

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

Trabekulektomie: Ein Vergleich des Therapieerfolgs in den verschiedenen Stadien  
der operativen Ausbildung

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

Vorgelegt von

Florian Leon Daniello  
Aus Frankfurt am Main

Mainz, 2025

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Hansjörg Schild (komm.)

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 10. Oktober 2025

Nutzungsrechte: Namensnennung (CC-BY-4.0)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>- 4 -</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>- 5 -</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>- 7 -</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>- 10 -</b>
<b>2 Literaturdiskussion</b> .....	<b>- 11 -</b>
<b>2.1 Stand der Wissenschaft in der Glaukomtherapie</b> .....	<b>- 11 -</b>
2.1.1 Definition des Glaukoms .....	- 11 -
2.1.2 Klassifikation von Glaukomerkrankungen.....	- 12 -
2.1.2.1 Kongenitales Glaukom .....	- 12 -
2.1.2.2 Primäres Offenwinkelglaukom.....	- 13 -
2.1.2.3 Winkelblockglaukom.....	- 14 -
2.1.2.4 Sekundärglaukome .....	- 15 -
2.1.2.4.1 Neovaskularisationsglaukom.....	- 16 -
2.1.2.4.2 Pseudoexfoliationsglaukom.....	- 16 -
2.1.2.4.3 Pigmentdispersionsglaukom.....	- 17 -
2.1.2.4.4 Uveitisches Glaukom .....	- 18 -
2.1.3 Epidemiologie der Glaukome.....	- 19 -
2.1.4 Risikofaktoren der Offenwinkelglaukome .....	- 19 -
2.1.5 Therapie.....	- 20 -
2.1.5.1 Pharmakotherapie.....	- 20 -
2.1.5.1.1 Sympathomimetika .....	- 21 -
2.1.5.1.2 Sympatholytika.....	- 22 -
2.1.5.1.3 Carboanhydrasehemmer.....	- 23 -
2.1.5.1.4 Prostaglandin-Derivate.....	- 24 -
2.1.5.1.5 Parasympathomimetika .....	- 24 -
2.1.5.1.6 Hyperosmotika .....	- 25 -
2.1.5.2 Operative Verfahren beim Offenwinkelglaukom .....	- 25 -
2.1.5.2.1 Filtrierende Verfahren.....	- 26 -
2.1.5.2.1.1 Trabekulektomie .....	- 26 -
2.1.5.2.1.1.1 Ablauf des Verfahrens .....	- 27 -
2.1.5.2.1.1.2 Häufigkeit .....	- 30 -
2.1.5.2.1.1.3 Erfolgsquoten.....	- 31 -
2.1.5.2.1.1.4 Komplikationen und Komplikationsrate .....	- 31 -
2.1.5.2.1.2 Minimally Invasive Glaucoma Surgery (MIGS).....	- 32 -
2.1.5.2.1.2.1 PreserFlo MicroShunt und XEN-Implantation.....	- 33 -
2.1.5.2.1.3 Drainageimplantat.....	- 34 -
2.1.5.2.2 Nicht filtrierende Verfahren .....	- 35 -
2.1.5.2.2.1 Kanaloplastik.....	- 35 -
2.1.5.2.2.2 Trabekulotomie.....	- 35 -
2.1.5.2.2.3 Tiefe Sklerektomie.....	- 35 -
2.1.5.2.2.4 Zyklodestruktive Verfahren.....	- 36 -
2.1.5.2.2.5 Zyklphotokoagulation .....	- 36 -
2.1.5.2.3 Lasertherapie .....	- 37 -
2.1.5.2.3.1 Selektive Lasertrabekuloplastik.....	- 37 -
2.1.5.2.3.2 Argon Laser Trabekuloplastik .....	- 37 -
2.1.6 Wundheilungsmodulation des Trabekulektomie-Verfahrens: Intraoperative Anwendung von Antimetaboliten .....	- 37 -
2.1.6.1 Mitomycin-C.....	- 38 -
2.1.6.2 5-Fluorouracil .....	- 39 -
2.1.7 Postoperative Eingriffe .....	- 39 -
2.1.7.1 Postoperative 5-Fluorouracil-Applikation.....	- 40 -
2.1.7.2 Suturolyse .....	- 41 -

2.1.7.3	Needling .....	- 42 -
2.1.7.4	Offene Revision .....	- 42 -
<b>2.2</b>	<b>Stand der Wissenschaft in der Auswirkung der Erfahrung des Operateurs auf den Therapieerfolg in der Augenheilkunde .....</b>	<b>- 43 -</b>
<b>2.3</b>	<b>Ziel der Studie .....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>3</b>	<b>Methodik.....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>3.1</b>	<b>Patientenpopulation .....</b>	<b>- 45 -</b>
3.1.1	Einschlusskriterien .....	- 45 -
3.1.2	Ausschlusskriterien.....	- 45 -
<b>3.2</b>	<b>Datensammlung.....</b>	<b>- 46 -</b>
3.2.1	Patienten-Charakteristika .....	- 46 -
3.2.1.1	Patientendaten .....	- 46 -
3.2.1.2	Datensammlung für das operierte Auge.....	- 46 -
3.2.2	Therapieverlauf .....	- 47 -
<b>3.3</b>	<b>Operateur .....</b>	<b>- 47 -</b>
<b>3.4</b>	<b>Datenverarbeitung und statistische Analyse .....</b>	<b>- 48 -</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>- 48 -</b>
<b>4.1</b>	<b>Zusammensetzung der Studienpopulation .....</b>	<b>- 48 -</b>
4.1.1	Alter.....	- 48 -
4.1.2	Geschlecht.....	- 50 -
4.1.3	Betroffene Seite.....	- 52 -
4.1.4	Art des Glaukoms.....	- 52 -
4.1.5	Pseudophakie .....	- 55 -
4.1.6	Voroperationen am zu operierenden Auge.....	- 56 -
4.1.6.1	Art der Voroperation .....	- 56 -
4.1.7	Präoperativer Visus .....	- 58 -
4.1.8	Präoperativer und maximaler Augeninnendruck .....	- 59 -
4.1.9	Art der Anästhesie bei der Trabekulektomie.....	- 62 -
<b>4.2</b>	<b>Nachbeobachtungen postoperativ.....</b>	<b>- 64 -</b>
4.2.1	Postoperativer Visus.....	- 64 -
4.2.2	Postoperativer Augeninnendruck .....	- 67 -
4.2.2.1	Postoperativer Augeninnendruck nach 12 Monaten .....	- 67 -
4.2.3	Anzahl der 5-Fluorouracil Gaben während des stationären Aufenthalts und nach der Entlassung.. - 69 -	
4.2.4	Suturolysen nach dem stationären Aufenthalt.....	- 72 -
4.2.5	Sickerkissen-Needling .....	- 73 -
4.2.6	Revisionen .....	- 75 -
4.2.7	Postoperative medikamentöse Glaukom-Behandlung mittels Augentropfen .....	- 78 -
<b>4.3</b>	<b>Erfolg der Trabekulektomie .....</b>	<b>- 79 -</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>- 81 -</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>- 91 -</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>- 92 -</b>
<b>8</b>	<b>Tabellarischer Lebenslauf.....</b>	<b>- 99 -</b>

## *Abkürzungsverzeichnis*

IOD	Augeninnendruck
TE	Trabekulektomie
PCG	Primär kongenitales Glaukom
POWG	Primäres Offenwinkelglaukom
OWG	Offenwinkelglaukom
PACG	Primäres Winkelblockglaukom
SACG	Sekundäres Winkelblockglaukom
VEGF	Vaskuläre Wachstumsfaktoren
PAS	Periphere anteriore Synechie
PXG	Pseudoexfoliationsglaukom
PDG	Pigmentdispersionsglaukom
MIGS	Minimally Invasive Glaucoma Surgery
BDOC	Bundesverband Deutscher Ophthalmochirurgen
DGII	Deutschsprachige Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation
DOG	Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft
EGS	European Glaucoma Society
SLT	Selektive Lasertrabekuloplastik
ALT	Argon Laser Trabekuloplastik
MMC	Mitomycin-C
5-FU	5-Fluorouracil
COPD	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung

## ***Abbildungsverzeichnis***

- Abbildung 1      Box-Plot der Altersverteilung nach Gruppe
- Abbildung 2      Kreisdiagramm der Geschlechterverteilung des gesamten Kollektivs
- Abbildung 3      Säulendiagramm der Geschlechterverteilung nach Gruppe
- Abbildung 4      Säulendiagramm des betroffenen Auges des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
- Abbildung 5      Kreisdiagramm der Häufigkeiten der Glaukomdiagnosen
- Abbildung 6      Säulendiagramm der Anteil der Glaukomdiagnosen der einzelnen Gruppen
- Abbildung 7      Liniendiagramm der positiven Pseudophakdiagnosen der fünf Gruppen in Prozent
- Abbildung 8      Kreisdiagramm der Voroperationen des gesamten Patientenkollektivs
- Abbildung 9      Säulendiagramm der Voroperationen der Patienten der einzelnen Gruppen 1 bis 5
- Abbildung 10     Box-Plot des Visus nach Gruppen des Patientenkollektivs
- Abbildung 11     Box-Plot des präoperativen Augeninnendrucks nach Gruppen des Patientenkollektivs
- Abbildung 12     Box-Plot des maximalen Augeninnendrucks nach Gruppen des Patientenkollektivs
- Abbildung 13     Kreisdiagramm der Art an verwendeter Anästhesie des gesamten Patientenkollektivs
- Abbildung 14     Säulendiagramm der Art an verwendeter Anästhesie der einzelnen Gruppen
- Abbildung 15     Box-Plot des postoperativen Visus der fünf Gruppen
- Abbildung 16     Liniendiagramm der Änderung des Visus von präoperativ zu postoperativ der fünf Gruppen

- Abbildung 17 Box-Plot des Augeninnendrucks der fünf Gruppen nach 12 Monaten
- Abbildung 18 Liniendiagramm der Änderung des Augeninnendrucks von Präoperativ zu Postoperativ der fünf Gruppen
- Abbildung 19 Box-Plot der Anzahl der 5-Fluorouracil Gaben während des stationären Aufenthalts unterteilt in Gruppen 1-5
- Abbildung 20 Box-Plot der Anzahl der 5-Fluorouracil Gaben nach der Entlassung unterteilt in Gruppen 1-5
- Abbildung 21 Box-Plot der Anzahl der postoperativen Suturelysen der fünf Gruppen
- Abbildung 22 Säulendiagramm der Sickerkissen-Needlings des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
- Abbildung 23 Kreisdiagramm der Art der durchgeführten Revisionen des gesamten Patientenkollektivs
- Abbildung 24 Säulendiagramm der Art der durchgeführten Revisionen der fünf Gruppen in Prozent
- Abbildung 25 Diagramm des Erfolgs der Trabekulektomie über einen Nachbeobachtungszeitraum von 12 Monaten

## ***Tabellenverzeichnis***

Tabelle 1	Operateur und die Anzahl der von Ihm durchgeführten Trabekulektomien
Tabelle 2	Das Patientenalter des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 3	Absolute und relative Häufigkeiten des Geschlechtes des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 4	Absolute und relative Häufigkeiten der Seite des betroffenen Auges des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 5	Absolute und relative Häufigkeiten der Glaukomdiagnosen des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 6	Absolute und relative Häufigkeiten der Pseudophakdiagnose des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 7	Absolute und relative Häufigkeiten der Voroperationen des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 8	Präoperativer Visus des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 9	Präoperativer und maximaler Augeninnendruck des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 10	Absolute und relative Häufigkeiten der Art der Anästhesie bei der Trabekulektomie des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 11	Postoperativer Visus des Patientenkollektivs und die Änderung des Visus von präoperativ zu postoperativ unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 12	Postoperativer Augeninnendruck des Patientenkollektivs und die Änderung im Augeninnendruck zwischen Prä- und Postoperativ unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 13	Anzahl der 5-Fluorouracil Gaben während des stationären Aufenthalts und nach der Entlassung des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
Tabelle 14	Die Anzahl der Suturelysen des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

- Tabelle 15 Absolute und relative Häufigkeiten der Sickerkissen-Needlings des Patientenkollektivs eingeteilt in die Anzahl der Durchführungen (1, 2, 3), unterteilt in Gruppen 1-5
- Tabelle 16 Absolute und relative Häufigkeiten der Art der durchgeführten Revisionen des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
- Tabelle 17 Absolute und relative Häufigkeiten der Einnahme von Augentropfen nach der durchgeführten Trabekulektomie des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5
- Tabelle 18 Prozentualer Erfolg der Trabekulektomie des Patientenkollektivs über einen Nachbeobachtungszeitraum von 12 Monaten unter Berücksichtigung der oben genannten Kriterien, unterteilt in Gruppen 1-5

## **Hinweis zur geschlechtergerechten Sprache**

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sämtliche Personenbezeichnungen geschlechtsunabhängig zu verstehen sind und alle Geschlechter gleichermaßen einbezogen werden. Diese sprachliche Vereinfachung dient der Klarheit und stellt keinerlei Wertung oder Diskriminierung dar.

## **1 Einleitung**

Die Evaluierung des langfristigen Therapieerfolgs und der Effektivität einer medizinischen Intervention erfordert einen umfassenden Ansatz, der über die bloße Berücksichtigung der Operationstechnik und der unmittelbaren postoperativen Ergebnisse hinausgeht. Es ist von entscheidender Bedeutung, auch den Ausbildungsstand des durchführenden Chirurgen zu berücksichtigen, da dieser maßgeblich zur Qualität der Intervention beiträgt. Insbesondere bei der Trabekulektomie zur Behandlung des Glaukoms ist die Präzision bezüglich der Durchführung des Eingriffs von hoher Relevanz für den Langzeiterfolg. Denn die Erfahrung des Chirurgen beeinflusst nicht nur die direkten Ergebnisse der Operation, sondern spiegelt sich auch in der weiteren Betreuung der Patienten wider.

Die Trabekulektomie (TE) ist ein etabliertes chirurgisches Verfahren, das seit etwa 50 Jahren erfolgreich zur Senkung des Augeninnendrucks bei Glaukompatienten eingesetzt wird. Bei dieser Technik wird chirurgisch eine Fistel geschaffen, die den Abfluss des Kammerwassers unter die Bindehaut ermöglicht. Trotz zahlreicher Entwicklungen moderner Implantate und alternativer Verfahren bleibt die TE aufgrund ihrer Effektivität und langfristigen Ergebnisse weiterhin als „Goldstandard“ in der chirurgischen Glaukomtherapie anerkannt. Ihre Anwendungshäufigkeit hat jedoch in den letzten Jahren abgenommen, was vor allem auf die technischen Herausforderungen der Operation und die intensive postoperative Nachsorge zurückzuführen ist. Diese Anforderungen haben auch dazu geführt, dass die Methode zunehmend weniger in chirurgischen Ausbildungsprogrammen gelehrt wird.

Ziel dieser retrospektiven Studie ist es, den Erfolg der Trabekulektomie in verschiedenen Phasen der chirurgischen Ausbildung von einem Operateur zu untersuchen und längerfristige Ergebnisse zu vergleichen. Dabei soll nicht nur die Operation, sondern auch der Einfluss der individuellen Erfahrung des Chirurgen auf den Therapieverlauf analysiert werden. Zusätzlich sollen Faktoren identifiziert werden, die den Erfolg der Trabekulektomie systematisch beeinflussen können. Durch diese Ziele wird angestrebt, einen Einblick in die Auswirkungen der chirurgischen Erfahrung auf den Therapieverlauf zu gewinnen und ein besseres Verständnis für die vielfältigen Faktoren zu entwickeln, die den langfristigen Erfolg dieser Behandlungsmethode beeinflussen können.

## **2 Literaturdiskussion**

### **2.1 Stand der Wissenschaft in der Glaukomtherapie**

#### 2.1.1 Definition des Glaukoms

Das Glaukom ist, weltweit gesehen, eine der Hauptursachen für eine irreversible Erblindung (1, S. 341). Die Rolle des Augeninnendrucks (IOD), welcher früher als ein definierendes Merkmal des Glaukoms galt, hat sich im Laufe der letzten Jahre verändert. Heutzutage wird das Krankheitsbild des Glaukoms als eine heterogene Gruppe von Augenerkrankungen, mit multifaktoriellen Ätiologien beschrieben, die zu einer fortschreitenden Schädigung des Nervus opticus (Sehnerv) mit typischer Aushöhlung (Exkavation) des Sehnervens und progressivem Verlust der visuellen Funktion führt (1, S. 342). Auch wenn der IOD ein wichtiger Risikofaktor der Erkrankung bleibt, ist er kein fester Bestandteil der Definition mehr. Viele Fälle weisen einen über den Normwert ( $> 21$  mmHg) erhöhten IOD auf, haben jedoch keine weiteren Symptome eines Glaukoms; Dies nennt sich okuläre Hypertension (2). Umgekehrt gibt es Fälle, wo sich der IOD in den Normwerten befindet, es dennoch zu einer glaukomatösen Schädigung kommt (2).

Eines der derzeitige Konzepte wie glaukomatöse Schäden hervorgerufen werden umfasst eine, durch den Augeninnendruck verursachte, Verformung der Lamina cribrosa, die vom Auge nicht toleriert wird (3, S. 97). Dies führt zu einer Axonschädigung mit nachfolgendem apoptischem Tod retinaler Ganglienzellen. Ein weitere Theorie, beschreibt einen vasogenen Schadensmechanismus: eine Beeinträchtigung der Mikrovaskulatur des Sehnervenkopfes kann zu einer glaukomatösen Schädigung führen (4, S. 30). Ferner noch beschreibt ein weiteres Konzept, die Wirkung von aktivierten Astrozyten auf die Pathogenese der Glaukomerkrankung. Mechanischer Stress kann Astrozyten durch Stimulierung des epidermalen Wachstumsfaktorrezeptors (EGFR) aktivieren (5, S. 46). Diese Aktivierung kann eine Veränderung in der lokalen Mikroumgebung auslösen und eine Störung des axonalen Transports hervorrufen (5, S. 46). Das hierdurch entstehende Superoxid und Peroxynitrit kann die Apoptose von Nervenzellen induzieren und somit zu einer Einschränkung der Sehfähigkeit beitragen (5, S. 46).

## 2.1.2 Klassifikation von Glaukomerkrankungen

Das Krankheitsbild des Glaukoms kann auf unterschiedlichen Ebenen unterteilt werden. Die klinisch wichtigste Einteilung ist die Unterscheidung zwischen einem Offenwinkelglaukom und einem Winkelblockglaukom (1, S. 345). Weitere Unterteilungen klassifizieren das Krankheitsbild in ein primäres oder sekundäres Glaukom. Primäre Glaukome treten spontan auf, wohingegen sekundäre Glaukome auf Grund von Augenerkrankungen, charakteristischen Augenveränderung (z.B. Pseudoexfoliatio) oder Allgemeinerkrankungen entstehen können (6, S. 415). Ferner, kann ein Glaukom auch in der Entwicklung entstehen und als ein kongenitales Glaukom und ein juveniles / spät-juveniles Glaukom klassifiziert werden.

### 2.1.2.1 Kongenitales Glaukom

Das kongenitale oder infantile Glaukom tritt bei 1 von 12.000-18.000 Geburten auf und kann zu schwerwiegenden visuellen Störungen führen (3, S. 93). Das primäre kongenitale Glaukom (PCG) ist mit 65% häufiger bei dem männlichen als bei dem weiblichen Geschlecht zu finden und tritt zu 70% bilateral auf (3, S. 93). In der Entstehung des PCG gibt es einen starken monogenetischen Einfluss, mit unterschiedlichen Vererbungseigenschaften und verschiedenen Genen (6, S. 440).

Das PCG tritt in dem Zeitraum von der Geburt bis zum Alter von etwa 2 Jahren auf (3, S. 93). Hervorgerufen wird die Erkrankung durch eine Kammerwinkeldysgenese, die zu einer Verlegung des physiologischen Abflussweges des Kammerwassers führt (3, S. 93). Dies ist die Folge einer unvollständigen Entwicklung des Trabekelmaschenwerks (3, S. 93). Hierdurch übersteigt der IOD den Normwerten von 8-18 mmHg für Säuglinge (6, S. 441). Ein auffallendes Symptom ist ein Buphthalmus, bei der sich eine Vergrößerung des Auges in sagittaler, wie auch in transversaler Richtung zeigt, mit einer Vergrößerung des Hornhautdurchmessers (6, 7, S. 440). Im Anfangsstadium kann es zudem zu Photophobie, Lidkrampf (Blepharospasmus), und einem erhöhten Tränenfluss oder Augenreiben kommen (3, S. 93). Die Erkrankung kann allerdings auch asymptomatisch voranschreiten (3, S. 93). Um eine Schädigung des N. opticus zu verhindern und eine ungestörte Entwicklung des Auges zu ermöglichen, sollte eine Therapie so früh wie möglich begonnen werden (6, S. 441)

### 2.1.2.2 Primäres Offenwinkelglaukom

Das primäre Offenwinkelglaukom (POWG) ist eine langsam fortschreitende degenerative Erkrankung. Die Erkrankung ist durch einen offenen Kammerwinkel, eine zunehmende Exkavation des Sehnervenkopfes und Gesichtsfeldausfällen gekennzeichnet (6, S. 426). Das POWG ist mit einem Anteil von 90% die am häufigsten auftretende Glaukomform und ist unüblich bei Personen unter dem 40 Lebensjahr (3, S. 97) (6, S. 426). Die Prävalenz des POWG steigt mit zunehmenden Alter an (3, S. 97).

Die Ätiologie des POWG bleibt auch heute noch unklar; genetische Faktoren und Komorbiditäten spielen höchstwahrscheinlich eine Rolle in dessen Entstehung (3, S. 97). Zu den Charakteristika des Krankheitsbildes des POWG zählen u.a.:

- Typische glaukomatöse Gesichtsfeldschäden
- Typische glaukomatöse Schäden der Papille und des N. opticus
- Patienten im Erwachsenenalter
- In der Gonioskopie zeigt sich ein anatomisch unauffälliger offener Kammerwinkel
- Gegebenenfalls kann der IOD bei Patienten (50-70%) über dem Wert von 21 mmHg sein
- Es fehlen andere Ursachen, die einen erhöhten IOD erklären (8, S. 1) (6, S. 427) (9, S. 430)

Das Normaldruckglaukom ist eine Sonderform des POWG. Bei diesem Krankheitsbild wird keine Erhöhung des IOD oberhalb der Normwerte beobachtet (1, S. 342). Es wird vermutet, dass bei Patienten mit einem Normaldruckglaukom, eine ausgeprägte Überempfindlichkeit sowohl der Optikusfasern, als auch der Lamina cribrosa besteht (6, S. 426). Somit kann angenommen werden, dass Schädigungen im Bereich des Sehnervenkopfes schon bei niedrigeren Druckwerten auftreten können. Es ist auch anzumerken, dass dieses Krankheitsbild, trotz IOD-Werte im Normbereich, mit der Höhe des Augeninnendrucks assoziiert ist, da es bei einer Senkung des IODs zu einer Verlangsamung der Progression kommt (1, S. 342).

Die okuläre Hypertension beschreibt den Zustand, wenn der IOD erhöht, jedoch eine glaukomatöse Optikusneuropathie nicht vorliegt (1, S. 342). Da 10% der okulären Hypertensionen innerhalb von 5 Jahre in ein POWG konvertieren, wird zum Teil dieses

Krankheitsbild auch als eine Vorstufe des POWG angesehen (6, S. 410). Charakterisiert wird die okuläre Hypertension durch:

- IOD mehrfach über dem Wert von 21 mmHg
- Normales Gesichtsfeld
- Keine glaukomtypische Veränderung der Papille oder des N. opticus
- Patienten im Erwachsenenalter
- In der Gonioskopie zeigt sich ein anatomisch unauffälliger offener Kammerwinkel (3, S. 100) (8, S. 1) (9, S. 432)

Bestimmte Risikofaktoren können zu einer Entstehung eines POWG führen. Dazu zählen:

- Ein höheres Alter (>70)
- Ein hoher IOD
- Ein Glaukomschaden am anderen Auge
- Afro-Amerikaner oder afrikanisch-stämmigen Einwohner der Karibik
- Zentrale dünne Hornhaut
- Moderate bis hohe Myopie
- Geringer diastolischer Blutdruck (3, S. 97) (6, S. 425-426) (10, S. 535-536)

### 2.1.2.3 Winkelblockglaukom

Auch das Winkelblockglaukom kann in ein primäres und ein sekundäres Glaukom unterteilt werden. Das primäre Winkelblockglaukom (PACG) ist ein Subtyp des Glaukoms mit anatomischem Iridotrabekel-Kontakt (1, S. 342). Dieses Krankheitsbild führt zu einer mechanischen Blockade des Kammerwasserabflusses, einer fortschreitenden trabekulären Dysfunktion, einem Synechialverschluss und einer Steigerung des IODs (11, S. 149). Als Folge des IOD-Anstiegs kommt es zu einer Veränderung der Papille und des Gesichtsfeldes (12, S. 4).

Das sekundäre Winkelblockglaukom (SACG) unterscheidet sich in seiner Ursache vom PACG. Dem Winkelblock, welcher durch das Krankheitsbild des SACG verursacht wird, liegt eine pathologische Ursache zugrunde, wie z. B. eine Neovaskularisation der Iris, eine chronische Entzündung, Hornhautendothelmigration oder Epithelwachstum (13, S. 124).

