lütjen-Drecoll E, Kruse FE (2007): Primäres Offenwinkelglaukom. *Ophthalmologe* 104, 167-179

Maeda M, Watanabe M, Ichikawa K (2013): Evaluation of trabectome in open-angle glaucoma. *J Glaucoma* 22, 205-208

Mansberger SL, Gordon MO, Jampel H, Bhorade A, Brandt JD, Wilson B, Kass MA, for the Ocular Treatment Study Group (2012): Reduction in intraocular pressure after cataract extraction: The ocular hypertension treatment study. *Ophthalmology* 119, 1826-1831

Minckler DS, Baerveldt G, Alforo MR, Francis BA (2005): Clinical results with the Trabectome for treatment of open-angle glaucoma. *Ophthalmology* 112, 962-967

Minckler DS, Baerveldt G, Ramirez MA, Mosaed S, Wilson R, Shaarawy T, Zack B, Dustin L, Francis B (2006): Clinical results with the trabectome, a novel surgical device for treatment of open-angle glaucoma. *J Trans Am Ophthalmol Soc* 104, 40-50

Minckler DS, Mosaed S, Dustin L, Francis B and the Trabectome study group (2008): Trabectome (Trabectomelectomy – Internal approach): Additional experience and extended follow-up. *J Trans Am Ophthalmol* 106, 146-160

Mosaed S, Dustin L, Minckler DS (2009): Comparative outcomes between newer and older surgeries for glaucoma. *Trans Am Ophthalmol Soc* 107, 127-135

Poley BJ, Lindstrom RL, Samuelson TW, Schulze R (2009): Intraocular pressure reduction after phacoemulsification with intraocular lens implantation in glaucomatous and nonglaucomatous eyes. Evaluation of a causal relationship between the natural lens and open-angle glaucoma. *J Cataract Refract Surg* 35, 1946-1955

Rosentreter A, Schwenn O, Funk J, Dietlein T (2013): Was bringt die prophylaktische YAG-Iridotomie beim Pigmentdispersionsglaukom. *Ophthalmologe* 110, 306-309

Rüfer F, Uthoff D (2013): Klinik und Therapie des Steroidglaukoms. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 230, 692-696

Ruß A: Arzneimittel pocket. Sonderauflage Grüenthal, veränderter Nachdruck der 19. Auflage; Börm Bruckmeier Verlag, Grünwald 2014

Scharfenberg E, Schlötzer-Schrehardt U (2012): Pseudoexfoliationssyndrom: Klinische Diagnose und systemische Manifestationen. *Ophthalmologe* 109, 952-961

Schlötzer-Schrehardt U, Naumann GOH (1995): Trabecular meshwork in pseudoexfoliation syndrome with and without open-angle glaucoma. A morphometric, ultrastructural study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 36, 1750-1764

Schlötzer-Schrehardt U, Naumann GOH (2006): Perspective – ocular and systemic pseudoexfoliation syndrome. Am J Ophthalmol 141, 921-937

Schwenn O, Shah B, Vogel A, Yun SH (2003): Nd-YAG-Laser-Iridotomie bei Pigmentdispersionssyndrom und Pigmentdispersionsglaukom. Ophthalmologe 100, 406-410

Ting JLM, Damji KF, Stiles MC (2012): Ab interno trabeculectomy: Outcomes in exfoliation versus primary open-angle glaucoma. J Cataract Refract Surg 38, 315-323

Winkler NFK, Funk J (2013): Transsklerale Zyklphotokoagulation als primäre antiglaukomatöse Operation. J Klin Monatsbl Augenheilkd 230, 353-357

Zahid S, Musch DC, Niziol LM, Lichter PR (2013): Risk of endophthalmitis and other long-term complications of trabeculectomy in the collaborative initial glaucoma treatment study (CIGTS). Am J Ophthalmol 155, 674-680