Epidemiologisch gesehen beträgt die PACG-Gesamtprävalenz weltweit 0,5-0,6 % (14, S. 2183) (15, S. 3). Jedoch gibt es regionale Unterschiede zu dieser Prävalenz. Die Prävalenz

von PACG in Europa für Personen die  $\geq 40$  Jahre sind ist 0,4% (16, S. 1163). Asien hat mit 0,7% weltweit die höchste Prävalenz von PACG (15, S. 3). Das PACG ist in China für 91% der bilateralen Erblindungen verantwortlich (13, S. 123). Das Risiko an einem PACG zu erkranken ist für Frauen doppelt so hoch, wie für Männer (6, S. 436). Ferner zählt erhöhtes Alter (60-80 Jahre), positive Familienanamnese, Hyperopie und die ethnische Herkunft zu den Risikofaktoren (6, S. 436) (3, S. 112).

Bei dem Krankheitsbild des Winkelblocks unterscheidet man den akuten Winkelblock, den intermittierenden Winkelblock und das chronische Winkelblockglaukom. Auch gibt es Unterschiede in dem Mechanismus des Winkelverschlusses.

Der häufigste Auslöser des Winkelblocks ist der Pupillarblock. Dieser wird noch einmal in einen relativen und einen vollständigen Pupillarblock unterteilt (6, S. 435). Der relative Pupillarblock entsteht bei einer flachen Vorderkammer, wenn die posteriore Fläche der Iris straff auf der Linse zu liegen kommt (6, S. 435). Hierdurch kommt es zu einer Störung des Durchflusses des Kammerwassers und zu einem Druckgefälle zwischen der Augenhinterkammer und der Augenvorderkammer (13, S. 125). Ein vollständiger Pupillarblock kann die Folge einer Mydriasis (Erweiterung der Pupille) sein, dies kann beispielsweise durch Dunkelheit oder kann medikamentös induziert sein; Der Kammerwasserfluss zwischen der hinteren und der vorderen Augenkammer ist vollständig unterbrochen und eine Drucksteigerung in der Augenhinterkammer führt zu einer Verdrängung der Iriswurzel nach anterior (6, S. 435). Durch diese Verdrängung wird das Trabekelwerk zirkulär verlegt und es kommt zu einem Glaukomanfall. Als Folge können Schmerzen, Sehstörungen, Übelkeit und ein Blutdruckabfall hervorgerufen werden (6, S. 435).

Weitere Mechanismen der Verlegung sind die Plateauiris, welches durch eine vorgewölbte periphere Iris hervorgerufen wird, und der ziliolentikuläre Block (13, S. 133).

#### 2.1.2.4 Sekundärglaukome

Glaukomarten welche durch andere Pathologien und Erkrankungen hervorgerufen werden, nennt man Sekundärglaukome. Auch in diesem Krankheitsbild liegt die Ursache für die Steigerung des IODs in der Behinderung des Kammerwasserabflusses. Die meisten Formen

des Sekundärglaukoms haben komplexe Mechanismen, die sowohl Offenwinkel-, als auch Winkelblockmechanismen sein können (3, S. 102). Dazu zählen u.a. das Neovaskularisationsglaukom, das Pseudoexfoliationsglaukom, das Pigmentdispersionsglaukom und das uveitische Glaukom.

#### 2.1.2.4.1 Neovaskularisationsglaukom

Das Neovaskularisationsglaukom ist eine häufige und meist schwere Form des sekundären Winkelblockglaukoms. Sie wird durch eine Vielzahl von Erkrankungen verursacht, die durch retinale Ischämie oder okuläres Ischämiesyndrom und/oder Augenentzündungen charakterisiert ist (13, S. 138). Auslöser für diese Erkrankung sind u.a. Diabetes mellitus, Zentralvenenverschluss und Carotisstenose (6, S. 444).

Bei einer Netzhautischämie werden von dieser verschiedene Wachstumsfaktoren freigesetzt. Besonders wichtig ist der sogenannte „vascular endothelial growth factor“ (VEGF, vaskuläre endotheliale Wachstumsfaktor) (6, S. 444). Der VEGF wird zusammen mit dem Kammerwasser in die Augenvorderkammer transportiert (6, S. 444). Dort bindet es an Rezeptoren, regt die Gefäßneubildung an der Iris an und führt letztlich zu einer fibrovaskulär membranösen Auskleidung des Kammerwinkels (13, S. 138). Die Kontraktion der fibrovaskulären Membran führt zur Bildung einer peripheren anterioren Synechie (PAS) und folglich zur Entwicklung eines sekundären Engwinkelglaukoms (13, S. 138).

Das Krankheitsbild ist durch feine baumartige Blutgefäße gekennzeichnet, die auf der Oberfläche der Iris, des Pupillenrandes und des Trabekelwerks wiederzufinden sind (13, S. 138).

#### 2.1.2.4.2 Pseudoexfoliationsglaukom

Die häufigste Form des sekundären Offenwinkelglaukoms ist das Pseudoexfoliationsglaukom (PXG). Das PXG entsteht auf Grund eines Pseudoexfoliationssyndroms und die damit verbundene Ablagerung fein-fibrillären Materials im vorderen Augenabschnitt (13, S. 103). Bei Patienten mit einem Pseudoexfoliationssyndrom zeigt sich histologisch dieses Material innerhalb und auf dem Linsenepithel, der Linsenkapsel, dem Pupillenrand, dem Ziliarepithel, dem Irispigmentepithel, den Irisblutgefäßen und dem subkonjunktivalem Gewebe (13, S.

103). Die Herkunft dieser feinfibrillären Partikel ist noch nicht vollständig geklärt. Ein Teil der Partikel wird vom Ziliarepithel gebildet, ein anderer Teil stammt aus einer generalisierten Basalmembranstörung (6, S. 445). Pseudoexfoliationsmaterial lagert sich in einem charakteristischem Muster in zwei Zonen auf der Vorderfläche der Linse ab, besser sichtbar nach Pupillendilatation (3, S. 102). Zusätzlich lagert sich das Material am Rand der Pupille, im Trabekelwerk und an den Zonulafasern ab (3, S. 102). Das PXG wird letztendlich durch die Verstopfung und Zerstörung/Veränderung/Versteifung des Trabekelwerkes und der damit verbundenen Abflussstörung hervorgerufen.

PXG kann sowohl unilateral als auch bilateral auftreten, häufiger sind jedoch Fälle mit bilateraler asymmetrischer Erkrankung (3, 13, S. 102). Diese Glaukomart tritt auf der ganzen Welt auf, jedoch gibt es Unterschiede in der Prävalenz. In skandinavischen Ländern sind 50% der Offenwinkelglaukome Pseudoexfoliationsglaukome (13, S. 104). Es besteht eine genetische Disposition u.a. verbunden mit dem LOXL1 Gen (6, S. 446).

Charakteristisch für diese Glaukomart ist:

- Ein Alter von >50 Jahren
- Ein sehr hoher IOD (typischerweise höher als bei einem POWG) in der Spitze mit häufig sonst normalem bis wenig erhöhtem IOD
- Eine gonioskopisch sichtbare Sampaolesi Linie (braunes Pigment an oder vor der Schwalbe-Linie)
- Pseudoexfoliat-Ablagerungen auf der Linse oder am Pupillarsaum

Das PXG hat häufig eine schlechtere Prognose als ein POWG (13, S. 104).

#### 2.1.2.4.3 Pigmentdispersionsglaukom

Das Pigmentdispersionsglaukom (PDG) entsteht ebenfalls durch Ablagerungen im Trabekelwerk, jedoch durch Pigment. Wenn die Irisbasis nach posterior konkav gewölbt ist, reibt sie an den Zonulafasern (6, S. 445). Dadurch wird Melaninpigment aus dem Epithelium pigmentosum der Iris freigesetzt (3, S. 103). Die Phagozytose der gelösten Pigmentpartikel durch Zellen des Trabekelwerkes führt zu deren Untergang und folglich zu einer Verlegung des Trabekelwerkes und zur einer Erhöhung des IODs (3, S. 103) (6, S. 445).

Dieser pathologische Mechanismus ist jedoch umstritten. Eine Studie von Lahola-Chomiak et al. beschreibt einen erblich bedingten Mechanismus: Die Studie identifizierte zwei Varianten des Prämelenosomenproteins (PMEL), die mit vererbbarer Pigmentdispersionsglaukom assoziiert sind (17, S. 1298).

Das PDG ist mit einem Anteil von nur 1-1,5% an allen Glaukomfällen eine seltene Form des Glaukoms (3, S. 103). Das Pigmentdispersionssyndrom führt nicht immer zu einem Glaukom. Ein Patient mit Pigmentdispersionssyndrom entwickelt ggf. nie einen erhöhten IOD. Studien haben gezeigt, dass ca. 25 - 50 % der Patienten mit einem Pigmentdispersionssyndrom an einem PDG erkranken werden (13, S. 105). Das Risiko an einem PDG zu erkranken ist für weiße myopische europäische Männer im Alter von 20 bis 50 Jahren am höchsten (3, S. 103). Betroffene Frauen tendieren dazu älter als betroffene Männer zu sein (13, S. 105).

Bei Patienten mit einem PDG sieht man häufig Pigmentablagerungen am Hornhautendothel, dunkel braun pigmentiertes Trabekelwerk, Pigmentablagerungen an den hinteren Zonulafasern (Schreie-Zentmeyers Ring), tiefe vordere Augenkammern und vorübergehend eingeschränktes und verschwommenes Sehvermögen (3, S. 103).

#### 2.1.2.4.4 Uveitisches Glaukom

Das uveitische Glaukom beschreibt die Erkrankung, die indirekt oder direkt aus einer Entzündung der Uvea resultiert. Die Verlegung des Trabekelwerkes entsteht durch Entzündungszellen, Präzipitate, sekundäre Vernarbung und Neovaskularisation des Kammerwinkels (3, S. 105). Durch Synechien des Kammerwinkels kann ein sekundärer Winkelblock entstehen (3, S. 105). Ferner kann Corticosteroidgabe auch ein Faktor in der Erhöhung des IODs sein (3, S. 105). Diese Glaukomart ist am häufigsten mit anterioren Uveitis und mit der chronischen Formen von Uveitis assoziiert (3, S. 105).

Charakteristisch für das uveitische Glaukom ist IOD Steigerung, Schmerzen, Rötung des Auges, Photophobie und verschlechtertes Sehvermögen (3, S. 105).

### 2.1.3 Epidemiologie der Glaukome

Epidemiologische Studien geben einen Einblick, inwieweit eine Erkrankung wie das Glaukom, die Gesellschaft und die betroffenen Individuen beeinträchtigt. In den letzten Jahren wurden weltweit bevölkerungsbasierte Studien zur Prävalenz und Inzidenz des Glaukoms durchgeführt und man ist zu dem Schluss gekommen, dass diese Erkrankung weltweit zu den häufigsten Erblindungsursachen zählt (18, S. 848). Pro Jahr erblinden ca. 1 Mio. Menschen an einer Glaukomerkrankung (6, S. 415). Während Offenwinkelglaukome (OWG) viel häufiger als Winkelblockglaukome (WBG) auftreten, ist die Wahrscheinlichkeit, nach einer Erkrankung an einem WBG zu erblinden, höher (19, S. 2083) (18, S. 848). Die geschätzte globale Prävalenz bei 40-80 Jährigen Personen mit OWG liegt bei 3,5% und mit WBG bei 0,5% (19, S. 2083) (16, S. 1163). Verglichen dazu beträgt die Prävalenz in der europäischen Bevölkerung für das OWG 2,42% (20, S. 2). Die Prävalenz steigt jedoch, sowohl mit dem Alter der Person, als auch mit der Erhöhung der Hautpigmentierung an (11, S. 118) (20, S. 2). Unter genauer Beobachtung wird jedoch sichtbar, dass OWG verstärkt in der Afro-Amerikanischen Bevölkerung zu finden ist und WBG häufiger in der Ost-Asiatischen Bevölkerungsgruppe vorkommt (3, S. 33).

2010 wurde die Anzahl der Glaukomepatienten auf 60,5 Mio. geschätzt (6, S. 415). 2020 waren es schon 76 Mio. Glaukomepatienten, und diese Zahl soll, Schätzungen zu Folge, bis 2040 auf 112 Mio. Fälle steigen (3, S. 33). Diese ist auf die demographische Entwicklung und der mit ihr verbundenen Altersverschiebung innerhalb der Bevölkerung zurückzuführen.

### 2.1.4 Risikofaktoren der Offenwinkelglaukome

Eine Eigenschaft des Offenwinkelglaukoms ist das langsame symptomlose Voranschreiten der Erkrankung und der damit Verbundene unbemerkte progressive Verlust der Sehfähigkeit.

Zu den Risikofaktoren dieser Erkrankung zählen:

- Hoher IOD
- $\geq 50$  Jahre alt
- Positive Familienanamnese
- Erhöhte Hautpigmentierung
- Pseudoexfoliatio
- Dünne zentrale Hornhaut

- Hohe Myopie
- Diabetes Mellitus
- Trauma im Bereich der Augen
- Steroidanwendung (21, S. 71) (3, S. 33)

Die Thematik des geschlechtsbezogenen Risikofaktors ist aktuellen Studien zufolge noch nicht vollständig geklärt. Die Barbados und Rotterdam Studien ergaben jedoch, dass Männer ein höheres Risiko als Frauen haben (ca. 3,6 % über alle Altersgruppen hinweg) (11, S. 118).

Auch die Schwankung des IODs, sowohl kurzfristig als auch langfristig, haben sich als Risikofaktor für die Entstehung eines Glaukoms erwiesen (11, S. 118).

In neueren Studien wurde gezeigt, dass die zentrale Hornhautdicke nicht nur die Genauigkeit der IOD Messungen beeinflusst, sondern ggf. auch als ein separater Risikofaktor für Glaukomschäden eingestuft werden kann (11, S. 119). Eine Anpassung des gemessenen oder des individuellen Ziel-IODs an die zentrale Hornhautdicke, kann den Behandlungsansatz für einen Patienten ändern und evtl. verbessern (11, S. 119).

#### 2.1.5 Therapie

Dem heutigen Wissensstand zufolge, ist die Senkung des IODs die einzige nachweislich wirksame Therapie zur Verringerung des Risikos einer Glaukomentstehung oder eines Fortschreitens der Glaukomerkrankung.

##### 2.1.5.1 Pharmakotherapie

Heutzutage steht Augenärzten ein relativ breites Spektrum an topischen antiglaukom-Medikamenten zur Verfügung, einschließlich Sympathomimetika, Sympatholytika, Carboanhydraseinhibitoren, Prostaglandin-Derivate, Parasympathomimetika und Hyperosmotika.

Durch die Einführung von Prostaglandinanaloga 1996, Carboanhydrasehemmer 1994 und Sympathomimetika im Jahr 1993 wurde der Therapieansatz der Glaukombehandlung deutlich verändert (11, S. 226). Ferner werden seit 1978 Sympatholytika und seit 1877

Parasympathomimetika angewendet (11, S. 226). In jeder Medikamentenklasse stehen mehrere sich unterscheidende Mittel zur Verfügung. Mittel die der gleichen Klasse angehören wirken am selben Rezeptor und haben somit ähnliche Wirkungen auf den IOD.

#### 2.1.5.1.1 Sympathomimetika

Sympathomimetika (adrenerge Agonisten) führen, durch die Stimulation von alpha- oder beta-Rezeptoren, zu einer Freisetzung von Noradrenalin (22, S. 65). Zu den Sympathomimetika zählen die nicht-selektiven Sympathomimetika und die selektiven  $\alpha_2$ -Agonisten.

Die nicht-selektiven adrenergen Agonisten, zu denen Epinephrin und das Prodrug Dipivefrin gehören, werden heutzutage nur noch sehr selten angewendet. Sie aktivieren sowohl die alpha- als auch die beta-Rezeptoren. Epinephrin kann den IOD um bis zu 10% bis 30% senken (11, S. 234). Jedoch kann Epinephrin eine Pupillendilatation verursachen und sollte daher beim Winkelblockglaukom oder bei Patienten mit engem Kammerwinkel mit Vorsicht angewendet werden (11, S. 234). Systemische Nebenwirkungen von Epinephrin und Dipivefrin sind Kopfschmerzen, erhöhter Blutdruck, Tachykardie, Arrhythmie und Unruhe (13, S. 181). Die Nebenwirkungen der nichtselektiven adrenergen Agonisten förderten die Entwicklung spezifischer  $\alpha_2$ -Agonisten.

Brimonidin und Apraclonidin sind die Hauptarzneimittel der selektiven  $\alpha_2$ -Agonisten. Brimonidin (0,2%) kann mittels zweier Mechanismen den IOD um 18% bis 25% verringern: Reduktion der Kammerwasserproduktion und Erhöhung des uveoskleralen Abflusses (3, S. 145). Diese Rezeptoraktivierung führt zu einer Vasokonstriktion im Ziliarkörper und somit zu einer Abnahme der Kammerwasserproduktion (22, S. 65). Jedoch geht dieser Effekt innerhalb von 1 Monat verloren (22, S. 65). Nach dieser Zeit überwiegt die Wirkungen des uveoskleralen Abflusses über Kontraktion des Ziliarmuskels (22, S. 65). Apraclonidin (0,5-1,0%) führt ausschließlich zu einer Verringerung der Kammerwasserproduktion und senkt den IOD um 25% bis 35% (3, S. 145).

Obwohl Brimonidin und Apraclonidin verträglicher als ältere Medikamentenklassen sind, kann es zu Nebenwirkungen für den Patienten kommen. Zu diesen Nebenwirkungen zählen

u.a. Kontaktdermatitis, Uveitis anterior (vordere Uveitis), Hyperämie, Reizung der Augen, Hypotonie und Schwindelanfälle (23, S. 2028).

Die Gabe von selektiven  $\alpha_2$ -Agonisten ist bei Patienten die orale Monoaminoxidase-Hemmer (MAO-Hemmer) einnehmen, die jung sind und die im erwachsenen Alter ein geringes Körpergewicht vorweisen kontraindiziert (3, S. 145).

#### 2.1.5.1.2 Sympatholytika

Sympatholytika, die zur IOD-Senkung eingesetzt werden, gehören der Gruppe der  $\beta$ -Blocker an und sind einer der am häufigsten angewendeten Medikamente zur Behandlung eines Glaukoms. Sympatholytika wirken auf die Gesamtzahl der im Auge vorkommenden  $\beta$ -Rezeptoren. Diese Stoffe sind Inhibitoren der Rezeptoren und verringern die Kammerwasserproduktion im Ziliarkörper indem sie die intrazelluläre cAMP-Konzentration verringern (22, S. 65).

Zu den Sympatholytika zählen Timolol, Carteolol, Levobunolol, Betaxolol und Metipranolol, die jeweils verschiedene Selektivität für  $\beta$ -Rezeptoren und somit auch verschiedene Nebenwirkungen haben (23, S. 2028). Zu den nicht selektiven Wirkstoffen gehören Timolol (0,1-0,5%), Levobunolol (0,25%), Metipranolol (0,1-0,3%) und Carteolol (0,5-2%) (3, S. 143). Sie können den IOD um 20% bis 25% senken (3, S. 143). Zu den beta-1-selektiven Sympatholytika gehört Betaxolol (0,25-0,5%), welches den IOD um ca. 20% senken kann (3, S. 143).

Nicht-selektive beta-Rezeptorantagonisten sind in der Glaukomtherapie das Mittel der ersten oder zweiten Wahl. Diese Wirkstoffe sind, nach den Prostaglandin-Derivaten, die zweitwirksamste Klasse von Verbindungen und sind relativ gut verträglich (11, S. 228).

Zu den Kontraindikationen beider Wirkstoffklassen zählen Asthma, chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), Herzversagen und Sinus-Bradykardie (3, S. 143).

Nebenwirkungen können u.a. Bradykardie, Bronchospasmen, erniedrigter Blutdruck, reduzierte Belastbarkeit und Depressionen sein, allerdings löst Betaxolol (selektiver beta-Blocker) weniger respiratorische Nebenwirkungen aus, als nicht-selektive beta-Blocker (13, S. 177).

### 2.1.5.1.3 Carboanhydrasehemmer

Die Carboanhydrase als Enzym katalysiert die Reaktion von Wasser und Kohlenstoffdioxid zu Bikarbonat und Wasserstoff-Ionen. Im Ziliarepithel können diese Wasserstoff-Ionen gegen Natriumionen ausgetauscht werden (11, S. 230). Ferner kann Bikarbonat gegen Chlorid ausgetauscht werden. Diese beiden Stoffe werden aktiv in das Kammerwasser transportiert, woraufhin Natrium und Wasser passiv folgen (11, S. 230).

Carboanhydrasehemmer inhibieren die Enzyme und führen somit zu einer Verringerung der Kammerwasserproduktion. Um eine suffiziente Wirkung zu haben, müssen bis zu 99% der im Ziliarepithel vorzufindenden Carboanhydrasen gehemmt worden sein (23, S. 2029). Die Wirkstoffe werden in systemische und lokale Anwendung unterteilt.

Systemische Carboanhydrasehemmer, wie Acetazolamid, stehen der Glaukomtherapie schon lange zur Verfügung. Mit einer IOD Reduktion von 30-40% ist diese Wirkstoffklasse auch einer der wirkungsvollsten Therapiemöglichkeiten (3, S. 144). Die Vielzahl an systemischen Nebenwirkungen dieser Wirkstoffe führte jedoch zu der Entwicklung der lokal angewendete Wirkstoffe wie Brinzolamid (1%) und Dorzolamid (2%), welche zu einer IOD Reduktion von 20% führen (3, S. 144).

Lokale und systemische Carboanhydrasehemmer sind Sulfonamide, weshalb besondere Aufmerksamkeit möglichen Überempfindlichkeiten geschenkt werden sollte. Allergische Reaktionen können in Form von Angioödem oder Juckreizen auftreten (22, S. 66). Weitere Nebenwirkungen können bitterer Geschmack, Augenbrennen, Augenstechen, punktförmige Keratopathie, erhöhte Tränenproduktion und verschwommenes Sehvermögen sein (3, S. 144) (23, S. 2029). Systemische Nebenwirkungen der lokal angewendeten Wirkstoffe fallen sehr gering aus und können Kopfschmerzen, Schwindel, Angioödem und Parästhesien sein (3, S. 144). Nebenwirkungen der systemisch angewendeten Wirkstoffe sind hingegen Gewichtsverlust, Kribbeln und Müdigkeit, Taubheitsgefühl in den Extremitäten, metallischer Geschmack im Mund, Durchfall, Übelkeit, Hypokaliämie, Nierensteine, systemische Azidose und ggf. auch Kurzatmigkeit (11, S. 230).

#### 2.1.5.1.4 Prostaglandin-Derivate

Die Wirkstoffklasse der Prostaglandin-Derivate führt durch die Bindung an den PGF-2 $\alpha$ -Rezeptor zu einer Förderung des uveoskleralen Abflusses (24, S. 249). Dies führt somit zu einer drucksenkenden Wirkung in der Glaukomtherapie. Zu den Prostaglandin-Präparaten zählen Latanoprost (0,005%), Tafluprost (0,0015%), Travoprost (0,003-0,004%), Latanoprost Bunod (0,0024%) und Bimatoprost (0,03% und 0,01%) (3, S. 142). Die IOD senkende Wirkung aller oben genannten Wirkstoffe beträgt 25-35% des Ausgangswertes (22, S. 67).

Beide Latanoprost und Travoprost sind sogenannte Prodrugs. Sie diffundieren in die Cornea und werden hier, nach Hydrolyse durch die Corneaesterase, aktiviert (13, S. 175).

Prostaglandin-Derivate werden normalerweise gut vom Patienten vertragen und haben nur sehr wenige systemische Nebenwirkungen. Zu den nicht erwünschten Wirkungen gehören konjunktivale Hyperämie, periorbitale Fettatrophie, Hyperpigmentierung der Augenlidhaut, irreversible Hyperpigmentierung der Iris und Juckreize (23, S. 2030). Nicht-okulare systemische Nebenwirkungen sind Kopfschmerzen, Brustschmerzen, Dyspnoe und Asthma (3, S. 142).

#### 2.1.5.1.5 Parasympathomimetika

Die seit 1877 zur Verfügung stehenden Parasympathomimetika (cholinerge Agonisten) sind die älteste Wirkstoffklasse, die zur Glaukomtherapie verwendet werden (11, S. 232).

Parasympathomimetika induzieren im Ziliarkörper und im Musculus sphincter pupillae eine Kontraktion der glatten Muskelzellen (22, S. 66). Dies führt, durch die Erweiterung des Trabekelwerks und des Schlemm-Kanals, zu einer erhöhten Kammerwasserabflussrate (22, S. 66). Zu dieser Wirkstoffklasse zählen das direkt wirkende Pilocarpine (0,5-4%) und das indirekt wirkende Echothiophate iodide (0,03%) (3, S. 147).

Pilocarpin ist ein Miotikum, das bei einem Winkelblock- oder Engwinkelglaukom eingesetzt werden kann und durch seine miotische Wirkung den Pupillarblock unterdrückt (24, S. 249). Eine Senkung des IOD um 20-25% kann hier erreicht werden (3, S. 147).

In der Vergangenheit waren Parasympathomimetika eine häufig verwendete Therapiemöglichkeit bei Patienten mit Glaukom. Sie werden jedoch, aufgrund einer Vielzahl lokaler und systemischer Nebenwirkungen, immer weniger verwendet. Nebenwirkungen wie z.B. reduziertes Sehvermögen auf Grund von Miosis, Iriszysten, retinale Ablösung, Bronchospasmus und Kopfschmerzen können auftreten (3, S. 147).

#### 2.1.5.1.6 Hyperosmotika

Als Therapie für einen akut erhöhten IOD werden hyperosmotische Mittel verwendet. Übliche hyperosmotische Mittel sind oral verabreichtes Glycerin und intravenös verabreichtes Mannit (13, S. 183).

Systemisch verabreichte Hyperosmotika erhöhen die Blutosmolalität, wodurch ein osmotischer Gradient zwischen Blut und Corpus vitreum (Glaskörper) entsteht (13, S. 183). Dieser Gradient führt zu einer Bewegung des Wassers aus dem Glaskörper in die Blutbahn und führt somit zu einer Senkung des IODs. Je größer die verabreichte Dosis und je schneller die Dosis verabreicht wird, desto größer ist der entstehende Gradient und desto höher ist die Senkung des IODs (13, S. 183).

Diese Wirkstoffklasse ist den Notfallbehandlungen oder den präoperativen Situationen vorbehalten, da es nach der Verabreichung dieser Medikamente zu starken Begleiterscheinungen kommen kann; Störung des Elektrolyt- und Flüssigkeitshaushaltes, metabolische Azidose, periphere Ödeme, Hypotonie und Tachykardie (22, S. 67). Die Herz- und Nierenwerte des Patienten sind vor der Behandlung zu kontrollieren. Hyperosmotika steigern das Blutvolumen. Dies kann wiederum zu einer gesteigerten Belastung des Herzens führen (3, S. 115).

#### 2.1.5.2 Operative Verfahren beim Offenwinkelglaukom

Im Folgenden werden chirurgische Therapieverfahren zu Behandlung des Glaukoms vorgestellt. Unterschieden werden hier die Laserverfahren (Iridotomie, Selektiven Lasertrabekuloplastik (SLT), Argon-Laser-Trabekuloplastik (ALT)), die filtrierenden Verfahren und die nicht filtrierenden Verfahren. Zu den filtrierenden Verfahren, die hier erwähnt werden, zählen die Trabekulektomie (TE) und verschiedene Verfahren der Minimally

Invasive Glaucoma Surgery (MIGS) wie der Preserflo MicroShunt oder XEN-Implantation, sowie die Schlauch-Implantate (Ventile und Ventil-lose Implantate). Zu den nicht filtrierenden Verfahren zählen die Kanalplastik, Trabekulotomie, tiefe Sklerektomie, wie auch die zyklodestruktiven Verfahren.

Eine Befragung der Mitglieder der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG) und des Berufsverbands der Augenärzte Deutschlands (BVA) zeigt eine Bewertung verschiedener interventioneller Therapieverfahren für das Glaukom. Unter den interventionellen Therapieverfahren halten:

- Über 90 % die Trabekulektomie für „sinnvoll“
- 77% die mikroinvasiven Verfahren (MIGS) für „sinnvoll“
- 77% die SLT für „sinnvoll“
- 75% die Zyklphotokoagulation für „sinnvoll“
- 66% die Kanalplastik für „sinnvoll“
- 54% die Zyklodyokoagulation für „sinnvoll“
- 50% die tiefe Sklerektomie für „sinnvoll“
- 35% die ALT für „sinnvoll“ (25, S. 4)

Da der Fokus dieser Arbeit auf dem Trabekulektomieverfahren liegt, wird auf dieses auch stärker eingegangen werden, als auf andere später erwähnte Verfahren.

#### 2.1.5.2.1 Filtrierende Verfahren

Filtrierende Verfahren beinhalten, dass ein neuer Drainagekanal für die Augenkammerflüssigkeit unter die Bindehaut geschaffen wird.

##### 2.1.5.2.1.1 Trabekulektomie

Die Trabekulektomie gilt als Standardtherapie, falls die maximal tolerierbare medikamentöse Therapie zu keiner ausreichenden Drucksenkung führt oder diese entsprechende Nebenwirkungen zeigt. Trotz neuer operativer Verfahren bleibt die Trabekulektomie das am häufigsten durchgeführte chirurgische Verfahren in der Glaukomtherapie und ist seit ihrer ersten Publikation durch Cairns 1968 ein fester Bestand operativer Methoden (26, S. 325). Die heute gängige Form dieses Verfahrens wurde erstmals 1972 von Peter Watson beschrieben (27).

Der chirurgische Eingriff der Trabekulektomie kreiert einen künstlichen Abflussweg für die Augenkammerflüssigkeit unter die Bindehaut und führt zur Bildung eines Sickerkissens. Eine intensive Nachsorge des Sickerkissens ist essenziell um mögliche Komplikationen zu vermeiden (28, S. 9).

Das Ziel der Trabekulektomie ist es den IOD zu senken, in dem die durch den Eingriff entstandenen konjunktivalen Wunden zu einem Verschluss kommen, während es im Bereich der Sklera- und Episklerawunde nur zu einer unvollständigen Heilung kommt (13, S. 194). Es sind verschiedene Risikofaktoren beschrieben, die die Wahrscheinlichkeit für das Versagen einer Trabekulektomie erhöhen. Dazu zählen unter anderem junges Patientenalter, Patienten mit afrikanischer Herkunft, Aphakie, entzündliche Augenerkrankungen, kürzlich durchgeführte intraokulare Eingriffe, ein Neovaskulationsglaukom und der Zustand nach fehlgeschlagenen filtrationschirurgischen Eingriffen (3, S. 163).

#### 2.1.5.2.1.1.1 Ablauf des Verfahrens

Der Trabekulektomie-Eingriff ist ein ca. 30- bis 70-minütiger Eingriff, der unter lokaler Betäubung, aber auch in Vollnarkose durchgeführt werden kann (29). Das Verfahren kann in acht Schritte gegliedert werden:

- *Zugnaht* – Die Zugnaht, normalerweise eine 6-0 oder 7-0 Seidennaht, wird an der oberen durchsichtigen Kornea, in etwa 1mm Entfernung vom Limbus, befestigt (30). Die Kornea darf nicht perforiert werden, da es sonst zu einem Druckverlust des Auges kommen kann. Die Zugnaht dient der Kaudalrotation des Bulbus oculi um besseren Zugang auf das Operationsgebiet zu erhalten. Die Zugnaht kann auch durch Anschlingen des M. rectus superior erfolgen. Diese Naht ist, laut der britischen nationalen Studie zur Trabekulektomie, verglichen zu der Korneanaht, mit einem schlechteren Ergebnis verbunden (31).
- *Konjunktivalschnitt* - Traditionell wird der Konjunktivalschnitt auf 12 Uhr oder in einem der beiden oberen Quadranten positioniert, möglichst in einem Bereich, in dem keine Skleralgefäße liegen (13, S. 195). Studien zeigen, dass bei der Verwendung von antiproliferativen Substanzen das Sickerkissen auf 12 Uhr positioniert werden sollte, um das Risiko einer postoperativen Komplikation zu verringern (13, S. 195). Man unterscheidet den Fornix-basierten Schnitt und den Limbus-basierten Schnitt. Der Fornix-basierte Schnitt ist einfacher durchzuführen, benötigt jedoch ein sorgfältiges

Nähen, um postoperativ einen flüssigkeitsdichten Verschluss herzustellen (13, S. 195). Der Vorteil des Limbus-basierten Vorgehens ist eine bessere Flüssigkeitsdichte des Lappens (13, S. 195). Von Nachteil des Fornix-eröffnenden Zugangs ist das erhöhte Risiko, dass hinter dem Skleralappen eine Narbe entsteht, die zu einer Flüssigkeitsbehinderung und zu einer Förderung der Blasenbildung führen kann (13, S. 195). Im Fornix-basierten Verfahren sollte eine konjunktivale Peritomie mit einer Länge von 6-8 mm superior des Limbus erfolgen (30). Bei diesem Schritt sollte darauf geachtet werden, dass ein glatter Schnitt entsteht der möglichst nah am Limbus zu liegen kommt. Es sollte zusätzlich zu keiner weiteren Verletzung der Sklera oder der Bindehaut kommen. Darauf folgt über eine Fläche von ca. 6x6 mm eine Unterminierung der Konjunktiva um Platz für das spätere Sickerkissen zu kreieren (32, S. e77). Ein 5x5mm Mitomycin C (MMC) Merocel-Schwämmchen mit einer MMC Konzentration von 0,02 bis 0,4 mg/ml wird in den geschaffenen Raum platziert und nach 3 bis 5 Minuten wieder entfernt (30) (33, S. 4). Nach der Entfernung wird der unterminierte Bereich mittels einer 10 ml physiologischen Kochsalzlösung 3 Mal gespült (33, S. 4).

- *Skleralappen* – Die Gestaltung des Skleralappens kann, abhängig vom Chirurgen, unterschiedlich sein. Grundsätzlich gilt, dass ein rechteckiger, oder ein dreieckiger bzw. trapezförmiger Lappen mit Seitenlängen von 3 - 4 mm und halber Skleradicke präpariert wird (13, S. 195). Der Skleralappen wird so gestaltet, dass er seine Basis am Limbus hat und superior des Limbus einen Sklera-Deckel von einer halben Skleradicke hat (6, S. 432).
- *Parazentese* – Um eine Druckkontrolle der vorderen Augenkammer zu ermöglichen, sollte eine Parazentese in der klaren Kornea durchgeführt werden (13, S. 195). Dieses Vorgehen erlaubt das Eingeben von physiologischer Kochsalzlösung und somit die intraoperative Überprüfung der Durchgängigkeit des Filtrationsschnittes. Der Erhalt eines konstanten Druckes in der Augenvorderkammer ist perioperativ wichtig. Bei Druckschwankungen steigt das Risiko einer suprachoroidalen Blutung und schnelle Druckänderungen können die Restfunktion des Sehnervs noch weiter einschränken (31).

- *Sklerostomie* – Der nächste Schritt beinhaltet die Kreierung einer Öffnung in der Sklera. Zwei kleine limbus-parallele Schnitte werden in der klaren Hornhaut unter dem Skleradeckel gesetzt und sollten ca. 1,5 mm lang und ca. 1 mm voneinander entfernt liegen (11, S. 327) (30). Es sollte darauf geachtet werden, dass der Schnittwinkel der beiden Schnitte parallel verläuft (33, S. 6). Mittels einer Schere (z.B. Vannas-Schere) wird nun ein rechteckiger Anteil der Sklera entfernt (33, S. 6).
- *Iridektomie* - Um das Risiko der Verlegung der Sklerostomie durch die Iris zu verringern, sollte eine Iridektomie durchgeführt werden (6, S. 432). Hierbei wird mittels einer Iris-Fasspinzette das Irisgewebe durch die Trabekulektomie gezogen und abgeschnitten (z.B. mittels einer Wecker-Schere) (33, S. 6).
- *Verschluss des Skleralappens* – Vor dem Verschluss des Skleralappens sollte die Wunde mit physiologischer Kochsalzlösung gespült werden. Ferner sollte sichergestellt werden, dass es sowohl zu keiner Einblutung in den zu vernähenden Bereich kommt als auch, dass eine freie Filtrationsöffnung vorhanden ist (11, S. 268). Der Skleralappen muss nun so mit Fäden fixiert werden, dass es zu einer Filtration kommt; Der Kammerwasserfluss wird gedrosselt aber nicht vollständig verhindert. Dies kann bei rechteckigen Skleralappen mit Hilfe von zwei 10-0 Nylonfäden an den superioren Ecken des Skleralappens durchgeführt werden (11, S. 268) (30). Die Eckfäden werden in einem Winkel von 45° zu den Skleradeckelkanten gelegt (33, S. 6). Die Verknotung erfolgt unter dem Skleradeckel (33, S. 6). In Mainz werden zusätzlich an den beiden Flankenanten jeweils noch ein weiterer Faden gelegt um das Risiko einer postoperativen Hypotonie weiter zu reduzieren. Ein dreieckiger Lappen kann mit einer Naht an der Spitze des Dreiecks verschlossen werden (11, S. 268). Anschließend wird mittels physiologischer Kochsalzlösung die Vorderkammer über die Parazentese gestellt und die bestehende Tensio überprüft. Nun werden die beiden seitlichen Nähte gelegt und an die entsprechende Tensiolage angepasst (33, S. 6). Vor Konjunktiva-Verschluss kann die Flussrate angepasst werden, indem Nähte entfernt oder zusätzliche Nähte platziert werden (13, S. 199).
- *Konjunktivaverschluss* – Die Konjunktiva kann durch eine, von der Augenklinik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz entwickelte, mäanderförmigen Schlossnaht verschlossen werden. Diese Technik führt in den meisten Fällen zu einem

vollständigen wasserdichten Verschluss (33, S. 6). Als erstes wird mittels einer Nylon 10-0 Naht an einem Ende eine U-Naht durch die Konjunktiva und lamellierend durch die Cornea gelegt (33, S. 6). Daraufhin wird mit Hilfe dieser Naht die Konjunktiva mit der Cornea mittels einer weiteren U-förmigen Naht adaptiert (33, S. 6). Der Faden wird nun durch die Schlaufe zwischen der ersten und zweiten U-Naht geführt; Es ergibt sich eine mäanderförmige Naht (33, S. 6). Dieser Ablauf wird nun in einem Abstand zur vorherigen Naht erneut wiederholt. Zum Schluss wird das Fadenende mit der vorher platzierten Schlaufe verknotet (33, S. 7). Der Druck der Augenvorderkammer kann mittels einer Parazentese der klaren Kornea mit Hilfe von physiologischer Kochsalzlösung wieder auf 10 bis 12 mmHg angepasst werden (30, Min. 11:30)

#### 2.1.5.2.1.1.2 Häufigkeit

Jährlich werden anhand Daten des Bundesverbandes Deutscher Ophthalmochirurgen (BDOC), des Berufsverband der Augenärzte Deutschland (BVA), der Deutschsprachige Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation (DGII) und der Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft (DOG) Analysen in Bezug auf die Häufigkeit ambulanter und stationärer intraokularchirurgischen Eingriffe, durchgeführt. 2020/21 lag der Anteil von Glaukomoperationen, verglichen mit allen intraokularen Eingriffen, bei 2% (34, S. 350). Von den 20.537 Glaukomoperationen die 2020/21 in der Umfrage aufgenommen wurden, waren 25% (5.162 Fälle) Trabekulektomie-Operationen (34, S. 355). 2015 lag der Anteil von Glaukomoperationen auch bei 2%, jedoch lag der Anteil an Trabekulektomien bei 36%, und somit 11 Prozentpunkte höher als 2020/21 (35, S. 198). Auch in den USA sieht man eine fallende Anzahl an Trabekulektomien die durchgeführt werden. Zwischen 2009 und 2016 fiel die Anzahl an durchgeführten Trabekulektomien um ca. 20% (36, S. 303). In England führten, laut der „UK National Trabeculectomy Survey“, 2016 noch 80% der an der Studie teilgenommenen Glaukom-Operateure >10 Trabekulektomie-Operationen pro Jahr durch (37, S. 1). Befragt wurden hier Mitglieder der „United Kingdom & Eire glaucoma society“ (UKEGS). UKEGS ist eine Organisation, die die Glaukom-Spezialisten des Vereinigten Königreiches repräsentiert. Jedoch sieht man auch hier eine Abnahme der Häufigkeit dieses Verfahrens (37, S. 6).

#### 2.1.5.2.1.1.3 Erfolgsquoten

Die Erfolgsquote der Trabekulektomie liegt für einen „vollständigen Erfolg“ (IOD <20mmHg ohne zusätzliche Medikation) nach 20 Jahren bei 57% und für einen „Erfolg“ (zusätzliche topische Medikamente nötig) nach 20 Jahren bei 88% (38, S. 698). Anderen Studien zufolge liegt der Wert des „vollständigen Erfolgs“ (IOD <21mmHg ohne zusätzliche Medikation) nach ca. 28 Jahren bei 6,3% und der Wert des „qualifizierten Erfolgs“ (IOD <21mmHg mit 1-2 zusätzlichen Gaben von topischer Medikation) bei ca. 66,7% (39, S. 426).

Studien zeigen auch einen kleinen Unterschied in der Erfolgsquote der Trabekulektomie mit und ohne intraoperativ angewendeter Antimetabolite. Ein Erfolg wurde hier durch die Sehschärfe, das Gesichtsfeld und durch die IOD-Senkung (Senkung des präoperativen IODs um >20%, IOD <21mmHg, keine zusätzliche Medikation notwendig) definiert. Die Erfolgsrate lag für die Standard-Trabekulektomie bei 76 % und bei 74 % nach Trabekulektomie mit Verwendung von intraoperativen Antimetaboliten (40, S. 887).

#### 2.1.5.2.1.1.4 Komplikationen und Komplikationsrate

Verschiedene Komplikationen können während oder auch nach einem Trabekulektomie-Eingriff auftreten. Eine Studie aus Minnesota, die zwischen 1985 und 2010 durchgeführt wurde fand heraus, dass über einen Zeitraum von 20 Jahren das kumulative Risiko für Komplikationen im Zusammenhang mit einer Trabekulektomie 45% beträgt (41).

Diese Komplikationen können in intraoperative Komplikationen, Früh- (< 3 Monate postoperativ) und Spätkompliationen ( $\geq$  3 Monate postoperativ) unterteilt werden.

Intraoperative Komplikationen können Bindehautdefekte, mit dem Skleralappen verbundene Komplikationen, Blutungen, Irisprolaps und Glaskörperprolaps sein (42, S. 522) (43, S. 1031). Die am häufigsten vorkommende intraoperative Komplikation und Frühkompliation ist die Vorderkammerblutung (Hyphäma), die bei bis zu 21% der Patienten auftreten kann (44, S. 245).

Zu den Frühkompliationen zählen:

- Hypotonie (17%) mit seröser Aderhautschwellung (7%) oder Vorderkammerabflachung, sowie hypotoner Makulopathie

- Unzureichende Tensiosenkung (15%)
- Undichtes Sickerkissen (13%) mit Seidelpositivität
- Suprachoroidale Blutung (7%)
- Endophthalmitis (1%)
- Verschlechterung des Gesichtsfeldes
- Persistierende Uveitis (41) (44, S. 245-246) (13, S. 203)

Zu den Spätkomplikationen zählen:

- Hypotonie (13%)
- Vernarbtes Sickerkissen (11%)
- Endophthalmitis (8%)
- Blebitis (2%)
- Linsentrübung (Katarakt)
- Retraktion des Augenlids
- Hypertonie (41) (44, S. 245-246) (13, S. 203)

Komplikationsraten nach einer Therapie unter Verwendung von MMC (0,02 mg/ml) waren grundsätzlich ca. 30% geringer als nach einer Therapie ohne dessen Verwendung (41). Nichtsdestotrotz wird MMC auch mit potenziell visusbedrohenden Komplikationen verbunden. Dazu zählen: Keratitis, Hypotonie infolge von Ziliarkörperinsuffizienz und Endophthalmitis (45, S. 27). Bindlish et. al. zu Folge trat bei 42,2 % der Augen nach 26,1 Monaten Hypotonie (IOD < 6) auf (46, S. 1339).

#### 2.1.5.2.1.2 Minimally Invasive Glaucoma Surgery (MIGS)

Die „Minimally Invasive Glaucoma Surgery“ (MIGS) hat das Ziel den IOD sicherer und weniger invasiv zu senken, als herkömmliche chirurgische Verfahren (47, S. 189). Die Definition der MIGS-Verfahren bei Glaukomoperationen beschreibt minimalinvasive Eingriffe, die über einen ab-interno- oder ab-externo-Zugang durchgeführt werden, ein geringes Operationstrauma verursachen, dabei effektiv und sicher sind und ein einfaches postoperatives Management ermöglichen (48, S. 97). Typischerweise wird eine postoperativ höhere Tensiolage erreicht, allerdings mit weniger Komplikationen als durch eine Trabekulektomie. Diese Therapieverfahren sind insbesondere für Patienten mit leichtem bis

mittelschwerem Glaukom geeignet, jedoch ist zu beachten, dass die Tropfenfreiheit nach der Operation selten gewährleistet ist (3, S. 166).

Es gibt grundsätzliche drei Hauptansätze zur IOD-Senkung der MIGS; die Verbesserung des uveoskleralen Abflusses über suprachoroidale Bahnen, die Verbesserung der Abflussrate des Trabekelwerkes, und die Verschaffung eines zusätzlichen subkonjunktivalen Abflusskanals (47, S. 190).

#### *2.1.5.2.1.2.1 PreserFlo MicroShunt und XEN-Implantation*

Das Funktionsprinzip des XEN-Implantats und des PreserFlo MicroShunts ist ähnlich. Sie leiten beide Kammerwasser subkonjunktival ab und im Verlauf beider Verfahren werden intraoperativ Mitomycin C angewendet (49, S. 433).

Der 8,5 mm lange PreserFlo MicroShunt besteht aus einem stabilen und flexiblen Polymer und wird ab externo implantiert (49, S. 433) (50, S. 3). Das Kammerwasser, das aus der Vorderkammer abgelassen wird, wird über den MicroShunt unter die Bindehaut abgeleitet und bildet ein Sickerkissen (50, S. 3). Da dieses Verfahren relativ neu ist gibt es noch nicht viele Studien bezüglich der Langzeit-Erfolgsraten, jedoch weist eine 5 Jahres Studie von Batlle et al einen Gesamterfolg (mit und ohne Medikamenteneinnahme, ein Sickerkissen-Needling wurde nicht als Misserfolg gewertet) von 82,6 % auf (51, S. 284).

Das XEN-Implantat ist ein Röhrchen aus Schweinegelatine mit hydrophilen Eigenschaften (52, S. 774). Das Implantat hat, nach Kontakt mit Flüssigkeit, die Eigenschaft, innerhalb von 1-2 Minuten aus seinem harten Zustand in einen weichen Zustand überzugehen und vermag sich somit der Gewebeform anzupassen (52, S. 774). Das XEN wird häufig über einen ab interno-Zugang mit einem Injektor implantiert, jedoch kann die Implantation auch über einen ab externo-Zugang erfolgen (49, S. 433). Der „Erfolg“ (der Ziel IOD wurde ohne zusätzliche Glaukomeingriffe erreicht, mit oder ohne IOD-senkende Medikamente, ein Sickerkissen-Needling oder -revision wurde nicht als Misserfolg gewertet) liegt laut Studien nach einem Jahr bei 73% (49, S. 436).

Zu den Komplikationen dieser Verfahren zählen u.a.: Hyphäma, Hypotonie mit oder ohne Hypotoniezeichen, seröse Aderhautschwellung. Implantatkomplikationen, Hornhautödem und ein ziliolentrikulärer Block (49, S. 437) (51, S. 285).

#### 2.1.5.2.1.3 Drainageimplantat

Ein Drainageimplantat schafft einen neuen Abflussweg für das Kammerwasser. Es gibt verschiedene Ansätze des Drainageimplantates, jedoch drainieren die meisten Implantate das Kammerwasser mittels eines Schlauches in Richtung der Implantatplatte ab. Ein Unterschied der Implantate ist der Aufbau; Es gibt Implantatsysteme mit, und ohne Ventil. Zu den Implantaten mit Ventil zählen die Systeme nach Ahmed und nach Krupin (53, S. 347) (54, S. 232). Die Implantatsysteme nach Molteno, nach Baerveldt, nach Schocket und nach Paul arbeiten ohne ein solches Ventil (55, S. 124) (56, S. 2312).

Traditionell wird das Drainageimplantat nur bei der Behandlung von refraktären Glaukomen eingesetzt. Immer häufiger wird dieses Verfahren auch frühzeitig in der Glaukomtherapie eingesetzt, in manchen Fällen sogar schon als primärer chirurgischer Eingriff (v. a. bei Sekundärglaukom bei Uveitis oder Neovaskularisationsglaukom) (57, S. 1318).

Das Implantat besteht aus einem Silikonschlauch mit einem internen Durchmesser, der abhängig von der Art des Implantates, variiert. Zum Beispiel hat das Implantatsystem nach Paul einen internen Durchmesser von 0,127 mm und das Implantatsystem nach Ahmed einen internen Durchmesser von 0,305 mm (58, S. 450) (6, S. 433). Dieser wird in die Augenvorderkammer implantiert und leitet die Augenkammerflüssigkeit zu einer unter der Konjunktiva sitzenden Kunststoffplatte ab (6, S. 433).

Auch im Falle dieser Therapieart können Komplikationen auftreten; Kapselbildung im Bereich der Platte, Infektionen, Blutungen, starker IOD Abfall, Katarakt und Verlust des Sehvermögens, wie auch auf längere Sicht eine Abnahme der Hornhautendothelzellzahl mit folgenden Hornhaut-Komplikationen (59).

## 2.1.5.2.2 Nicht filtrierende Verfahren

### 2.1.5.2.2.1 Kanaloplastik

Bei diesem Verfahren wird der Augapfel nicht operativ eröffnet, wodurch es postoperativ zu einer geringeren Anzahl an Komplikationen kommt als beispielsweise bei einer Trabekulektomie. Stand heute gibt es schon mehr als 50 klinische Studien, die zeigen, dass die Kanaloplastik eine gute drucksenkende Wirkung aufweist (60, S. 1).

In der Kanaloplastik wird mittels Hyaluronsäure der Schlemm-Kanal erweitert und zusätzlich dazu wird ein Faden in den Schlemmkanal eingebracht, der später gespannt wird (6, S. 433). Dies soll zu einer anhaltenden Erweiterung des Schlemm-Kanals und des Trabekelwerks führen und zu einer Senkung des IODs um bis zu 42,2% (60, S. 2).

### 2.1.5.2.2.2 Trabekulotomie

Das Verfahren der Trabekulotomie wird häufig im Zusammenhang mit dem kongenitalen Glaukom verwendet und ist als Therapie für das erwachsene Glaukom weniger effektiv (3, S. 164). Die Trabekulotomie reduziert den IOD in dem sie zu einer Abflussförderung durch den Schlemm-Kanal führt. Während des Verfahrens wird eine Sonde oder ein Katheter nach der Entdachung des schlemmschen Kanal von diesem in den Kanal eingeführt. Darauf folgend wird der Schlemm-Kanal unter rotierender Bewegung Richtung Vorderkammer aufgerissen und der Abflusswiderstand im Bereich des Trabekelmaschenwerks in den Schlemm-Kanal reduziert (61, S. 856). Zu den Komplikationen der Trabekulotomie zählen Hyphäma, Vorderkammerreizung und Infektionen (13, S. 220).

### 2.1.5.2.2.3 Tiefe Sklerektomie

Die tiefe Sklerektomie wurde 1989 von Fjodorov entwickelt und später von Kozlov und Stegmann angepasst und verbessert (62, S. 313).

In diesem Verfahren wird zunächst ein Skleralappen mit einer Größe von 4 x 4 mm präpariert (62, S. 313). Ferner wird eine Eröffnung des Schlemm-Kanals und des Trabekelwerks durchgeführt (63, S. 171). Die Innenwand des Schlemm-Kanals und Descemet-Membran

wird zwischen Vorderkammer und Skleradeckel belassen, wodurch eine überschießende Abflussrate postoperativ vermieden werden kann (6, S. 433).

#### 2.1.5.2.2.4 Zyklodestruktive Verfahren

Zu den zyklodestruktiven Verfahren gehören die Zyklphotokoagulation und die Zyklokryokoagulation. In diesen Verfahren kommt es durch die Zerstörung von Ziliarkörperzellen zu einer Verringerung der Kammerwasserproduktion und somit auch zu einer Verringerung des IODs (64, S. 2273). Laut der Leitlinien der European Glaucoma Society (EGS) sollte dieses Verfahren nur dann angewendet werden, wenn ein vorheriger Filtrationseingriff voraussichtlich fehlschlägt oder bereits fehlgeschlagen ist (3, S. 161).

#### 2.1.5.2.2.5 Zyklphotokoagulation

Die Zyklphotokoagulation dient der Senkung des IODs, in dem mittels eines Infrarotlaser, eine Koagulation des Ziliarepithels erreicht wird (6, S. 431).

Zu den unterschiedlichen Zyklphotokoagulationsverfahren zählen:

- Transpupilläre Zyklphotokoagulation
- Transsklerale Cyclophotokoagulation
- Nd:YAG-Laser
- Halbleiterdiodenlaser
- Micropuls transsklerale Zyklphotokoagulation
- Endoskopische Zyklphotokoagulation (65, S. 56-57)

Studien zeigen auf, dass in ca. 63-89% der Verfahren sich eine erfolgreiche Senkung des IODs auf  $\leq 22$ mmHg zeigt (65, S. 58).

Komplikationen der Zyklphotokoagulation können Entzündungen, Hyphäma, Gesichtsfeldverlust und Hypotonie mit folgender Phthisis bulbi sein (3, S. 161).

### 2.1.5.2.3 Lasertherapie

#### 2.1.5.2.3.1 Selektive Lasertrabekuloplastik

Die selektive Lasertrabekuloplastik (SLT) ist eine Weiterentwicklung der Argonlasertrabekuloplastik und dient der Senkung des IODs bei Patienten mit POWG und PXG (3, S. 158) (66, S. 326).

Dieses Verfahren wird mittels eines Lasers, der im Grünbereich emittiert, durchgeführt (6, S. 431). Der Laser wird auf das pigmentierte Trabekelwerk gezielt und zerstört diesen mittels kurzer Impulse, die intrazelluläre Veränderungen auslösen, ohne Schäden an dem angrenzenden nicht pigmentierten Gewebe hervorzurufen (66, S. 326).

Durch die SLT kommt es zu einer IOD Senkung um 12 - 31%, mit einer Erfolgsquote von 32-58% (67, S. 117). Die Erfolgsquote ist bei weniger pigmentierten Trabekelwerk geringer als bei stark pigmentierten (6, S. 431).

#### 2.1.5.2.3.2 Argon Laser Trabekuloplastik

Anders als die SLT wird für die Argon Laser Trabekuloplastik (ALT) ein Argon Laser mit einer ununterbrochene Welle verwendet, wobei ein zeitlich konstante Welle abgestrahlt wird (3, S. 158). Die Erfolgsquote des SLT und des ALT Verfahrens sind annähernd ähnlich, jedoch ist hervorzuheben, dass die ALT zur Vernarbung im Bereich des Kammerwinkels führen kann (3, S. 158).

### 2.1.6 Wundheilungsmodulation des Trabekulektomie-Verfahrens: Intraoperative Anwendung von Antimetaboliten

Während der Trabekulektomie präpariert der Operateur, wie bereits unter 3.1.5.2.1.1.1. beschreiben, ein Sickerkissen um das Abfließen des Kammerwassers zu ermöglichen. Vernarbungen im Präparationsbereich während des Heilungsprozesses können dazu führen, dass der Abflussweg verlegt wird und es zu einem Druckanstieg und somit zu einem Misserfolg der Operation kommt. Antimetaboliten, darunter Mitomycin-C (MMC) und 5-

Fluorouracil (5-FU), wurden erstmals in den frühen 1980er Jahren verwendet, um die Wundheilung zu verbessern (68, S. 6).

Antimetabolite, wie Mitomycin-C und 5-Fluoruracil, werden routinemäßig in Glaukom Filtrationsoperationen angewendet. Diese dienen der Verhinderung postoperativer konjunktivaler Vernarbung und sollen den Abfluss des Kammerwassers erleichtern (3, S. 167). Jedoch ist die Verwendung dieser Antimetabolite während Augenoperationen „off-label“, dennoch gilt ihre Verwendung heutzutage als ein Standardverfahren.

#### 2.1.6.1 Mitomycin-C

Die Isolation von MMC gelang 1954 in Japan aus *Streptomyces caespitosus* (69, S. 1946). Dieses Antimetabolit ist ein Alkylierungsmittel, welches die Synthese der DNA hemmt (69, S. 1946). Als Folge dieser Wirkung kann eine Narbenbildung verhindert werden, indem die Vermehrung von Fibroblasten gehemmt wird, welche Narbengewebe produzieren.

MMC ist ein Prodrug, bei dem die aktiven Metabolite intrazellulär entstehen. Die Reduktion des MMC zu seiner metabolisch aktive Form wird durch Cytochrom P-450-Reduktase vermittelt und ist in einer hypoxischen Umgebung am effektivsten (69, S. 1946).

Intraoperativ sollte MMC mit einer Konzentration von 0,02-0,5 mg/ml verwendet werden (3, S. 168). Diese Verabreichung geschieht entweder mittels eines getränkten Schwammes oder mittels subkonjunktivaler Injektion (3, S. 168). Im Falle der Verwendung eines getränkten Schwammes beträgt die Kontaktzeit ca. 1-5min, mit darauf folgender gründlicher Spülung mittels 10-20ml physiologischer Kochsalzlösung (3, S. 168).

Eine Arbeit der Cochrane Collaboration von elf klinischen Studien mit 698 Patienten kam zu dem Schluss, dass MMC das relative Risiko eines Misserfolges der Trabekulektomie, sowohl bei Augen mit hohem Misserfolgsrisiko (relatives Risiko 0,32) als auch bei primären Operationen (relatives Risiko 0,29), verringert (68, S. 1). Weitere Studien zeigen, dass die Erfolgsquote einer Trabekulektomie bei hochrisikobehafteten Augen zwischen 80 und 88% liegt (69, S. 1947).

Die Verabreichung von MMC während einer Trabekulektomie kann zur Entwicklung dünnwandiger, avaskulärer Sickerkissen und in manchen Fällen auch zu undichten

Sickerkissen führen (11, S. 275). Dies prädisponiert das operierte Augen für Infektionen (69, S. 1947). Je höher die Konzentration des verwendeten MMC ist, desto höher ist das Risiko für die Entwicklung eines dünnwandigen Sickerkissens (69, S. 1947).

#### 2.1.6.2 5-Fluorouracil

1984 wurde ein Bericht über das erste erfolgreiche Tiermodell veröffentlicht, das die Wirksamkeit von 5-FU bei der Verhinderung einer Vernarbung darstellte (70, S. 12). Die Wirkung des 5-FU basiert, ähnlich wie MMC, auf seiner Auswirkung auf die DNA. Dieser pyrimidinanalogon Antimetabolit hemmt die Synthese der DNA mittels Blockierung der Thymidylat-Synthese (70, S. 12).

Intraoperativ sollte 5-FU mit einer Konzentration von 25-50 mg/ml verwendet und mittels eines getränkten Schwammes oder mittels subkonjunktivaler Injektion verabreicht werden (3, S. 168). Die Kontaktzeit beträgt normalerweise ca. 5 min, mit darauffolgender Spülung mittels mindestens 20ml physiologischer Kochsalzlösung (3, S. 168).

Die Ergebnisse mehrerer Studien zeigen einen Vorteil durch die intraoperative Verwendung von 5-FU-Injektionen bei hochrisikobehafteten Augen und bei primären Trabekulektomie mit einer Risikoreduktion von 67% verglichen zu Verfahren ohne intraoperativer 5-FU Gabe (70, S. 20).

Jedoch treten auch im Falle einer 5-FU Gabe Komplikationen, in Form von einer Verdünnung der Wand des Sickerkissens, auf. Auf Grund dieser Komplikation wird das Risiko für eine Seidelpositivität um 50% erhöht (70, S. 21). Generell belegen Studien, dass das Risiko eines Misserfolges der Trabekulektomie ein Jahr postoperativ bei intraoperativer MMC Gabe geringer ist, als bei intraoperativer 5-FU Gabe (71, S. 13).

#### 2.1.7 Postoperative Eingriffe

Postoperative Komplikationen nach einer Trabekulektomie müssen rechtzeitig erkannt und behandelt werden, um langfristige Schäden zu vermeiden. Häufig treten Komplikationen, wie zum Beispiel Hypertonie, verlegte Abflusswege und zu hohe Abflussrate innerhalb der ersten Wochen auf (43, S. 1029).

Eingriffe nach einer Trabekulektomie fallen in zwei Kategorien:

- Behandlung bei einem IOD außerhalb des Zielwertes
- Behandlung bei Komplikationen

Das rasche Erkennen von Komplikationen erlaubt es dem Augenarzt rechtzeitige Therapieentscheidungen zu treffen. Dazu zählen: postoperative 5-FU Gabe, Suturolyse, Needling oder Revisionen.

#### 2.1.7.1 Postoperative 5-Fluorouracil-Applikation

In heutigen Verfahren werden intraoperative Verabreichungen von Antimetaboliten bevorzugt, dennoch gilt auch die postoperative Injektionen von 5-FU schon als Standardtherapie (70, S. 13).

Auch die postoperative Gabe von 5-FU wird mittels einer subkonjunktivalen Injektion durchgeführt; die Dosis und Häufigkeit kann jedoch variieren (70, S. 12). Die Injektion sollte neben, jedoch nicht in das Sickerkissen, mit Hilfe einer dünnen 30G Nadel, erfolgen (3, S. 168).

Laut der European Glaucoma Society sollte die Injektion die Konzentration 0,1ml einer 50 mg/ml unverdünnten Lösung betragen (3, S. 168).

Die Ergebnisse mehrerer Studien zeigen einen Vorteil durch die intraoperative Verwendung von 5-FU-Injektionen bei hochrisikobehafteten Augen mit einer 56 prozentigen Verringerung des Risikos eines Misserfolgs (70, S. 20). Im Fall einer primären Trabekulektomie kam es zu einer Risikoreduktion um 79% verglichen zu Verfahren ohne intraoperativer 5-FU Gabe (70, S. 20).

Der IOD konnte sowohl in hochrisikobehafteten Augen als auch in Fällen mit einer primärer Trabekulektomie durch die postoperatives 5-FU reduziert werden (70, S. 2).

Zu Komplikationen dieses Eingriffes zählen epitheliale Unruhe und Erosio corneae (71, S. 15)

### 2.1.7.2 Suturolyse

Die postoperative Betreuung des behandelten Patienten ist essenziell, um den Erfolg einer Trabekulektomie zu gewährleisten. Tensionswerte im Zielbereich (z.B. von unter 18 mm Hg), unauffälliges Sickerkissen, keine Vernarbung oder Infektion, sowie eine ausreichende Vaskularisation sind Teil eines guten postoperativen Ergebnisses (72).

Kommt es zu dem Fall, dass das Sickerkissen abflacht und der IOD auf einen Wert außerhalb des Zielbereichs innerhalb der ersten 48 Stunden steigt, sollte ein drucksenkender Eingriff, in Form einer postoperativen Fadendurchtrennung mittels Laser (Suturolyse) durchgeführt werden (72). Die subkonjunktival liegenden Nylonfäden, die der Abdichtung und der Kontrolle der Filtrationsrate dienen, können mittels Laserbehandlung durchtrennt werden (72). Das Resultat dieses Vorgehens ist die Steigerung des Kammerwasserabflusses und somit die Senkung des IODs.

Das zeitliche Fenster, um eine Suturolyse ohne Antimetaboliten durchzuführen, beträgt die ersten ca. 21 Tage postoperativ, wobei die Wirksamkeit dieses Eingriffes schon nach 14 Tagen nachlässt (11, S. 249). Unter Einsatz von Antimetaboliten verlängert sich dieses Zeitfenster auf bis zu 4–6 Wochen postoperativ (11, S. 249).

Für die Suturolyse lässt sich der Argonlaser einsetzen. Um ein gutes Ergebnis zu erlangen, sollte während dieses Prozesses ausreichend Druck auf die Konjunktiva und Tenon-Kapsel ausgeübt werden (73, S. 364). Dies führt zu einer Ischämie der Blutgefäße und dazu, dass der Faden nur noch von einer sehr dünnen Gewebsschicht bedeckt ist. Zu viel Blut führt zu einer erhöhten Absorption des Laserstrahls, welches zu einer Traumatisierung des umliegenden Gewebes und zu erschwerten Bedingungen für die Durchtrennung der Naht führen kann (73, S. 364).

Eine Komplikation der Suturolyse ist, dass eine genaue voraussagbare Drucksenkung nicht möglich ist, weshalb es zu einer Hypotonie und zu einer Vorderkammerabflachung kommen kann (73, S. 364).

### 2.1.7.3 Needling

Das Verfahren des Needlings ist ein postoperativer Eingriff, der stattfinden kann, falls der durch die Trabekulektomie geschaffene Abflussweg vernarbt ist. Dies kann auf Grund von Narben- oder Zystenbildung geschehen. Dieser Eingriff kann als wirksames und sicheres Verfahren nach erfolgloser Trabekulektomie angesehen werden und die Chance auf Wiederherstellung der Funktion des Abflussweges ist gut (74, S. 11). Aus diesem Grund wird das Verfahren des Needlings häufig in den ersten Monaten postoperativ bei Misserfolg angewendet (75, S. 577). Dennoch ist zu beachten, dass häufig postoperativ nach einem Needling eine Hypotonie auftritt (74, S. 10).

Während des Needlings werden zuerst subkonjunktivale bzw. episklerale Verwachsungen im Bereich des Sickerkissens mit einer 20G-Nadel gelöst. Stellt sich hierauf das Sickerkissen nicht, kann mittels dieser 20G-Nadel vorsichtig der Skleradeckel angehoben bzw. freipräpariert werden und in die Vorderkammer eingegangen werden (75, S. 578). Es muss darauf geachtet werden, dass die Konjunktiva und die Sklera nicht akzidentiell an einer anderen Stelle verletzt werden. Dieses Verfahren kann während des postoperativen Heilungsprozesses mehr als einmal durchgeführt werden.

Die Erfolgsrate des Needlings beträgt, Studien zu Folge, nach 6 Monaten 64,2 %, nach 12 Monaten 54,3 %, nach 24 Monaten 45,7 % und nach 48 Monaten 13,0 % (76, S. 1148). Dies zeigt, dass es sich hier um ein kurz- und mittelfristig wirksames IOD stabilisierendes Verfahren handelt, jedoch zeigen Langzeitergebnisse, dass letztendlich eine zusätzliche Intervention notwendig ist.

### 2.1.7.4 Offene Revision

Falls es zu einem Misserfolg einer Trabekulektomie kommt, ist die offene Revision ein Therapieversuch um den IOD zu stabilisieren. Diese Art von Eingriff erfordert große Vorsicht im Umgang mit der Konjunktiva und dem Sklerallappen. Die Revision dient der Lösung der Vernarbungsplatte, welche den Abflussweg verlegt hat (43, S. 1036). Auch hier können Antimetaboliten wieder zum Einsatz kommen.

Eine Revision bei Sickerkissenversagen kann über einen Limbus- oder Fornix-Einschnitt durchgeführt werden, wobei der posteriore Ansatz, Studien zu Folge, bessere Ergebnisse erlangt (77, S. 131). Dennoch wird der anteriore Ansatz häufig verwendet, so auch in der Augenklinik und Poliklinik der Universitätsmedizin Mainz.

Für die posteriore Revision muss das Auge mittels einer Naht nach unten gedreht werden, da die initiale Inzision in der Nähe des Fornix liegt. Um einen Zugang zum fehlerhaften Bereich des vorherigen Präparationsgebietes zu ermöglichen, sollte die Inzision so weit wie möglich vom Limbus und dem Operationsfeld entfernt liegen, und eine ausreichende Breite vorweisen (77, S. 132). Die Bindehaut muss in der Regel großzügig eröffnet werden um eine gute Darstellung des Skleradeckels zu ermöglichen und ggf. unerwünschte und unkontrollierte Risse der Konjunktiva zu vermeiden. Für eine erfolgreiche Revision ist es oft nicht nötig den gesamte Skleradeckel frei zu präparieren (77, S. 133). Auch die Revision erfordert die Anwendung von Antimetaboliten, welche nach der Diathermie mittels eines getränkten Schwammes appliziert werden. Der Skleralappen sollte ausreichend locker und offen präpariert werden, so dass an dieser Stelle kein Abflusswiderstand auftreten kann. Nun folgt die Korrektur der vorherigen Sklerostomie. Ferner ist es erforderlich innen liegende Strukturen (Iris-, Glaskörper- oder Linsenstrukturen), die den Abfluss behindern könnten, zu entfernen (77, S. 135). Der Skleradeckel wird nun durch Nylon-Fäden vernäht und ein neues Sickerkissen wird durch den Verschluss der Konjunktiva mittels einer Schlossnaht neu gebildet (77, S. 136).

Die Erfolgsrate dieses Verfahrens gilt, auf Grund von einer hohen technischen Schwierigkeitsstufe, als relativ gering. Studien zu Folge liegt die Erfolgsquote zwischen 53% und 63% (78, S. 822) (79, S. 1713).

## **2.2 Stand der Wissenschaft in der Auswirkung der Erfahrung des Operateurs auf den Therapieerfolg in der Augenheilkunde**

Den Einfluss, den die Erfahrung eines Operateurs auf die intra- und postoperativen Ergebnisse eines klinischen Eingriffes hat, wird heutzutage häufig diskutiert. Die Erfahrung eines Chirurgen wird dann auf den Grad der Spezialisierung, die Anzahl der durchgeführten Operationen pro Jahr oder andere mathematisch berechenbare Punkte reduziert. Es gibt

ebenfalls subjektive Elemente, wie Fähigkeiten, Selbstvertrauen oder Intuition, die nicht zu unterschätzen und nicht einfach zu berechnen sind.

Zum Beispiel benötigt die Beurteilung der richtigen Abflussrate in einer Trabekulektomie Erfahrung und Intuition. Dieser Aspekt macht einen großen Teil der „Kunst“ der Trabekulektomie aus (11, S. 270).

Eine 2015 veröffentlichte systematische Übersichtsarbeit von Maruthappu et. al. bezog 57 Studien ein, darunter 1.061.913 Fälle und 35 verschiedene Verfahrensarten, welche von 17.912 Chirurgen in 16 unterschiedlichen chirurgischen Gebieten durchgeführt wurden (80, S. 643). Die Studie besagte, dass erhöhte Erfahrung mit besseren Resultaten verbunden sei. Eine höhere Anzahl, sowohl an praktizierenden Jahren, als auch an Operationsvolumen führten zu diesem Ergebnis (80, S. 645). Nach einer Erlernungsphase kommt es häufig zu einem Plateau der Erfolgsrate, nach 1 bis 15 Jahren oder 25 bis 750 Fälle (80, S. 645). Auch zeigte die Studie, dass in einigen Fällen es nach der Plateauphase zu einer Verschlechterung der Ergebnisse kommen kann. Hierbei kann es durch Zunahme der Fallvolumen oder der Anzahl an praktizierten Jahren zu einer Verschlechterung der Leistung kommen (80, S. 645). Diese Verschlechterungen können, laut Maruthappu et. al, durch geistige Ermüdung und verringerte Stresstoleranz hervortreten, aber auch durch die mit dem gesteigerten Dienstalter einhergehende höhere Verantwortung in Forschung, Verwaltung und Führungsfunktion und somit gleichzeitig abnehmende Behandlungsanzahl (80, S. 645).

Die Augenheilkunde bietet eine sehr gute Möglichkeit das postoperative Ergebnis direkt zu beobachten und somit den Operateur zu beurteilen. Kleinste Komplikationen und Wertänderungen, wie beispielsweise der IOD, der Grad einer Entzündung oder die Sehschärfe, können präzise beurteilt werden.

Eine Studie aus 2021 untersuchte den Einfluss der Erfahrung eines Chirurgen auf das Ergebnis einer Kataraktoperation. Der Studie zu Folge gab es keinen signifikanten Unterschied bezüglich des IODs, des Tyndall-Phänomens, des Hornhautvolumens, der zentralen Endothelzellzahl und der zentralen Endothelzelldichte, zwischen Fällen die von unerfahrenen und die von erfahrenen Chirurgen behandelt wurden (81, S. 1002). Jedoch gab es einen signifikanten Unterschied in der Anzahl an intra- und postoperativen Komplikationen. Während es in der Gruppe der erfahrenen Chirurgen nur eine Komplikationsrate von 2% gab, lag dieser Wert für unerfahrene Chirurgen bei 18% (81, S. 1002).

Somit kann man feststellen, dass in diesem Vergleich bestimmte Bereiche von der Erfahrung eines Operateurs abhängig sind, während anderer Bereiche unabhängig davon bleiben.

### **2.3 Ziel der Studie**

Das Ziel dieser Studie ist es den Therapieerfolg der Trabekulektomie in den verschiedenen Stadien der operativen Ausbildung von einem Operateur zu vergleichen.

Zusätzlich sollten Faktoren, die den Erfolg der Trabekulektomie beeinflussen systematisch identifiziert werden.

Diese Ziele wurden verfolgt, um einen Einblick in die Auswirkung, den die Erfahrung eines Operateurs auf den Therapieverlauf hat, zu erlauben und in Zukunft ein besseres Verständnis für die verschiedenen Faktoren, die diesen Erfolg beeinflussen können, zu ermöglichen.

## **3 Methodik**

### **3.1 Patientenpopulation**

#### 3.1.1 Einschlusskriterien

Diese Studie schloss alle Patienten, die die Diagnose ‚Glaukom‘ oder therapierefraktäre Okuläre Hypertension auf mindestens einem Auge erhalten haben und sich eine Trabekulektomie unterzogen haben ein. Diese Patienten mussten von dem in der Studie eingeschlossenen Operateur in dem Zeitraum von 2019 bis 2022 operiert worden sein.

#### 3.1.2 Ausschlusskriterien

Auch ausgeschlossen werden Patienten, die zwar auf Grund eines Glaukoms eine Trabekulektomie in der Universitätsmedizin Mainz erhalten haben, jedoch nicht von dem in der Studie eingeschlossenen Operateur behandelt worden sind. Ein weiteres Ausschlusskriterium war das Fehlen von postoperativen IOD-Werten ab drei Monaten nach der Operation.

## 3.2 Datensammlung

### 3.2.1 Patienten-Charakteristika

Diese Studie wurde als eine retrospektive Beobachtungsstudie durchgeführt. Konsekutiv wurden alle Patienten ausgewählt, die eine Trabekulektomie (TE) zwischen 2019 und 2022 von dem Operateur erhalten hatten. Für alle Patienten wurden klinische Daten und Befunde durch systematische Überprüfung von SAP-Patientenakten gesammelt. Die Patienten wurden in konsekutiver Reihenfolge in fünf Gruppen eingeteilt: G1: 1-50, G2: 51-100, G3: 101-150, G4: 151-200, G5: 201-300.

#### 3.2.1.1 Patientendaten

Aus der Krankenakte wurde erhoben:

- Stammdaten des Patienten (Alter, Geschlecht)
- Glaukomdiagnose
  - POWG, PXG, PDG, kongenitales Glaukom, uveitisches Sekundärglaukom, Normaldruckglaukom. Alle weitere Glaukomarten wurden, auf Grund von ihrer Seltenheit, unter „weitere Glaukome“ zusammengefasst.
- Vorgeschichte der Erkrankungen und Operationen
  - Pseudophakie (ja/nein)
  - Z.n. TE, selektive Lasertrabekulektomie, kontrollierte Zyklophotokoagulation, Zyklokryo, Pars-plana-Vitrektomie und andere Operationen

#### 3.2.1.2 Datensammlung für das operierte Auge

- Prä-, intra- und postoperativ aufgenommene Daten:
  - Operationszeitraum (Aufnahme, Operation und Entlassung)
  - Narkoseform (Intubationsnarkose, Retrobulbäranästhesie, Tropfanästhesie)
  - Gesichtsfeld (präoperativ, "mittlerer Defekt" (MD) in dB)
  - IOD (prä- und postoperativ, mmHg)
  - Maximaler IOD; Schädigungsdruck (präoperativ, mmHg)
  - Visus (prä- und postoperativ)

- Werte postoperativ und bei Verlaufskontrollen aufgenommen:
  - Anzahl der Suturelysen
  - Antimetaboliteneinsatz (Anzahl der 5-FU Spritzen)
  - IOD-Werte ab drei Monate postoperativ
- Datensammlung bei Misserfolgen:
  - Needling
  - Revisionen
  - Einnahme drucksenkender Medikation

Jeder Patient wurde nach etwa 12 Monaten postalisch kontaktiert, um im Rahmen der Qualitätssicherung Informationen zum zuletzt vom niedergelassenen Augenarzt gemessenen Augeninnendruck (IOD), zu durchgeführten Folgeoperationen sowie zur aktuell angewendeten lokalen Therapie zu erheben.

### 3.2.2 Therapieverlauf

Es erfolgte jeweils eine Trabekulektomie wie in Punkt 3.1.5.2.1.1.1 beschrieben. Postoperativ wurden die Patienten mehrere Tage stationär behandelt und erhielten eine regelmäßige Verlaufskontrolle. In diesem Zusammenhang wurden auch ggf. weitere 5-FU Injektionen und/oder Suturelysen durchgeführt. Nach der Entlassung wurde in aller Regel ein Kontrolltermin nach einer weiteren Woche vereinbart, um den Verlauf zu kontrollieren und ggf. weitere 5-FU Injektionen und/oder Suturelysen durchzuführen.

### 3.3 Operateur

Insgesamt wurden die Trabekulektomien von einem neu angelernten Operateur (A. Schuster) der Universitätsmedizin Mainz durchgeführt.

**Tabelle 1:** Operateur und die Anzahl der von Ihm durchgeführten Trabekulektomien

Operateur	Anzahl der durchgeführten Trabekulektomien
1	n= 300

### **3.4 Datenverarbeitung und statistische Analyse**

In der Studie wurde eine statistische Analyse mit GraphPad Prism10 (Version 10.2.2 (341), GraphPad Software, San Diego, USA) auf einem Mac durchgeführt. Kategoriale Variablen wurden als absolute und relative Häufigkeiten dargestellt, während für kontinuierliche Variablen, die ungefähr normalverteilt waren, Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet wurden. Andernfalls wurden der Median und der Interquartilsbereich verwendet. Um die Daten für die Analyse vorzubereiten, wurde die bestkorrigierte Sehschärfe (BCVA) in den Logarithmus des minimalen Winkels der Auflösung (logMAR) umgewandelt. Die Normalität der Daten wurde mit dem D'Agostino-Pearson-Test überprüft. Wenn die Daten nicht normalverteilt waren und paarweise verglichen werden mussten, kam der Wilcoxon-Test zum Einsatz. Für multiple Vergleiche wurden der nichtparametrische Kruskal-Wallis-Test und anschließend der Dunn-Test verwendet. Alle statistischen Tests waren zweiseitig, und ein p-Wert von weniger als 0,05 wurde als statistisch signifikant angesehen.

## **4 Ergebnisse**

### **4.1 Zusammensetzung der Studienpopulation**

#### **4.1.1 Alter**

Das mittlere Patientenalter aller Patienten zum Zeitpunkt der Trabekulektomie betrug  $68,6 \pm 13$  Jahre mit einem Median von 68 Jahren. Der jüngste Patient war 20 Jahre alt und der Älteste 92 Jahre alt.

Zusätzlich wurde das Patientenalter in den verschiedenen Gruppen betrachtet, und ausgewertet ob zwischen diesen Gruppen ein signifikanter Unterschied in Bezug auf das Alter besteht.

Das mittlere Patientenalter der Patienten in Gruppe 1 (1-50) betrug  $70,5 \pm 14,1$  Jahre mit einem Median von 69,0 Jahren. Der jüngste Patient war 23 Jahre alt und der Älteste 92 Jahre alt.

In Gruppe 2 (51-100) betrug das mittlere Patientenalter der Patienten  $70,7 \pm 10,9$  Jahre, mit einem Median von 69,5 Jahren. Der jüngste Patient war 46 Jahre alt und der Älteste 91 Jahre alt.

Gruppe 3 (101-150) wies ein mittleres Patientenalter von  $70,4 \pm 13,4$  Jahren auf, mit einem Median von 70,0 Jahren. Der jüngste Patient war 23 Jahre alt und der Älteste 88 Jahre alt.

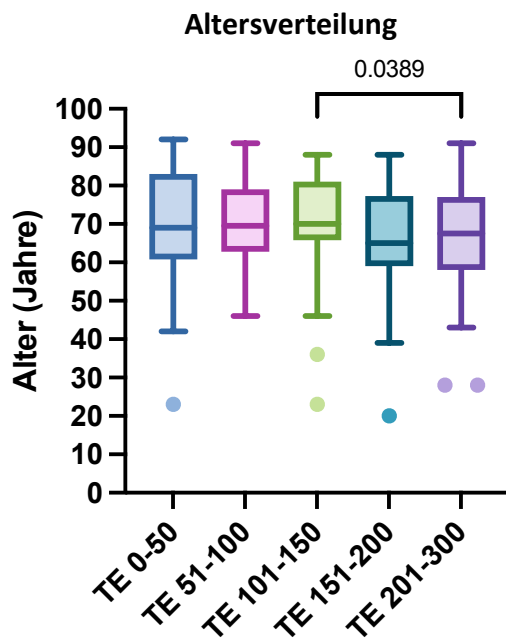
Das mittlere Patientenalter der Patienten in Gruppe 4 (151-200) betrug  $66,7 \pm 13,3$  Jahre, mit einem Median von 65,0 Jahren. Der jüngste Patient war 20 Jahre alt und der Älteste 88 Jahre alt.

$66,8 \pm 12,8$  Jahre betrug das mittlere Patientenalter der Patienten in Gruppe 5 (201-300). Der Mittelwert lag bei 67,5 Jahren. Der jüngste Patient war 28 Jahre alt und der Älteste 91 Jahre alt.

Über die fünf Gruppen hinweg zeigte sich ein geringer Unterschied ( $p < 0,04$ ), die Gruppe G4 und G5 war etwa 4 Jahre jünger als die Gruppe G1 bis G3.

**Tabelle 2:** Das Patientenalter des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)	P- Wert
Mittleres Alter (Mittelwert $\pm$ SD, Spannweite)	68,6 $\pm 13$ (20-92)	70,5 $\pm 14,1$ (23-92)	70,7 $\pm 10,9$ (46-91)	70,4 $\pm 13,4$ (23-88)	66,7 $\pm 13,3$ (20-88)	66,8 $\pm 12,8$ (28-91)	0,04



**Abb. 1:** Box-Plot der Altersverteilung nach Gruppe

#### 4.1.2 Geschlecht

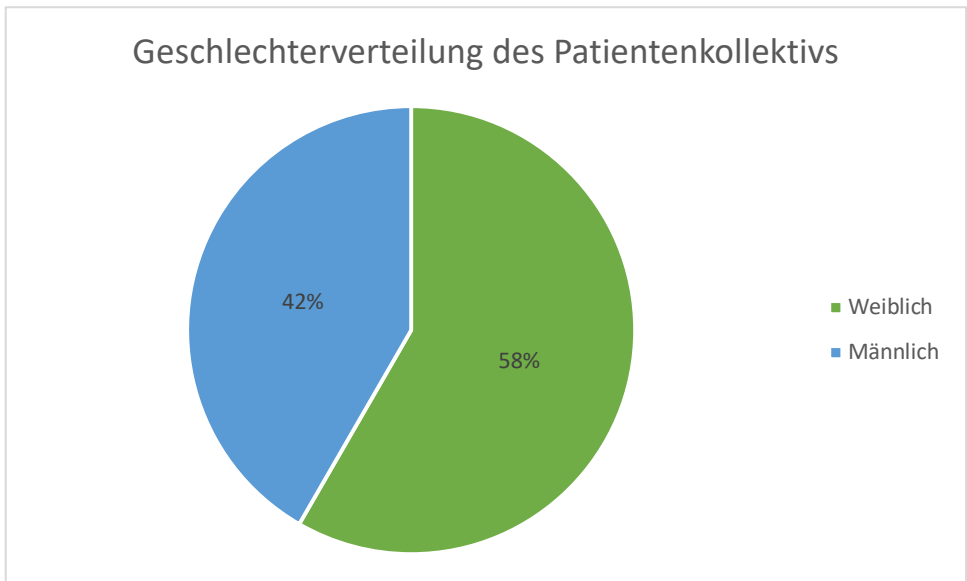
Insgesamt konnten 300 Patienten nachverfolgt werden. Von dieser Patientenkohorte sind 175 (58%) weiblich und 125 (42%) männlich.

In Gruppe 1 waren 28 (56%) weibliche Patienten und 22 (44%) männliche Patienten. Dies unterschied sich nur geringfügig von Gruppe 2, in der 29 (58%) weibliche Patienten und 21 (41%) männliche Patienten untersucht wurden. In Gruppe 3 lag die Anzahl an weiblichen Patienten bei 22 (44%) und 28 (66%) männlichen Patienten. In Gruppe 4 waren 35 (70%) weibliche und 15 (30%) männliche Patienten eingeschlossen und die fünfte Gruppe enthielt 60 (60%) weibliche und 40 (40%) männliche Patienten.

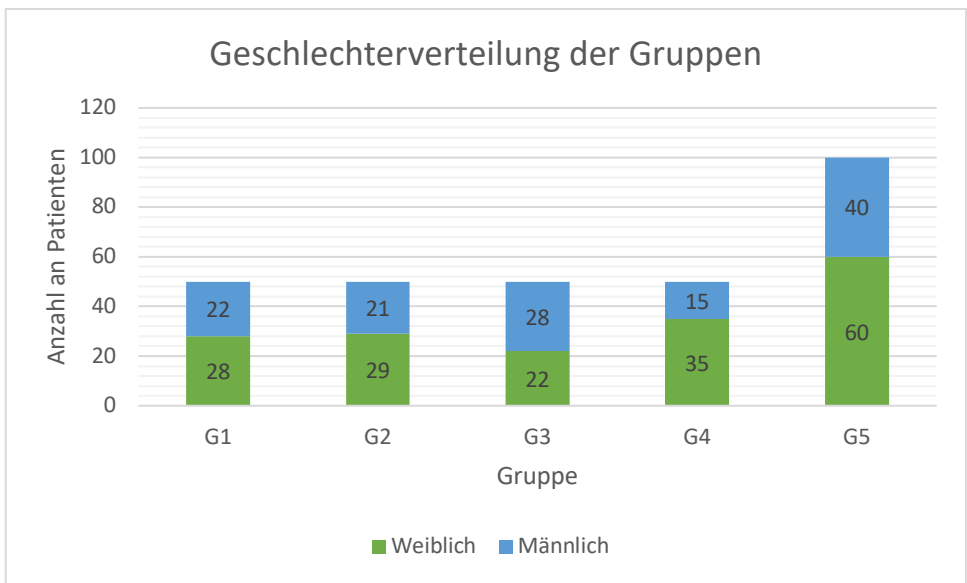
Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Geschlechterverteilung der einzelnen Gruppen.

**Tabelle 3:** Absolute und relative Häufigkeiten des Geschlechtes des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

	Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Geschlecht	Weiblich	175 (58%)	28 (56%)	29 (58%)	22 (44%)	35 (70%)	60 (60%)
	Männlich	125 (42%)	22 (44%)	21 (41%)	28 (66%)	15 (30%)	40 (40%)



**Abb. 2:** Kreisdiagramm der Geschlechterverteilung des gesamten Kollektivs



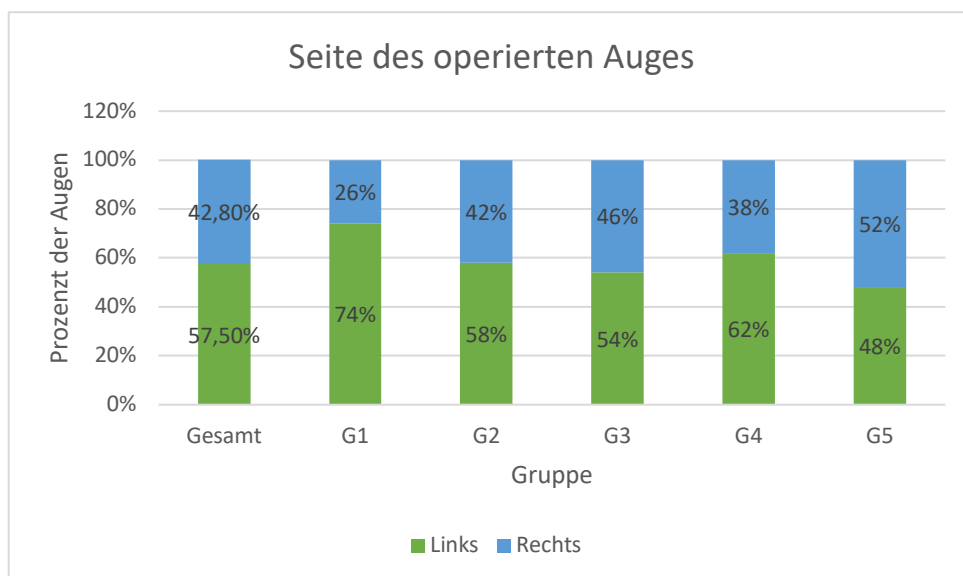
**Abb. 3:** Säulendiagramm der Geschlechterverteilung nach Gruppe

#### 4.1.3 Betroffene Seite

Insgesamt wurden 172 (58%) Patienten am linken und 128 (43%) am rechten Auge operiert. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied in den jeweiligen Gruppen bezogen auf die operierte Augenseite.

**Tabelle 4:** Absolute und relative Häufigkeiten der Seite des betroffenen Auges des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

	Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Seite	Links	172 (58%)	37 (74%)	29 (58%)	27 (54%)	31 (62%)	48 (48%)
	Rechts	128 (43%)	13 (26%)	21 (42%)	23 (46%)	19 (38%)	52 (52%)



**Abb. 4:** Säulendiagramm des betroffenen Auges des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

#### 4.1.4 Art des Glaukoms

Die am häufigsten vertretene Diagnose des Patientenkollektivs waren die primären Glaukome mit 202 Augen (69%). Verglichen dazu stellten die sekundären Glaukome den kleineren Anteil mit 81 Augen dar (28%).

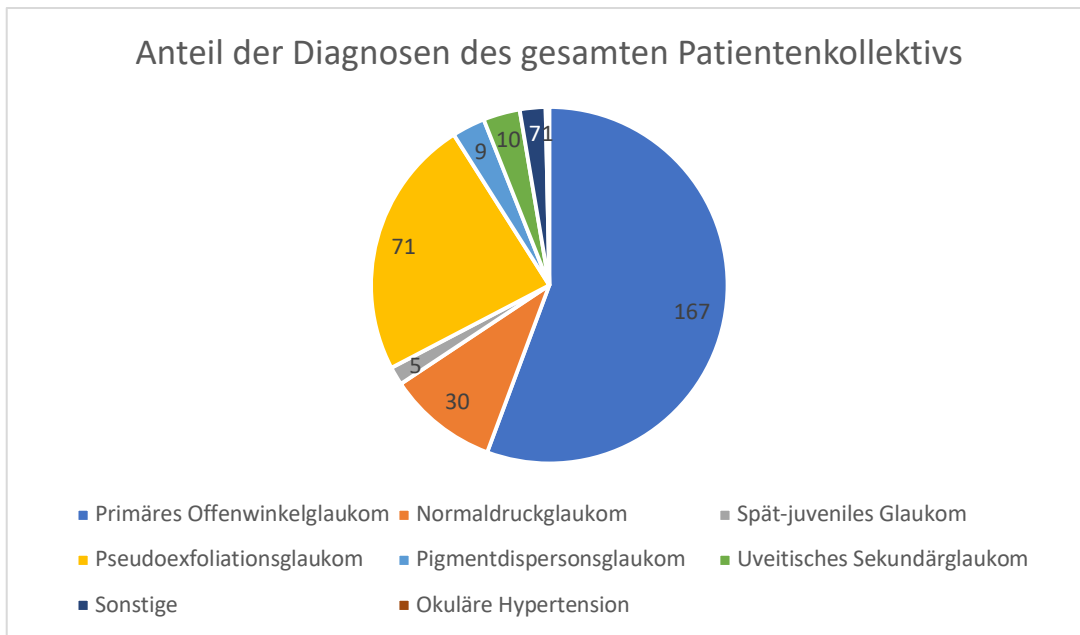
In der Kategorie der primären Glaukome dominierte das POWG mit 56% (167 Augen), gefolgt von dem Normaldruckglaukom mit 30 (10%) und dem Spät-juvenilen Glaukom mit 5 (2%) Augen.

Das PXG bildete mit 24% (71 Augen) den wesentlichen Anteil in der Kategorie der sekundären Glaukome. Die zweithäufigste Diagnose war das Pigmentdispersionsglaukom mit 9 (3%) Augen und am geringsten vertreten war das uveitische Sekundärglaukom mit 10 (3%) Augen.

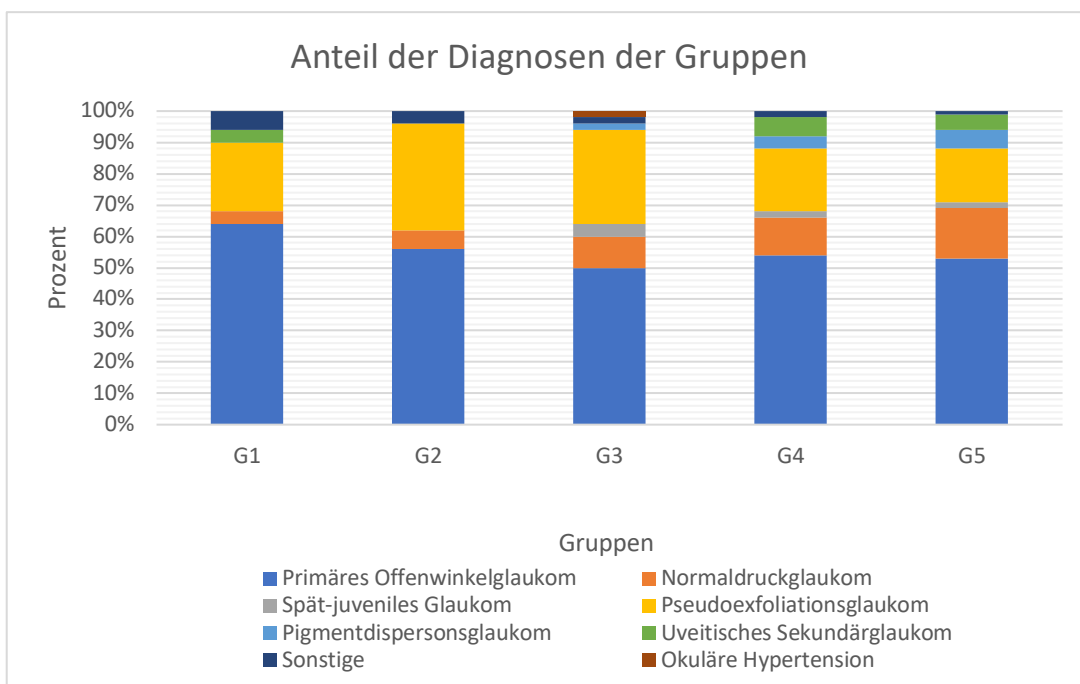
Ein Anteil von 2% (7 Augen), wurde als *sonstige Glaukomarten* kategorisiert.

**Tabelle 5:** Absolute und relative Häufigkeiten der Glaukomdiagnosen des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

Glaukomdiagnose		Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)	P- Wert
Primäre Glaukome	POWG	167 (56%)	32 (64%)	28 (56%)	25 (50%)	27 (54%)	53 (53%)	0,2
	Normaldruckglaukom	30 (10%)	2 (4%)	3 (6%)	5 (10%)	6 (12%)	16 (16%)	0,04
	Spät-juveniles Glaukom	5 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (4%)	1 (2%)	2 (2%)	0,3
	Summe primärer Glaukome	202 (69%)						
Sekundäre Glaukome	PXG	71 (24%)	11 (22%)	17 (34%)	15 (30%)	10 (20%)	17 (17%)	0,8
	Pigmentdispersionsglaukom	9 (3%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (2%)	2 (4%)	6 (6%)	0,5
	Uveitisches Sekundärglaukom	10 (3%)	2 (4%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (6%)	5 (5%)	0,2
	Summe sekundärer Glaukome	81 (28%)						
Sonstige Glaukomarten		7 (2,3%)	3 (6%)	2 (4%)	1 (2%)	1 (2%)	1 (1%)	0,07
Okuläre Hypertension		1 (0,3%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	0,3



**Abb. 5:** Kreisdiagramm der Häufigkeiten der Glaukomdiagnosen des gesamten Patientenkollektivs



**Abb. 6:** Säulendiagramm der Anteil der Glaukomdiagnosen der einzelnen Gruppen

#### 4.1.5 Pseudophakie

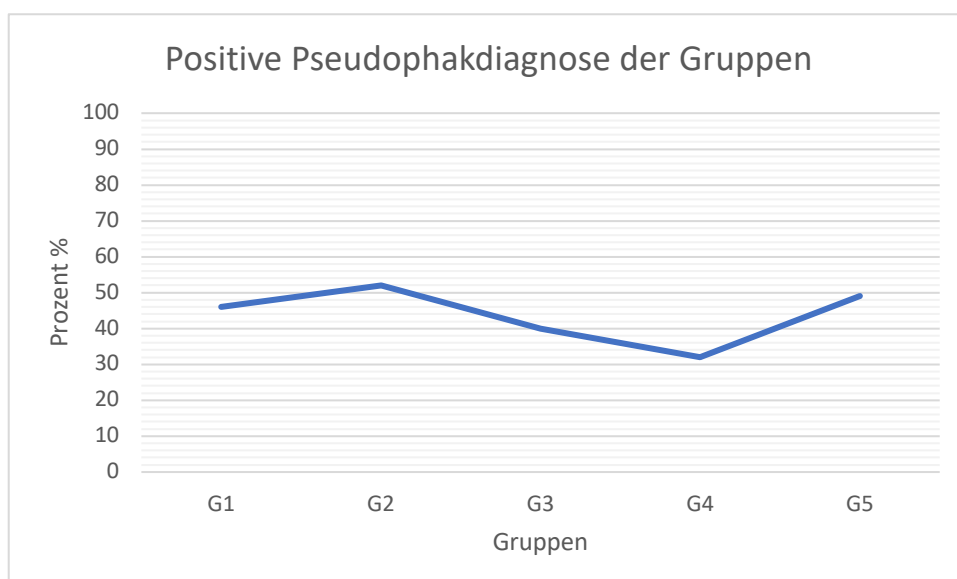
Die Diagnose der Pseudophakie wurde im Vorfeld der Therapie bei jedem Patienten aufgenommen. Im gesamten Patientenkollektiv waren 45% (134 Patienten) pseudophak. Dieser Wert blieb, abgesehen von Gruppe 4, gleichmäßig.

46% (23 Patienten) der Gruppe 1 waren pseudophak. Verglichen dazu waren, mit 52% (36 Patienten), in Gruppe 2 eine höhere Anzahl der Patienten pseudophak. Sowohl in Gruppe 3, als auch in Gruppe 4 waren mit 40% (20 Patienten) und 32% (16 Patienten) weniger Patienten pseudophak. 49% (49 Patienten) der Patienten aus Gruppe 5 hatten wiederum eine vorherige Linsenoperation mit Kunstlinsenimplantation.

Ein statistisch signifikanter Unterschied bei den Gruppen bezüglich einer Pseudophakdiagnose bestand nicht.

**Tabelle 6:** Absolute und relative Häufigkeiten der Pseudophakdiagnose des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Nein	166 (55%)	27 (54%)	24 (48%)	30 (60%)	34 (68%)	51 (51%)
Ja	134 (45%)	23 (46%)	26 (52%)	20 (40%)	16 (32%)	49 (49%)



**Abb. 7:** Liniendiagramm der positiven Pseudophakdiagnosen der fünf Gruppen in Prozent

#### 4.1.6 Voroperationen am zu operierenden Auge

Die Voroperationen am zu operierenden Auge des Patientenkollektives wurden in 6 Kategorien unterteilt: zuvor erfolgte Trabekulektomie, selektive Lasertrabekuloplastik, kontrollierte Zyklphotokoagulation, Zyklkryokoagulation, Pars Plana Vitrektomie und weitere Voroperationen.

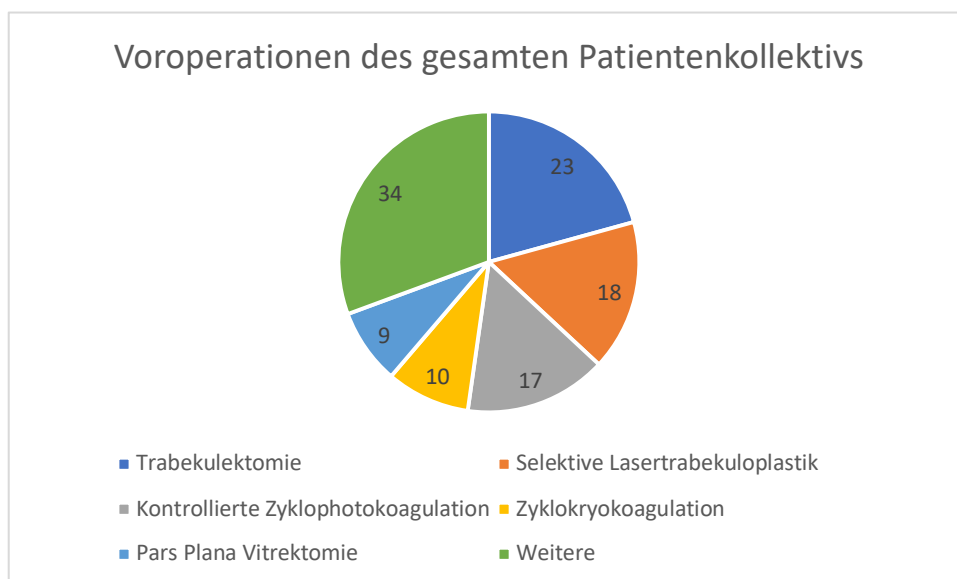
##### *4.1.6.1 Art der Voroperation*

Bezogen auf die gesamte Patientenkohorte gab es 111 Voroperationen. 23 der Augen hatten präoperativ eine Trabekulektomie und 18 eine Selektive Lasertrabekuloplastik erhalten. Weitere 17 Augen erhielten eine kontrollierte Zyklphotokoagulation und 10 Augen eine Zyklkryokoagulation. Eine Pars Plana Vitrektomie erhielten 9 Augen. Zusätzlich hatten 34 Augen weitere undefinierte präoperative Eingriffe erhalten.

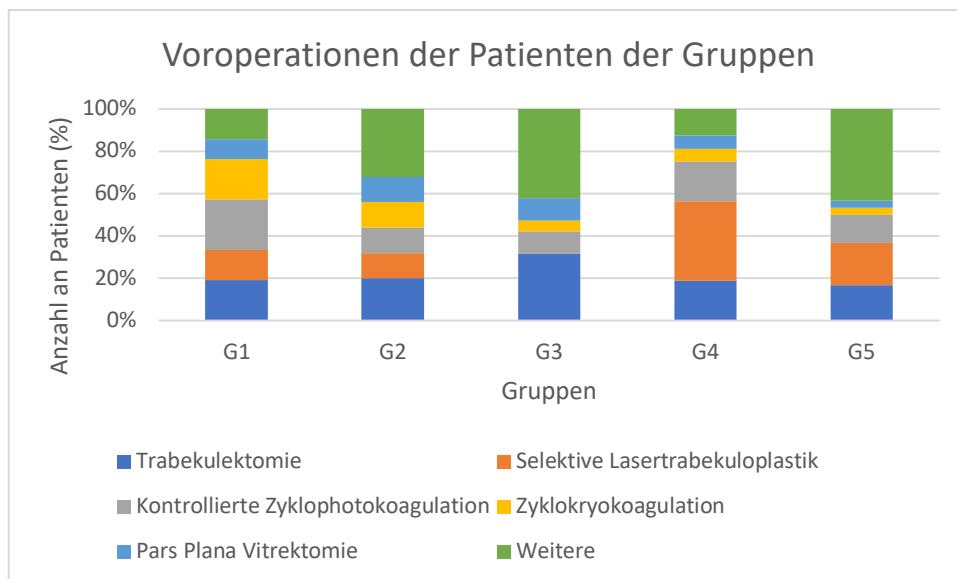
Anhand des exakten Fisher-Tests ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Anzahl an unterschiedlichen Voroperationen. Solch ein Unterschied bestand zwischen den undefinierten Voroperationen der Gruppe 1 und Gruppe 3 ( $p=0,006$ ), zwischen den selektiven Lasertrabekuloplastiken der Gruppe 1 und Gruppe 4 ( $p=0,029$ ) und zwischen den weiteren undefinierten Voroperationen der Gruppe 1 und Gruppe 5 ( $p=0,008$ ).

**Tabelle 7:** Absolute und relative Häufigkeiten der Voroperationen des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe	Gesamt (n=300)	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Keine Voroperationen	189 (63%)	29 (58%)	25 (25%)	31 (62%)	34 (68%)	70 (70%)
Trabekulektomie	23 (8%)	4 (8%)	5 (10%)	6 (12%)	3 (6%)	5 (5%)
Selektive Lasertrabekuloplastik	18 (6%)	3 (6%)	3 (6%)	0 (0%)	6 (12%)	6 (6%)
Kontrollierte Zyklophotokoagulation	17 (6%)	5 (10%)	3 (6%)	2 (4%)	3 (6%)	4 (4%)
Zyklokryokoagulation	10 (3%)	4 (8%)	3 (6%)	1 (2%)	1 (2%)	1 (1%)
Pars Plana Vitrektomie	9 (3%)	2 (4%)	3 (6%)	2 (4%)	1 (2%)	1 (1%)
Weitere	34 (11%)	3 (6%)	8 (16%)	8 (16%)	2 (4%)	13 (13%)
Gesamt	111 (37%)	21 (42%)	25 (50%)	19 (38%)	16 (32%)	30 (30%)



**Abb. 8:** Kreisdiagramm der Voroperationen des gesamten Patientenkollektivs



**Abb. 9:** Säulendiagramm der Voroperationen der Patienten der einzelnen Gruppen 1 bis 5

#### 4.1.7 Präoperativer Visus

Der mittlere präoperative Visus des gesamten Patientenkollektives betrug  $0,66 \pm 0,27$  logMAR mit einem Mindestwert von  $0,03$  logMAR und einem Maximalwert von  $1,50$  logMAR.

In Gruppe 1 lag der Visus zwischen  $0,1$  logMAR und  $1,20$  logMAR mit einem mittleren Visus von  $0,57 \pm 0,25$  logMAR. Verglichen dazu betrug der mittlere Visus von Gruppe 2  $0,59 \pm 0,35$  logMAR. Hierbei entsprach der minimale Wert  $0,30$  logMAR und der maximale Wert  $1,50$  logMAR.

Gruppe 3 hatte einen mittleren Visus von  $0,74 \pm 0,25$  logMAR, einen Minimalwert von  $0,05$  logMAR und einen Maximalwert von  $1,00$  logMAR.

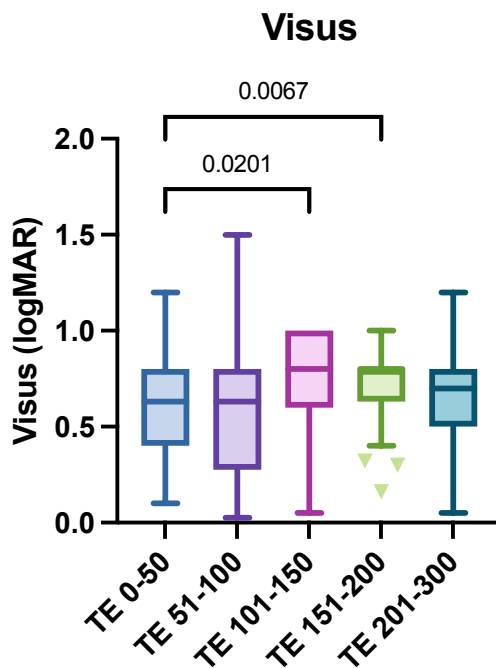
Der Visus von Gruppe 4 lag im Durchschnitt bei  $0,74 \pm 0,20$  logMAR. Das Minimum war  $0,16$  logMAR und das Maximum  $1,00$  logMAR.

Ähnlich wie die vorherigen Gruppen lag der minimale Visus der Gruppe 5 bei  $0,05$  logMAR, mit einem maximalen Visus von  $1,20$  logMAR. Der mittlere Visus lag bei  $0,67 \pm 0,28$  logMAR.

Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen dem Visus der Gruppen 1 und 3 mit einem P-Wert von 0,0201 und zwischen den Gruppen 1 und 4 (P-Wert 0,0067).

**Tabelle 8:** Präoperativer Visus des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Visus präoperativ (logMAR)	0,66 ±0,27	0,57 ±0,25	0,59 ±0,35	0,74 ±0,25	0,74 ±0,20	0,67 ±0,28
Minimum Visus präoperativ (logMAR)	0,025	0,1	0,3	0,05	0,16	0,05
Maximum Visus präoperativ (logMAR)	1,5	1,2	1,5	1,0	1,0	1,2



**Abb. 10:** Box-Plot des Visus nach Gruppen des Patientenkollektivs

#### 4.1.8 Präoperativer und maximaler Augeninnendruck

In der gesamten Studienpopulation betrug der präoperative Augeninnendruck bei der Indikationsstellung im Durchschnitt 23,5 mmHg, mit einer Standardabweichung von ±8,59 mmHg. Der niedrigste Augeninnendruck lag bei 11 mmHg, der Höchste bei 61 mmHg.

Der mittlere maximale IOD der im Krankheitsverlauf der Patienten der gesamten Studienkohorte gemessen wurde, betrug  $31,0 \pm 9,8$  mmHg, wobei der höchste Wert bei 61 mmHg lag und der niedrigste bei 13 mmHg.

Patienten aus Gruppe 1 hatten einen mittleren präoperativen IOD von  $26,2 \pm 9,5$  mmHg mit einem Maximalwert von 60 mmHg und einem Minimalwert von 16 mmHg. Der durchschnittliche maximale IOD dieser Gruppe zeigte ein Wert von  $32,5 \pm 10,3$  mmHg, mit einem Höchstwert von 58 mmHg und einem niedrigsten Wert von 13 mmHg.

Verglichen dazu lag der präoperative IOD der Gruppe 2 im Mittel bei  $22,5 \pm 8,5$  mmHg. Der maximale Wert war 46 mmHg und der minimale Wert war 12 mmHg. Der maximal gemessene IOD der zweiten Gruppe lag im Durchschnitt bei  $29,7 \pm 9,5$  mmHg. Der Maximalwert betrug 58 mmHg. Der Minimalwert betrug 13 mmHg.

Gruppe 3 wies einen mittleren präoperativen IOD von  $24,2 \pm 9,4$  mmHg auf. Hierbei lag der Wertebereich bei 14 mmHg mit maximal 52 mmHg. Der maximale im Verlauf der Erkrankung gemessene Wert der Patienten lag im Mittel bei  $32,2 \pm 10,4$  mmHg. Hierbei stellte 14 mmHg den Mindestwert dar und 60 mmHg den Maximalwert.

Patienten aus der vierten Gruppe hatten einen mittleren präoperativen IOD von  $22,1 \pm 7,1$  mmHg mit einem Maximalwert von 40 mmHg und einem Minimalwert von 11 mmHg. Ferner zeigte sich ein Maximum des maximalen IOD von 50 mmHg und ein Minimum von 16 mmHg. Der maximal festgestellte IOD dieser Gruppe war durchschnittlich  $30,2 \pm 8,5$  mmHg.

Des Weiteren ergab der Mittelwert des präoperativen IODs der Gruppe 5  $22,7 \pm 8,5$  mmHg mit einem Maximalwert von 61 mmHg und einen Minimalwert von 12 mmHg. Durchschnittlich betrug der Höchstwert für den maximalen IOD dieser Gruppe  $30,5 \pm 10,6$  mmHg. Die Spanne für diesen Wert der fünften Patientengruppe reichte hierbei von 15 mmHg bis 61 mmHg.

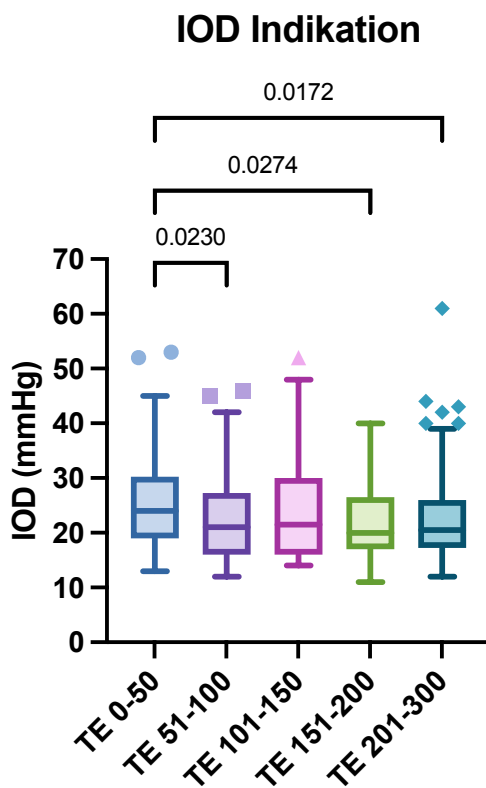
Auch hier bestand ein statistisch signifikanter Unterschied des IODs für die Indikationsstellung der unterteilten Gruppen. Einerseits bestand ein Unterschied zwischen den

Gruppen 1 und 2 (p-Wert 0,023). Andererseits äußerte sich eine statistisch relevante Unterscheidung zwischen den Gruppen 1 und 4 mit einem p-Wert von 0,027. Des Weiteren zeigte sich auch ein signifikanter Unterschied zwischen den Werten der Gruppe 1 und der Gruppe 5 mit einem p-Wert von 0,017.

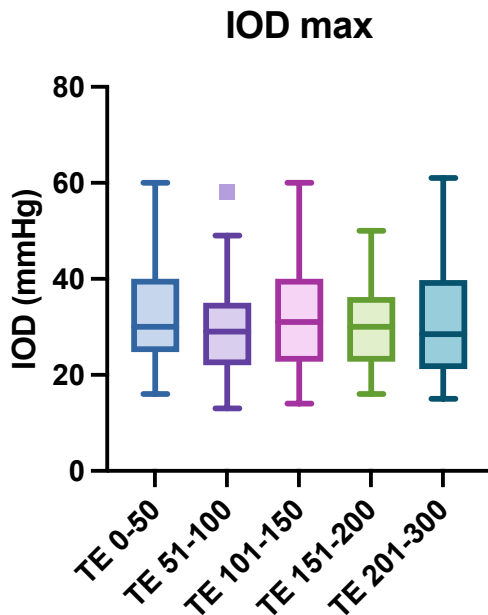
Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen in Bezug auf die Werte des maximalen IODs.

**Tabelle 9:** Präoperativer und maximaler Augeninnendruck des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
IOD präoperativ (mmHg)	23,5 ±8,6	26,2 ±9,5	22,5 ±8,5	24,2 ±9,4	22,1 ±7,1	22,7 ±8,5
Maximaler IOD (mmHg)	31,0 ±9,8	32,5 ±10,3	29,7 ±9,5	32,2 ±10,4	30,2 ±8,5	30,5 ±10,6



**Abb. 11:** Box-Plot des Präoperativen Augeninnendrucks nach Gruppen des Patientenkollektivs



**Abb. 12:** Box-Plot des maximalen Augeninnendrucks nach Gruppen des Patientenkollektivs

#### 4.1.9 Art der Anästhesie bei der Trabekulektomie

Die Form der Anästhesie kann in die folgenden Verfahren unterteilt werden:

Intubationsnarkose, Retrobulbäranästhesie, Tropfanästhesie.

Im gesamten Patientenkollektiv wurden 220 (73%) Patienten in einer Intubationsnarkose behandelt. Dies stellt die Mehrheit der Patienten dar. 30 (10%) Patienten erhielten eine Retrobulbäranästhesie und 50 (17%) eine Tropfanästhesie.

Diese prozentuale Verteilung fand sich auch annähernd in den unterschiedlichen Gruppen wieder.

In Gruppe 1 erhielten 38 Patienten (76%) eine Intubationsnarkose, 6 Patienten (12%) eine Retrobulbäranästhesie und 6 Patienten (12%) eine Tropfanästhesie.

In Gruppe 2 wurden 36 Patienten (72%) in Intubationsnarkose operiert, 5 Patienten (10%) in Retrobulbäranästhesie und 9 Patienten (18%) in Tropfanästhesie.

31 Patienten (62%) erhielten in Gruppe 3 eine Intubationsnarkose, 6 Patienten (12%) eine Retrobulbäranästhesie und 13 Patienten (26%) eine Tropfanästhesie.

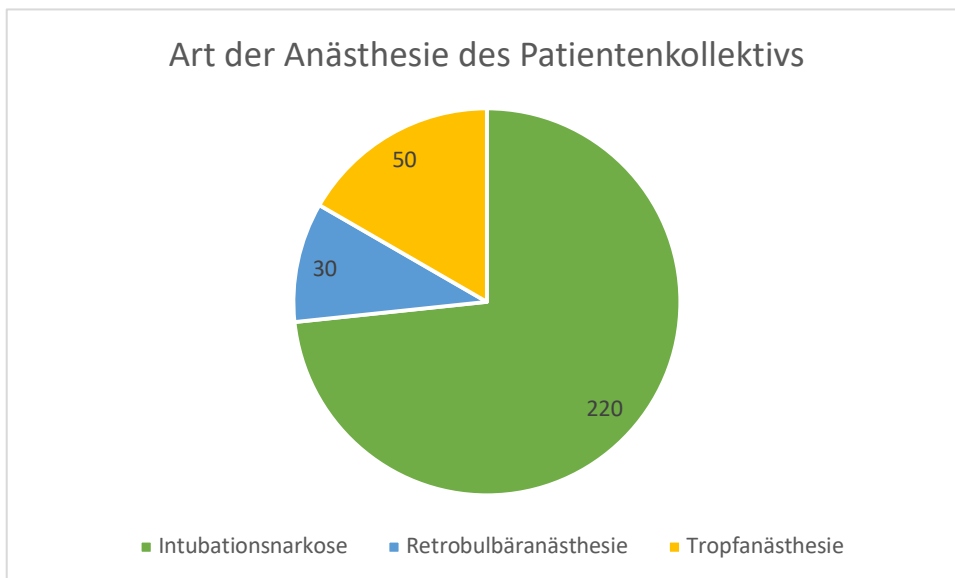
In Gruppe 4 erhielten 36 Patienten (72%) eine Intubationsnarkose, 9 Patienten (18%) eine Retrobulbäranästhesie und 5 Patienten (10%) eine Tropfanästhesie.

Eine Intubationsnarkose hatten 79 Patienten (79%) in Gruppe 5, 4 Patienten (4%) eine Retrobulbäranästhesie und 17 Patienten (17%) eine Tropfanästhesie.

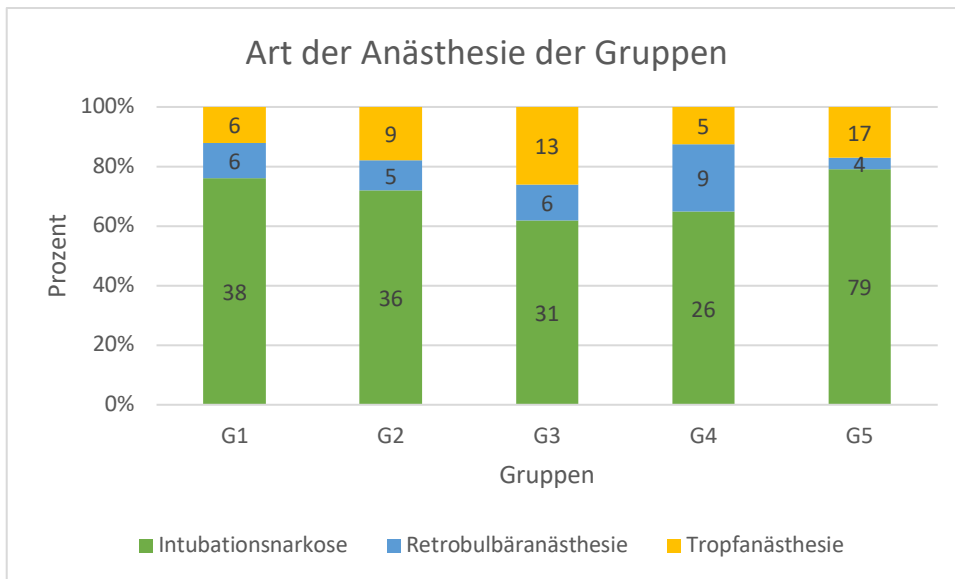
Auch hier ließ sich kein statistisch signifikanter Unterschied feststellen.

**Tabelle 10:** Absolute und relative Häufigkeiten der Art der Anästhesie bei der Trabekulektomie des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe		Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Art der Anästhesie	Intubationsnarkose	220 (73%)	38 (76%)	36 (72%)	31 (62%)	36 (72%)	79 (79%)
	Retrobulbäranästhesie	30 (10%)	6 (12%)	5 (10%)	6 (12%)	9 (18%)	4 (4%)
	Tropfanästhesie	50 (17%)	6 (12%)	9 (18%)	13 (26%)	5 (10%)	17 (17%)



**Abb. 13:** Kreisdiagramm der Art an verwendeter Anästhesie des gesamten Patientenkollektivs



**Abb. 14:** Säulendiagramm der Art an verwendeter Anästhesie der einzelnen Gruppen

## 4.2 Nachbeobachtungen postoperativ

### 4.2.1 Postoperativer Visus

Nach der Trabekulektomie wurde der Visus erneut bei der Entlassung gemessen und es war eine generelle Zunahme der Sehschärfe festzustellen. Die gesamte Studienpopulation hatte einen mittleren Visus von 0,43 logMAR mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,24$ . Der geringste Visus lag bei 0,05 logMAR und der höchste Visus lag bei 1,00 logMAR. Dies ergab eine Abnahme des Wertes im Mittel von 0,23 logMAR mit einem Mindestwert von 0,12 logMAR und einem Maximalwert von 0,33 logMAR.

Wenn man nun die einzelnen Untergruppen betrachtet, waren die Werte weitestgehend vergleichbar. Dennoch war eine stärkere Reduktion des Visus-Wertes in Gruppe 3 und Gruppe 4 zu sehen.

Gruppe 1 wies die geringste Verbesserung auf. Der mittlere postoperative Visus betrug 0,45  $\pm 0,26$  logMAR, mit einem Maximalwert von 1,00 logMAR und einem Minimalwert von 0,05 logMAR.

Somit war eine Abnahme des Visus-Wertes im Mittel von 0,12 logMAR festzustellen.

Der mittlere Visus von Gruppe 2 lag bei  $0,42 \pm 0,28$  logMAR. Der Höchstwert war 1,00 logMAR und der niedrigste Wert war 0,05 logMAR.

Dementsprechend war eine Abnahme des Visus-Wertes im Mittel von 0,17 logMAR festzustellen.

In Gruppe 3 betrug der Visus im Mittel 0,41 logMAR mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,21$ . Der Minimalwert war 0,05 logMAR, der Maximalwert war 0,80 logMAR.

Dies ergab eine Abnahme des Visus-Wertes durchschnittlich um 0,33 logMAR. Dies entsprach verglichen zu den anderen Gruppen, zusammen mit Gruppe 4, die größte Verbesserung der Sehschärfe.

Gruppe 4 hatte einen mittleren Visus von  $0,41 \pm 0,22$  logMAR mit einem Mindestwert von 0,05 logMAR und einem Maximalwert von 0,80 logMAR.

Der Visus-Wert sank somit im Durchschnitt um einen Wert von 0,33 logMAR.

Ferner wies Gruppe 5 einen postoperativen Visus im Mittel von 0,47 logMAR mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,23$  auf. Der Mindest- und Maximalwert lagen bei 0,05 logMAR und 1,00 logMAR.

Dies ergab eine Abnahme des Wertes im Mittel von 0,20 logMAR.

Anhand der Berechnung mittels des Dunnett-T3-Mehrfachvergleichstest ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied in den Werten des postoperativen Visus zwischen den jeweiligen Gruppen.

**Tabelle 11:** Postoperativer Visus des Patientenkollektivs und die Änderung des Visus von präoperativ zu postoperativ unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Postoperativer Visus (logMAR) bei Entlassung	0,43 $\pm 0,24$	0,45 $\pm 0,27$	0,42 $\pm 0,28$	0,41 $\pm 0,21$	0,41 $\pm 0,22$	0,47 $\pm 0,23$
Änderung im Visus (logMAR)	-0,23	-0,12	-0,17	-0,33	-0,33	-0,20

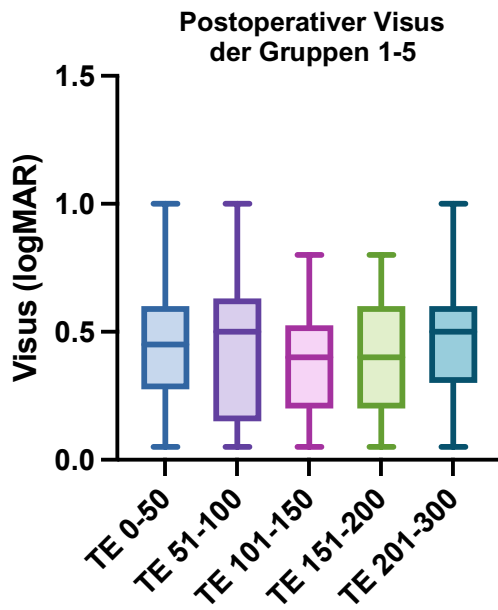


Abb. 15: Box-Plot des postoperativen Visus der fünf Gruppen

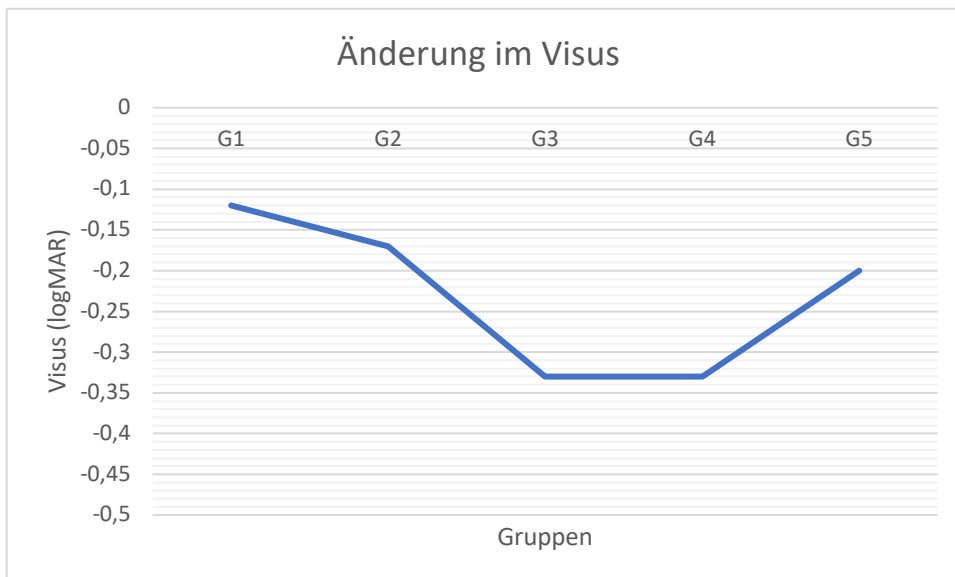


Abb. 16: Liniendiagramm der Änderung des Visus von präoperativ zu postoperativ der fünf Gruppen

## 4.2.2 Postoperativer Augeninnendruck

Die Veränderungen des IOD im zeitlichen Verlauf nach der Trabekulektomie der fünf Gruppen wurde postoperativ nach 12 Monaten überprüft. Die daraus entstehenden Änderungen zum präoperativen Wert wurden mit dem Wert nach 12 Monaten postoperativ verglichen und können Tabelle 10 entnommen werden.

### 4.2.2.1 Postoperativer Augeninnendruck nach 12 Monaten

Der postoperativ gemessene IOD-Wert nach 12 Monaten des gesamten Patientenkollektives betrug im Mittel 12,6 mmHg mit einer Standardabweichung von  $\pm 5,6$ . Es konnten ein maximaler Wert von 42 mmHg und ein minimaler Wert von 3 mmHg festgestellt werden. Verglichen zum Ausgangswert konnte der IOD durchschnittlich um einen Wert von 10,9 mmHg gesenkt werden. Somit ergab sich eine prozentuale Senkung des IODs im gesamten Patientenkollektiv um 46%.

Der postoperativ gemessene IOD-Wert nach 12 Monaten der Gruppe 1 lag im Durchschnitt bei  $12,8 \pm 6,1$  mmHg. Der Höchstwert war 40 mmHg und der niedrigste Wert war 5 mmHg. Somit konnte der IOD im Mittel um 13,4 mmHg gesenkt werden, was eine Reduktion von 51% ergibt.

Es konnte ein mittlerer Wert des postoperativ gemessenen IODs in Gruppe 2 von  $12,8 \pm 6,3$  mmHg festgestellt werden. Der Mindestwert war 3 mmHg. Der Höchstwert lag bei 36 mmHg. Es ergab sich eine Senkung des IOD im Mittel um 9,7 mmHg. Im Durchschnitt sank der IOD folglich um 43%.

Ferner betrug der mittlere postoperativ gemessene IOD-Wert nach 12 Monaten der Gruppe 3 11,5 mmHg mit einer Standardabweichung von  $\pm 4,6$ . Es konnte ein maximaler Wert von 28 mmHg und ein minimaler Wert von 4 mmHg festgestellt werden. Verglichen zum Ausgangswert zeigte sich ein Abfall des IODs im Mittel um einen Wert von 12,7 mmHg. Es ergab sich eine prozentuale Senkung des IODs um 52%.

Der postoperativ gemessene IOD-Wert nach 12 Monaten der Gruppe 4 lag im Mittel bei  $12,9 \pm 6,5$  mmHg. Der Höchstwert war 42 mmHg und der niedrigste Wert war 4 mmHg.

Somit konnte der IOD durchschnittlich um 9,2 mmHg gesenkt werden, was eine Reduktion von 42% ergab.

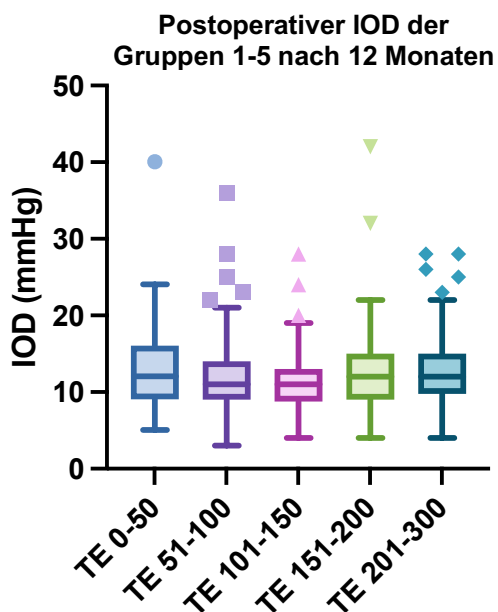
Zu guter Letzt konnte ein mittlerer Wert des postoperativ gemessenen IODs der Gruppe 5 von  $12,9 \pm 4,7$  mmHg festgestellt werden. Der Mindestwert lag bei 4 mmHg. Der Höchstwert war 28 mmHg.

Es ergab sich eine gemittelte Senkung des IODs um 9,8 mmHg. Der IOD fiel folglich um 43%.

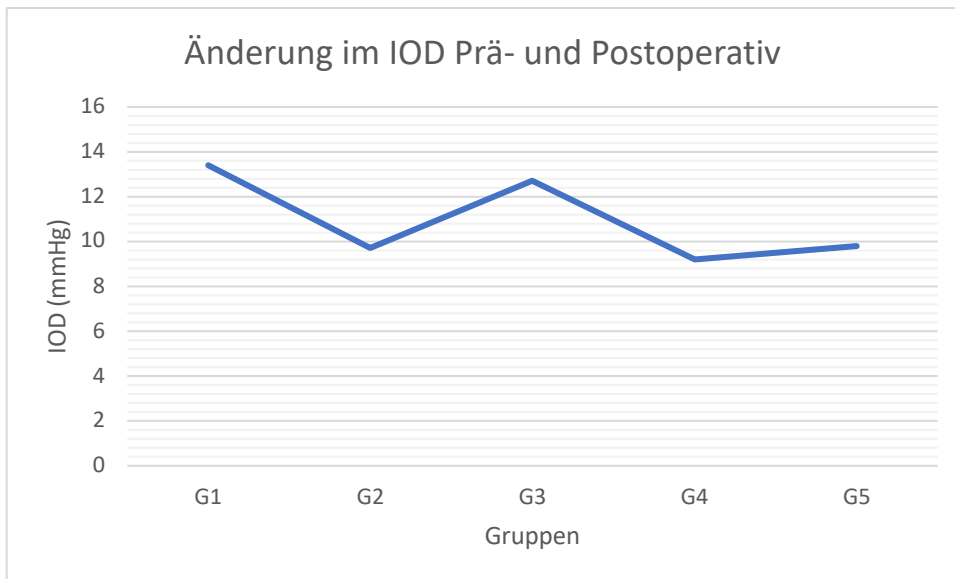
Mit Hilfe des Dunn's Test für Mehrfachvergleiche konnte festgestellt werden, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen besteht.

**Tabelle 12:** Postoperativer Augeninnendruck des Patientenkollektivs und die Änderung im Augeninnendruck zwischen Prä- und Postoperativ unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
IOD nach 12 Monaten (mmHg)	12,6 ±5,6	12,8 ±6,1	12,8 ±6,3	11,5 ±4,6	12,9 ±6,5	12,9 ±4,7
Änderung im IOD (mmHg / Prozent)	10,9 (46%)	13,4 (51%)	9,7 (43%)	12,7 (52%)	9,2 (42%)	9,8 (43%)



**Abb. 17:** Box-Plot des Augeninnendrucks der fünf Gruppen postoperativ nach 12 Monaten



**Abb. 18:** Liniendiagramm der Änderung des Augeninnendrucks von Präoperativ zu Postoperativ der fünf Gruppen

#### 4.2.3 Anzahl der 5-Fluorouracil Gaben während des stationären Aufenthalts und nach der Entlassung

Postoperativ wurden im Verlauf des stationären Aufenthalts und darauffolgend in bestimmten Fällen ambulant 5-FU verabreicht. Nach der Entlassung erhielten 26% (77 Patienten) der Patienten eine postoperative Gabe von 5-FU.

In der gesamten Studienpopulation erhielten Patienten postoperativ während ihres stationären Aufenthaltes 3,5 5-FU Gaben. Die Standardabweichung betrug  $\pm 1,7$ . Das Maximum lag hierbei bei 8 Gaben und das Minimum bei 0 Gaben.

Nach der Entlassung erhielt das gesamte Patientenkollektiv im Schnitt 0,2 Gaben von 5-Fluorouracil mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,5$ . Der Maximalwert lag bei 3 und der Mindestwert bei 0.

Die durchschnittliche Anzahl der 5-FU-Gaben während des stationären Aufenthaltes betrug in Gruppe 1  $3,7 \pm 2,0$ . Die Spanne der Verabreichungen reichte von einem Maximum von 8 Gaben bis zu einem Minimum von 0 Gaben.

Nach der Entlassung erhielt die Gruppe 1 im Durchschnitt 0,1 Gaben von 5-Fluorouracil, mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,3$ . Dabei variierten die Werte vom Höchstwert 1 zum Mindestwert 0.

Während ihres stationären Aufenthaltes erhielten die Patienten der Gruppe 2 durchschnittlich 2,5 Mal eine Gabe von 5-FU, wobei die Standardabweichung  $\pm 1,8$  betrug. Die Anzahl der Gaben variierte zwischen einem Maximum von 7 und einem Minimum von 0.

Nach der Entlassung erhielt die Gruppe  $0,2 \pm 0,5$  Gaben von 5-Fluorouracil. Der Maximalwert lag bei 2 und der Mindestwert bei 0.

Patienten der Gruppe 3 erhielten während ihres stationären Aufenthaltes durchschnittlich 3,8 Mal eine 5-FU-Gabe, mit einer Standardabweichung von  $\pm 1,5$ . Die Anzahl der Gaben schwankte zwischen einem Maximum von 7 und einem Minimum von 0.

Im Durchschnitt erhielt die Untergruppe  $0,3$  Gaben von 5-Fluorouracil, wobei die Standardabweichung  $\pm 0,6$  betrug. Hier lag der Maximalwert bei 2 und der Mindestwert bei 0.

Die Patienten der Gruppe 4 bekamen während ihres stationären Aufenthaltes  $3,8 \pm 1,9$  Mal eine Gabe von 5-FU. Die Anzahl der Gaben reichte von einem Maximum von 7 bis zu einem Minimum von 0.

Nach ihrer Entlassung erhielt die Gruppe 4  $0,2 \pm 0,5$  Gaben von 5-Fluorouracil. Dabei wurde ein Maximalwert von 3 und ein Mindestwert von 0 erreicht.

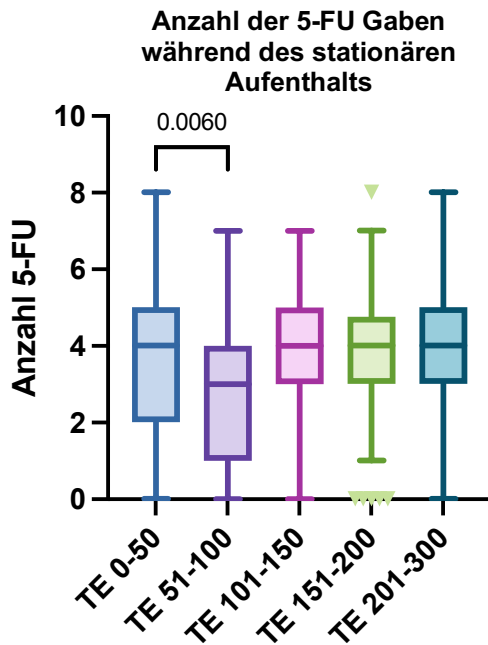
Die Gruppe 5 erhielt im Mittel 4,0 Mal während ihres stationären Aufenthaltes eine 5-FU-Gabe, wobei die Standardabweichung  $\pm 1,5$  betrug. Die Anzahl der Gaben schwankte zwischen einem Maximum von 8 und einem Minimum von 0.

$0,3 \pm 0,6$  Gaben von 5-Fluorouracil wurde der Gruppe nach ihrer Entlassung verabreicht. Der Maximalwert lag bei 2 und der Mindestwert bei 0.

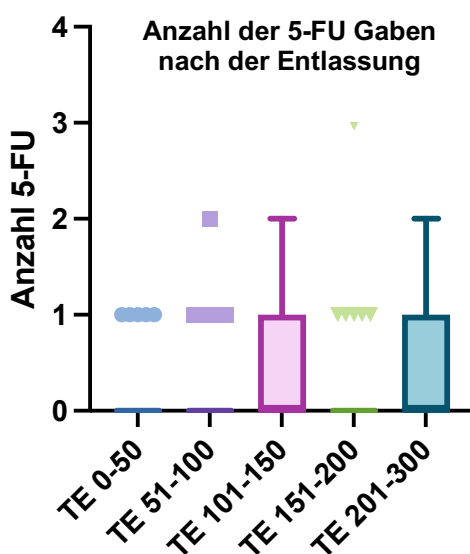
Anhand des Dunn's Test für Mehrfachvergleiche konnte festgestellt werden, dass ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den 5-FU Gaben der Gruppen 1 und der Gruppe 2 (p-Wert von 0,006) besteht.

**Tabelle 13:** Anzahl der 5-Fluorouracil Gaben während des stationären Aufenthalts und nach der Entlassung des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe		Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
5-FU-Gabe	Während stationären Aufenthalts	3,5 ±1,7	3,7 ±2,0	2,5 ±1,8	3,8 ±1,5	3,8 ±1,9	4,0 ±1,5
	Nach Entlassung	0,2 ±0,5	0,1 ±0,3	0,2 ±0,5	0,3 ±0,6	0,2 ±0,5	0,3 ±0,6



**Abb. 19:** Box-Plot der Anzahl der 5-Fluorouracil Gaben während des stationären Aufenthalts unterteilt in Gruppen 1-5



**Abb. 20:** Box-Plot der Anzahl der 5-Fluorouracil Gaben nach der Entlassung unterteilt in Gruppen 1-5

#### 4.2.4 Suturen nach dem stationären Aufenthalt

Postoperativ wurden im Verlauf des stationären Aufenthaltes in bestimmten Fällen Suturen durchgeführt. Insgesamt erhielten 52% der Patienten (156 Patienten) postoperativ eine Suture.

In der gesamten Studienpopulation erhielten die Patienten während ihres stationären Aufenthaltes postoperativ  $0,8 \pm 1,0$  mal eine Suture. Das Maximum lag hierbei bei 4 Suturen und das Minimum bei 0 Suturen.

Im Durchschnitt wurden bei Patienten der Gruppe 1 während des Verlaufs postoperativ 0,8 Suturen durchgeführt. Die Standardabweichung betrug  $\pm 1,0$ , wobei das Maximum bei 4 Suturen und das Minimum bei 0 Suturen lag.

Die Patienten der Gruppe 2 erhielten postoperativ  $0,6 \pm 0,9$  Suturen. Die Spanne für die Anzahl der Suturen reichte von einem Maximum von 4 bis zu einem Minimum von 0 Suturen.

Die Durchschnittsanzahl der postoperativen Suturen betrug bei Patienten der Gruppe 3 0,6, wobei die Standardabweichung  $\pm 0,9$  betrug. Die Anzahl variierte zwischen einem Maximum von 3 und einem Minimum von 0 Suturen.

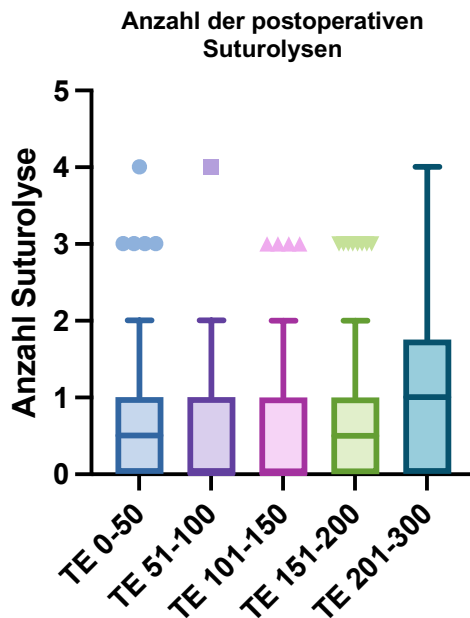
Im Schnitt wurden bei den Patienten der Gruppe 4 postoperativ 0,9 Suturen durchgeführt. Die Standardabweichung betrug  $\pm 1,1$ , wobei die Spanne von minimal 0 zu maximal 3 Suturen reichte.

Die Patienten der Gruppe 5 erhielten postoperativ im Durchschnitt  $1,0 \pm 1,2$  Mal eine Suture, mit einem Maximum von 4 Suturen und einem Minimum von 0 Suturen.

Mit Hilfe des Dunn's Test für Mehrfachvergleiche konnte festgestellt werden, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen besteht.

**Tabelle 14:** Die Anzahl der Suturolysen des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Suturolysen	0,8 ±1,0	0,9 ±1,0	0,6 ±0,8	0,6 ±0,9	0,9 ±1,1	1,0 ±1,2



**Abb. 21:** Box-Plot der Anzahl der postoperativen Suturolysen der fünf Gruppen

#### 4.2.5 Sickerkissen-Needling

Im Folgenden wurde die Studienpopulation und die 5 unterschiedlichen Gruppen anhand der Anzahl der durchgeführten Sickerkissen-Needlings analysiert. Maximal wurde bei einem Patienten unseres Kollektivs jeweils zwei postoperative Sickerkissen-Needlings durchgeführt.

Hierbei erhielten innerhalb von 12 Monaten aus dem gesamten Patientenkollektiv 27 Patienten ein Sickerkissen-Needling. Dies entsprach 9% der Studienpopulation. Des Weiteren erhielten 5 Patienten (2%) zwei Sickerkissen-Needlings.

Ein Patient aus Gruppe 1 erhielt eine Behandlung mittels Sickerkissen-Needling, was 2% dieser Gruppe entspricht. Die Durchführung von 2 Sickerkissen-Needlings hat kein Patient dieser Untergruppe erhalten.

7 Patienten (14%) der Gruppe 2, erhielten eine Therapie mittels Sickerkissen-Needling. Des Weiteren erhielten 3 Patienten, 6% der Gruppe 2-Patienten, zwei Sickerkissen-Needlings.

In Gruppe 3 wurden 2 Patienten einer Therapie mittels Sickerkissen-Needling unterzogen, was einem Anteil von 4% dieser Kohorte entspricht. Zusätzlich erhielt kein weiterer Patient der Untergruppe zwei Sickerkissen-Needlings.

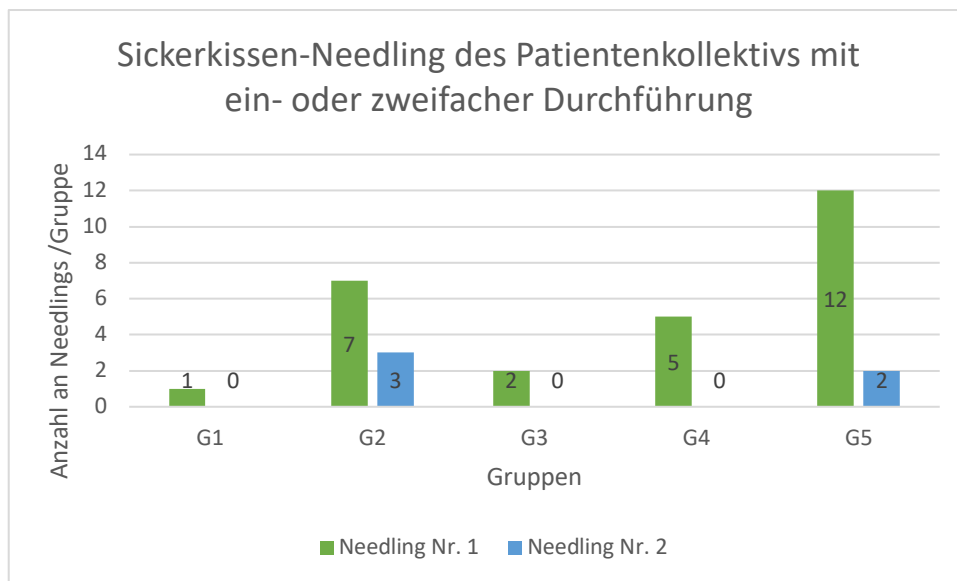
Von der Gesamtzahl der Patienten der Gruppe 4 erhielten 5 (10%) eine Therapie mittels Sickerkissen-Needling. Zusätzlich erhielt kein Patient der Gruppe 4 zwei Sickerkissen-Needlings.

In Gruppe 5 wurde bei 12 Patienten eine Sickerkissen-Needling-Therapie vollzogen, was einem Anteil von 12% dieser Kohorte entspricht. 2% der Patienten (2 Patienten) wurden mit zwei Sickerkissen-Needlings therapiert.

Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Anzahl der Sickerkissen-Needling-Therapien der verschiedenen Gruppen.

**Tabelle 15:** Absolute und relative Häufigkeiten der Sickerkissen-Needlings des Patientenkollektivs eingeteilt in die Anzahl der Durchführungen (1, 2) und unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe		Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Sickerkissen- Needling	1	27 (9%)	1 (2%)	7 (14%)	2 (4%)	5 (10%)	12 (12%)
	2	5 (2%)	0 (0%)	3 (6%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (2%)



**Abb. 22:** Säulendiagramm der Sickerkissen-Needlings des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

#### 4.2.6 Revisionen

Postoperativ wurden im Beobachtungszeitraums in einigen Fällen Revisionsbehandlungen durchgeführt. Unterschieden wurde hierbei in der Art der durchgeführten Revisionen.

Aus der gesamten Studienpopulation erhielten 35 aus 300 Patienten postoperativ eine Revisionsbehandlung. Dies entspricht 12% des Patientenkollektivs. Von diesen Patienten hatten 8 eine Fadennachlegung aufgrund einer Hypotonie erhalten, 1 Patient erhielt eine Bindehautnaht, ein weiterer Patient erhielt eine Sonden-Trabekulotomie, eine Mäandernaht wurde bei einem weiteren Patienten durchgeführt. Die Mehrheit der Patienten erhielt eine offene Revision (24 Patienten, 8%).

In Gruppe 1 wurden 7 von 50 Patienten postoperativ einer Revision unterzogen, was einem Anteil von 14% entspricht. Von diesen Patienten hatten 2 eine Fadennachlegung und 5 Patienten erhielten eine offene Revision.

5 Patienten der Gruppe 2 erhielten eine Revisionsoperation, was 10% der gesamten Gruppe ausmacht. Wenn man die Revisionen unterteilt, zeigt sich bei einem Patienten eine Fadennachlegung, 1 Patient erhielt eine Bindehautnaht und 3 Patienten wurden mit Hilfe einer offenen Revision nachbehandelt.

Innerhalb von Gruppe 3 wurde bei 6 (12%) Patienten die Operation postoperativ einmal revidiert. Von diesen Patienten hatte 1 Patient eine Fadennachlegung, 1 weiterer Patient erhielt eine Sonden-Trabekulotomie. Bei weiteren 4 Patienten wurde eine offene Revision durchgeführt.

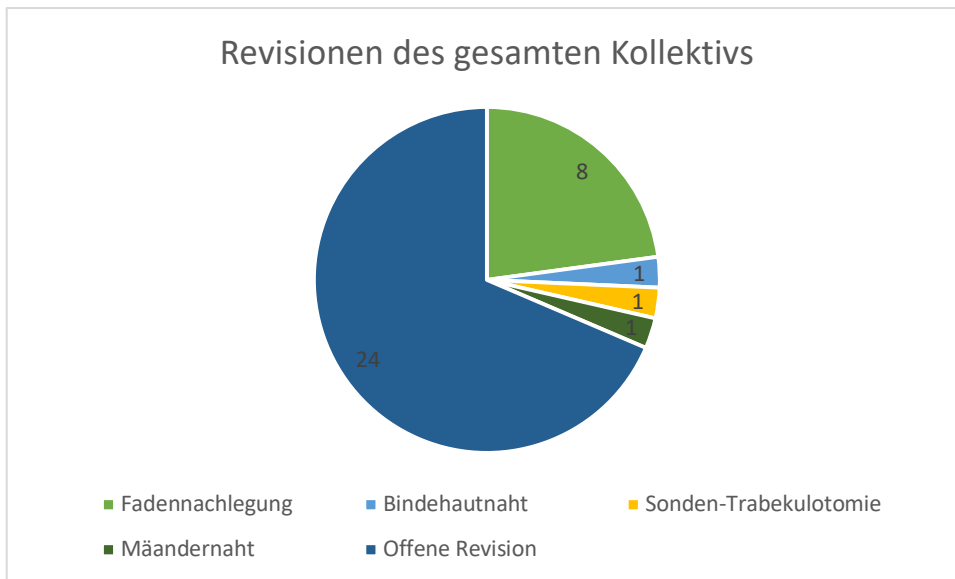
In Gruppe 4 wurden 4 von 50 Patienten nach der Operation mit einer Revision behandelt, was einem Anteil von 8% entspricht. Von diesen Patienten erhielt ein Patient eine Fadennachlegung. Drei Patienten erhielten eine Behandlung mit einer offenen Revision.

Von den Operationen der Patienten in Gruppe 5 wurden 13 postoperativ revidiert. Dies entspricht 13% dieser Gruppe. Von diesen Patienten hatten 3 eine Fadennachlegung, eine Mäandernaht wurde bei einem weiteren Patienten durchgeführt. 9 Patienten erhielten eine offene Revisionsbehandlung.

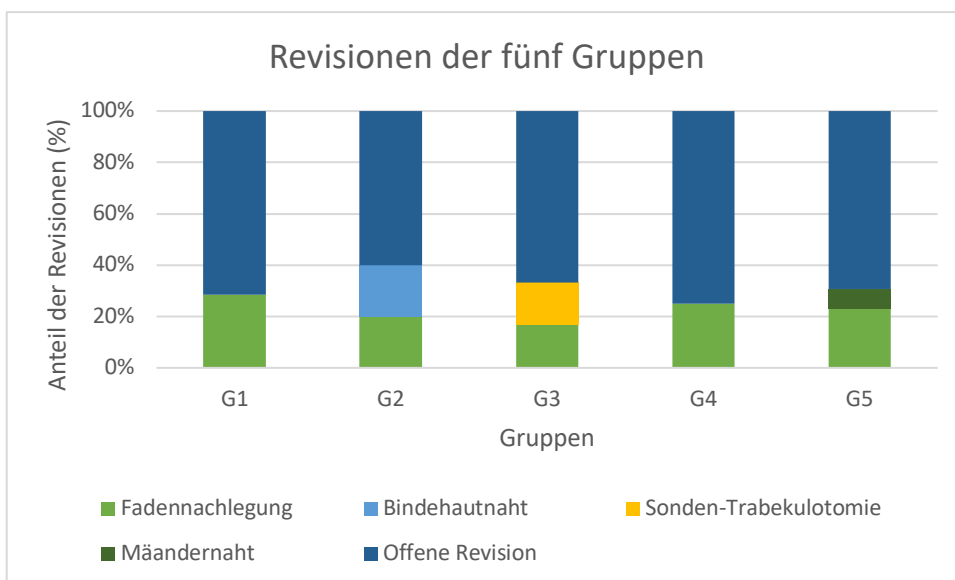
Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Revisionsbehandlungen in den jeweiligen Gruppen der Studienkohorte.

**Tabelle 16:** Absolute und relative Häufigkeiten der Art der durchgeführten Revisionen des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppen 1-5

Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Transkonjunktivale Fadennachlegung	8 (3%)	2 (4%)	1 (2%)	1 (2%)	1 (2%)	3 (3%)
Bindehautnaht	1 (0,3%)	0 (0%)	1 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Mäandernaht	1 (0,3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (1%)
Offene Revision	24 (8%)	5 (10%)	3 (6%)	4 (8%)	3 (6%)	9 (9%)
Sonden-Trabekulotomie	1 (0,3%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (2%)	0 (0%)	0 (0%)
Gesamt	35 (12%)	7 (14%)	5 (10%)	6 (12%)	4 (8%)	13 (13%)



**Abb. 23:** Kreisdiagramm der Art der durchgeführten Revisionen des gesamten Patientenkollektivs



**Abb. 24:** Säulendiagramm der Art der durchgeführten Revisionen der fünf Gruppen in Prozent

#### 4.2.7 Postoperative medikamentöse Glaukom-Behandlung mittels Augentropfen

Postoperativ wurde die Einnahme von Augentropfen, die der Glaukombehandlung dienen, aufgezeichnet. In diesem Abschnitt wird die postoperative Einnahme von Augentropfen in den verschiedenen Untergruppen verglichen.

Aus dem gesamten Patientenkollektiv nahmen 13 Patienten (4%) postoperativ Augentropfen ein.

In Gruppe 1 entsprach dies 4%, bzw. 2 Patienten.

1 Patient aus Gruppe 2 erhielt Augentropfen. Dies entspricht 2% der Patienten aus der Gruppe.

Aus Gruppe 3 nahmen 4% der Patienten (2 Patienten) Augentropfen zu sich.

In Gruppe 4 wurden 4 Patienten Augentropfen verschrieben. Dies entspricht einer Prozentzahl von 8%.

Aus Gruppe 5 nahmen 4 Patienten (4%) postoperativ Augentropfen ein.

Anhand des Dunnett-T3-Mehrfachvergleichstest konnte festgestellt werden, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Patientenanzahl mit verschriebenen Augentropfen in den einzelnen Gruppen besteht.

**Tabelle 17:** Absolute und relative Häufigkeiten der Einnahme von Augentropfen nach der durchgeführten Trabekulektomie des Patientenkollektivs unterteilt in Gruppe 1-5

Gruppe	Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Postoperative Augentropfen	13 (4%)	2 (4%)	1 (2%)	2 (4%)	4 (8%)	4 (4%)

### 4.3 Erfolg der Trabekulektomie

In dieser Arbeit wurde ein vollständiger Erfolg wie folgt definiert: Augeninnendruck (IOD) <18 mmHg und eine Reduktion des IODs um 20 % ohne Anwendung von Glaukom-Augentropfen und ohne weitere Eingriffe. Auch eine Needling-Behandlung wurde als Misserfolg eingestuft.

Ein vollständiger Erfolg konnte bei 82% der Patienten (247 Patienten) der Gesamtkohorte nach einem 12-monatigen Nachuntersuchungszeitraum erreicht werden.

Bis zum siebten postoperativen Monat wies Gruppe 1 die höchste Erfolgsquote aller Gruppen auf (Monat 7: 95%). Nach einem Zeitraum von 12 Monaten konnten noch 83% der Patienten in Gruppe 1 einen vollständigen Erfolg verzeichnen.

In Gruppe 2 wurde bei 87% der Patienten nach diesem Follow-up-Zeitraum ein vollständiger Erfolg erzielt.

Gruppe 3 wies nach dem ersten postoperativen Monat die schlechteste Erfolgsquote aller Gruppen auf (95%). Dennoch sah die Gruppe im Verlauf der 12 Monate die geringste Versagensrate. Somit wurde letztendlich bei 87% der Patienten ein vollständiger Erfolg erzielt, welches die beste Erfolgsrate der 5 Gruppen darstellt.

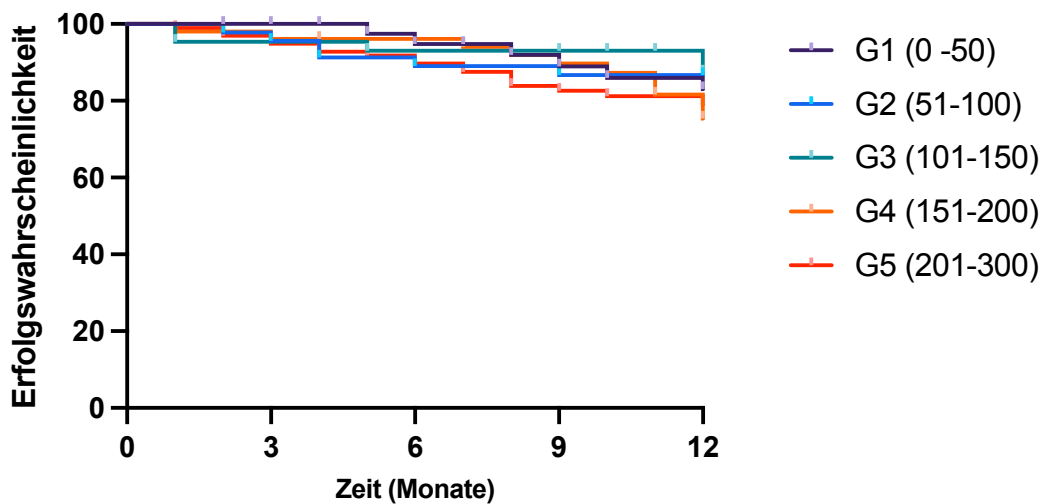
Ein vollständiger Erfolg wurde nach einem 12-monatigen Follow-up-Zeitraum bei 75% der Patienten in Gruppe 4 festgestellt. Dies stellt die schlechteste Erfolgsquote aller 5 Gruppen dar. Gruppe 4 sah einen gleichmäßigen Rückgang der Erfolgsrate von Monat 1 (98%) bis Monat 10 (87%). Darauf folgten mit Monat 11 und Monat 12 zwei größere Rückgänge in der Erfolgsrate auf 82% und letztendlich auf 75%.

Innerhalb der Gruppe 5 zeigten 79% der Patienten nach einem 12-monatigen Follow-up-Zeitraum einen vollständigen Erfolg.

Die berechneten Erfolgswerte des Patientenkollektivs unterscheiden sich statistisch nicht signifikant voneinander.

**Tabelle 18:** Prozentualer Erfolg der Trabekulektomie des Patientenkollektivs über einen Nachbeobachtungszeitraum von 12 Monaten unter Berücksichtigung der oben genannten Kriterien, unterteilt in Gruppe 1-5

Gruppe		Gesamt	G 1 (n=50)	G 2 (n=50)	G 3 (n=50)	G 4 (n=50)	G 5 (n=100)
Erfolg in %	Nach Monat 1	98	100		95	98	99
	Nach Monat 2	98	100	98			97
	Nach Monat 3	97	100	96		96	95
	Nach Monat 4	95	100	91		96	93
	Nach Monat 5	94	97		93		92
	Nach Monat 6	91	95	89			90
	Nach Monat 7	92	95			94	88
	Nach Monat 8	90	92		93	92	84
	Nach Monat 9	88	89	87	93	90	83
	Nach Monat 10	87	86		93	87	81
	Nach Monat 11	85			93	82	81
	Nach Monat 12	<b>82</b>	<b>83</b>	<b>87</b>	<b>87</b>	<b>75</b>	<b>79</b>



**Abb. 25:** Diagramm des Erfolgs der Trabekulektomie über einen Nachbeobachtungszeitraum von 12 Monaten

## 5 *Diskussion*

In dieser Studie umfasste das Patientenkollektiv 300 konsekutive Patienten, die sich einer Trabekulektomie unterzogen haben und die ersten 300 selbständig durchgeführten Trabekulektomien eines Operateurs darstellten. Diese Kohorte wurde sorgfältig bestimmt, um eine vollständige Erhebung über die verschiedenen Stadien der operativen Ausbildung darzustellen. Es wurde schließlich eine umfassende Analyse durchgeführt, um die Auswirkungen der chirurgischen Erfahrung auf den Therapieerfolg zu bewerten.

Ein wichtiges Ergebnis der Studie ist der Zusammenhang zwischen Patientenmerkmalen und dem operativen Erfolg. Während in frühen Ausbildungsphasen überwiegend ältere Patienten mit fortgeschrittenem primäre Offenwinkelglaukom operiert wurden, nahm im späteren Verlauf die Zahl jüngerer Patienten mit Normaldruckglaukom zu.

Auch die präoperative Krankengeschichte der Patienten beeinflusste das Operationsergebnis. Patienten mit Voroperationen hatten insgesamt schlechtere Erfolgsaussichten, wobei sich dennoch zeigte, dass auch weniger erfahrene Operateure mit entsprechender Anleitung komplizierte Fälle erfolgreich durchführen konnten.

Hinsichtlich der postoperativen Ergebnisse fiel eine insgesamt signifikante Reduktion des intraokularen Drucks (IOD) auf. Der mittlere IOD sank um 46 % auf 12,6 mmHg, wobei die höchste Erfolgsquote in Gruppe 3 und die niedrigste in Gruppe 5 beobachtet wurde.

Weitere Faktoren waren die Gabe von 5-Fluorouracil (5-FU) und die Durchführung von Suturolysen. Während sich in dieser Studie kein direkter Zusammenhang zwischen der 5-FU-Gabe und der Erfolgsrate zeigte, konnte festgestellt werden, dass mit zunehmender operativer Erfahrung die Anzahl an Suturolysen steigt, da komplexere Fälle operiert werden.

Die hier beschriebene Studienpopulation war mit den in bestehenden Studien vorzufindenden durchschnittlichen Kollektiven von Glaukompatienten vergleichbar (15, 16, 19).

Unter Berücksichtigung unseres Patientenkollektivs erkennt man, dass die Mehrheit der mittels Trabekulektomie versorgten Glaukompatienten weiblich sind (58%). Dieses Verhältnis findet sich auch in den von uns unterteilten Gruppen wieder, mit der Ausnahme von Gruppe 4. Hier waren 44% der Patienten weiblich. Jedoch waren diese Schwankungen in der Geschlechterverteilung statistisch nicht signifikant.

Diese geschlechtsspezifischen Häufungen bezüglich Glaukomerkrankungen werden nicht in der Literatur bestätigt. Hier gilt das männliche Geschlecht als ein Risikofaktor für die Glaukomerkrankung (11)

Das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs betrug  $68,6 \pm 13$  Jahre. Das Alter in den ersten drei Gruppen lag im Durchschnitt höher als in Gruppen 4 und 5. Zusätzlich bestand ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen dem Alter der Patienten aus Gruppe 3 und Gruppe 5. Dies könnte den Therapieerfolg ebenfalls beeinflusst haben: Gruppe 3 weist die höchste und Gruppe 5 die niedrigste Erfolgsquote auf. Verglichen zu anderen Studien ist zu beobachten, dass untersuchte Patientenkollektive von Glaukompatienten häufig ein Lebensalter von 60 bis 80 Jahren aufweisen (82-84). Es zeigt sich ein exponentieller Anstieg der Glaukomerkrankungen im erhöhten Alter, dennoch ist der genaue Grund für diesen Anstieg noch nicht vollständig erforscht. Es wird vermutet, dass die Empfindlichkeit des optischen Nervs gegenüber Schädigung im Alter zunimmt (85, S. 5).

Das vergleichsweise niedrigere Alter in den Gruppen 4 und 5 könnte darauf hindeuten, dass auch jüngere Patienten für die Operation in Betracht gezogen wurden. Mit zunehmender operativer Erfahrung könnte sich die Auswahl der Patienten für eine Trabekulektomie weiter verändern. Während in frühen Ausbildungsstadien möglicherweise bevorzugt ältere Patienten mit fortgeschrittenerem Glaukom operiert werden, könnte in späteren Phasen auch die Indikation für jüngere Patienten mit geringerem Glaukomschaden in Betracht gezogen werden. Da Glaukome bei jüngeren Patienten oft schwieriger zu behandeln sind stellt sich die Frage, inwieweit die zunehmende chirurgische Erfahrung die Erfolgsraten in dieser Patientengruppe beeinflussen könnte.

Die Art des Glaukoms ist ein entscheidender Faktor für den Erfolg der Trabekulektomie. Die Verteilung der Glaukومتypen entsprach den epidemiologischen Daten, die in der Literatur beschrieben sind (3). Dennoch gab es kleine Unterschiede in der Verteilung des Glaukومتyps. In der vierjährigen Studie von Tanito et. al. wurde beschrieben, dass das Pseudoexfoliationsglaukom mit 28% am häufigsten und das primäre Offenwinkelglaukom mit einem Anteil von 21% am zweithäufigsten aufgetreten war (86, S. 1).

Das primäre Offenwinkelglaukom bildete in der vorliegenden Studie mit 167 Patienten (56%) die häufigste Glaukomdiagnose, gefolgt von dem Pseudoexfoliationsglaukom (N = 71; 24%), dem Normaldruckglaukom (N = 30, 10%), dem Uveitischen Sekundärglaukom (N = 10, 3%), dem Pigmentdispersionsglaukom (N = 9, 3%), dem spät-juvenilen Glaukom (N = 5, 2%) und den sonstige Glaukomarten (N = 7; 2%).

In unserer Studie stellten wir fest, dass Patienten mit Normaldruckglaukom im späteren Stadium der operativen Ausbildung häufiger vertreten waren. Während der Anteil von Patienten mit Normaldruckglaukom in Gruppe 1 und 2 respektiv bei 4% und 6% lagen, stieg der Anteil in Gruppen 3, 4 und 5 respektiv auf 10%, 12% und letztlich 16%. Dies hatte auch eine Auswirkung auf die Therapie und somit wurde die Erfolgsquote beeinflusst. In unserer Studie beobachteten wir einen Rückgang der Erfolgsraten, als die Erfahrung des Chirurgen zunahm und die Indikationsstellung zu einem höheren Anteil von Normaldruckglaukom-Patienten gegen Ende führte.

Die Erfüllung der vollständigen Erfolgskriterien, insbesondere das Erreichen einer 20%igen Reduktion des intraokularen Drucks (IOD) im Vergleich zum Ausgangswert, erwies sich bei Normaldruckglaukom-Patienten als herausfordernd. Dies steht auch im Einklang mit früheren Studien, die gezeigt haben, dass Normaldruckglaukom-Patienten schwieriger zu behandeln sind und seltener die Zielwerte für den intraokularen Druck (IOD) erreichen (87). In den Studien von unter anderem Iverson et. al., Aoyama et. al. oder Jongsareejit et. al., wurde beschrieben, dass eine erfolgreiche Behandlung durch eine Reduktion des IODs um 20-30% stattfinden kann. Dennoch konnte bei der Studie von Aoyama et. al. und Jongsareejit et. al. nur eine Erfolgsrate von 70%, bzw. 40% respektiv erreicht werden (88, 89).

Die Krankengeschichte der Patienten, insbesondere vorherige Augenoperationen, beeinflusst ebenfalls den Therapieerfolg. Dies liegt zum Beispiel daran, dass frühere Eingriffe Narbenbildung verursachen können, die den Abfluss des Kammerwassers behindert. Ein Aspekt unserer Studie war die Erfassung von Voroperationen am Auge. Etwa 30% (N=111) der Patienten hatten bereits vorherige okuläre Eingriffe. Hierbei bestanden auch statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Anzahl an Voroperationen zwischen den Gruppen, vor allem zwischen der ersten Gruppe und den Gruppen 3, 4 und 5. Diese Voroperationen können das Ergebnis der Trabekulektomie beeinflussen, indem sie die anatomischen und physiologischen Bedingungen des Auges verändern. Dies zeigt zum Beispiel die Studie von Broadway et. al. in der die Erfolgsrate der filtrierenden Chirurgie bei Patienten ohne vorheriger Operation bei 93%, und mit vorausgegangener Operation bei 38% lag (90, S. 805). Eine Vielzahl der betrachteten Studien schloss Patienten mit voroperierten Augen teilweise oder vollständig von deren Studienpopulation aus (82, 91-93).

Mit einem Anteil von insgesamt 8% war die Trabekulektomie die häufigste Voroperation. Auch konnte gesehen werden, dass Gruppe 5 den kleinsten Anteil an Patienten (30%) mit Voroperierten Augen hatte. Gruppen 1 und 2 hatten die höchsten prozentualen Anteile an

voroperierten Augen und zeigten mit 83% und 87% die dritt und zweit höchste Erfolgsrate der Untergruppen auf. Somit lässt sich sagen, dass unerfahrene Operateure mit der richtigen Anleitung auch kompliziertere Fälle, das heißt voroperierte Patienten, erfolgreich durchführen können.

Der präoperative Visus der Patienten variierte stark, von normalem bis zu stark eingeschränktem Sehvermögen. Während Gruppe 1 im Durchschnitt einen präoperativen Visus von 0,57 logMAR hatte, wiesen sowohl Gruppe 3 als auch Gruppe 4 einen Visus von durchschnittlich 0,74 logMAR auf.

Im Schnitt lag der Visus des gesamten Patientenkollektivs jedoch bei einem Wert von 0,66  $\pm$ 0,27 logMAR. Dieser Wert ist vergleichbar mit weiteren Studien, wie die von Stalmans et. al. mit einem durchschnittlichen Wert von 0,67  $\pm$ 0,33 logMAR, oder die von Zhang et. al. mit einem Wert von 0,52  $\pm$ 0,41 logMAR (94, S. 45, 95, S. 860). In der Studie von Wagschal et. al. lag dieser Wert jedoch etwas niedriger bei 0,49  $\pm$ 0,60 logMAR (96, S. 625).

Im postoperativen Verlauf kommt es bei der Mehrheit der Augen am Zeitpunkt der Entlassung zur Reduktion des Visus. Die gesamte Studienpopulation hatte einen mittleren Visus von 0,43  $\pm$ 0,24 logMAR. Somit kam es zu einer Abnahme des Visus-Wertes im Mittel um 35% (0,23 logMAR). Die Werte der Visusabnahme der unterschiedlichen Gruppen waren, abgesehen von Gruppe 3 und Gruppe 4, weitestgehend vergleichbar.

In Gruppe 3 und Gruppe 4 waren Abnahmen des Visus-Wertes von 0,33 logMAR zu sehen. Jedoch waren die Ausgangswerte des Visus, die sich auch statistisch von den übrigen Werten unterschieden, vergleichsweise höher als die der anderen Gruppen. Schlussfolgernd könnte man daraus schließen, dass höhere präoperative Visuswerte zu einem stärkeren Abfall des postoperativen Visus führen. Andere Studien zeigten jedoch, dass ein schlechterer Visus als Risikofaktor eingestuft werden sollte und häufig zu einem schlechterem postoperativen Visus führt (97).

Aufgrund fehlender Visus-Werte nach 12 Monaten gestaltet sich der postoperative Vergleich mit anderen Studien schwierig.

Der intraokulare Druck (IOD) vor der Operation lag im Durchschnitt bei 24 mmHg, mit Werten zwischen 18 und 35 mmHg. Auch hier bestand ein statistisch signifikanter

Unterschied des IODs zwischen den Gruppen 1 und 2, wobei Gruppe 1 einen höheren IOD hatte.

Ein erhöhter präoperativer IOD ist ein wesentlicher Indikator für das Fortschreiten des Glaukoms und die Notwendigkeit chirurgischer Interventionen (98).

Postoperativ war das Ziel unter Anderem den Augeninnendruck (IOD) auf  $<18$  mmHg zu senken und eine Reduktion des IODs um 20 % zu erreichen.

Der IOD des gesamten Patientenkollektivs sank im Mittel um 46% auf  $12,6 \pm 5,6$  mmHg. Am stärksten sank der IOD in Gruppe 3. Hier gab es eine Reduktion des IODs von 24,2 mmHg um 52% auf 11,5 mmHg. Gruppe 3 zeigte auch die höchste Erfolgsrate auf, was im direkten Zusammenhang zum IOD steht. Am geringsten sank der IOD in Gruppe 4. Hier gab es eine Reduktion von 42% und die Erfolgsquote war mit 75% am schlechtesten der fünf Untergruppen zu werten. Nichtsdestotrotz sind die Verläufe der fünf Gruppen vergleichbar und weisen eine einheitliche Tendenz zur IOD-Reduktion auf.

In anderen Studien waren die Veränderungen der Augeninnendrucke wie folgt. In einer Studie von Strzalkowska et al. wurde gezeigt, dass der IOD nach einer Trabekulektomie von  $22,3 \pm 5,6$  mmHg bei einer Medikation von  $2,7 \pm 1,1$  auf  $11,1 \pm 4,4$  mmHg bei einer Medikation von  $0,0 \pm 0,2$  nach einem Monat und auf  $12,2 \pm 3,4$  mmHg bei einer Medikation von  $0,1 \pm 0,4$  nach zwölf Monaten sank (98).

In der Studie von Gedde et al. sank der intraokulare Druck (IOD) von durchschnittlich  $25,6 \pm 5,3$  mmHg auf  $12,7 \pm 5,8$  mmHg nach einem Jahr, während die Anzahl der benötigten Glaukom-Medikamente von durchschnittlich  $3,0 \pm 1,2$  auf  $0,5 \pm 0,9$  reduziert wurde (99). Ähnliche Ergebnisse ergaben sich auch aus der Studie von Stalmans et al.. Hier wurde ein Rückgang des IOD von präoperativ  $21,2 \pm 6$  mmHg auf  $11,8 \pm 4,7$  mmHg nach drei Monaten und auf  $12,8 \pm 3,0$  mmHg nach zwölf Monaten verzeichnet (94).

Somit entsprechen die in dieser Studie entstandenen Werte des Augeninnendruckes und dessen Verlauf, den in anderen Publikationen erzielten Werten.

Des Weiteren wurde die Form der Anästhesie in dieser Studie analysiert. Im gesamten Patientenkollektiv wurden 220 (73%) Patienten mittels einer Intubationsnarkose behandelt. 30 (10%) Patienten erhielten eine Paralbulbäranästhesie und 50 (17%) eine Tropfanästhesie. Auch in den fünf Gruppen waren diese Werte annähernd ähnlich zu beurteilen.

Dementsprechend lässt sich keine Schlussfolgerung bezüglich der Erfolgsrate des Eingriffs auf Grund einer bestimmten Form von Anästhesie ziehen.

Auch weitere Studien, wie die Studien von Rickmann et. al. oder Kuchenbecker et. al., zeigen, dass kein signifikanter Unterschied zwischen der Erfolgsrate der Trabekulektomie und den unterschiedlichen Formen der Anästhesie besteht (100, 101).

Die postoperative Gabe von 5-Fluorouracil (5-FU) nach einer Trabekulektomie hat sich als wirksame Methode zur Erhöhung der Erfolgsrate der Trabekulektomie etabliert, insbesondere bei Patienten mit einem hohen Risiko für chirurgisches Versagen (siehe Abschnitt 2.1.4). In unserer Studie erhielten 26% postoperativ nach dem stationären Aufenthalt mindestens eine 5-FU-Gabe. Die Anzahl an 5-FU-Gaben pro Patienten stieg von Gruppe 1 bis zur Gruppe 5 an. Dies spricht dafür, dass auch in unserem Fall mit fortschreitender Erfahrung, schwerere Patientenfälle vom Operateur behandelt wurden, und somit auch die Anzahl an 5-FU-Gaben stiegen. Es zeigte sich jedoch in unserer Studie keinen Zusammenhang zwischen der Erfolgsrate der einzelnen Gruppen und der Gabe von 5-FU.

In einer umfassenden Cochrane-Analyse aus dem Jahr 2014, konnte dennoch gezeigt werden, dass 5-FU die Erfolgsrate von Trabekulektomien stark verbessert (70).

Vergleichbar zu den Werten in der vorliegenden Studie waren die der Studie von Picht et. al.. Hier erhielten 28% der Patienten eine postoperative 5-FU Injektion, und es bestand eine Erfolgsquote von 89% (102, S. 631). Eine weitere relevante Studie von Lindemann et. al., verfolgte die Langzeitergebnisse von Patienten, die nach einer Trabekulektomie mit 5-FU behandelt wurden. In dieser Studie erhielten jedoch 57% der Patienten mindestens eine postoperative Gabe von 5-FU, mit einer letztendlich Erfolgsrate (IOD  $\leq$ 18mmHg) von 79% (103, S. 76). Dieser Unterschied in der 5-FU Injektion lässt sich auf die unterschiedlichen Patientenkollektive und den verschiedenen Zielen der Studien zurückführen. Dennoch lässt sich feststellen, dass verglichen zu der vorliegenden Studie und Studien wie die von Picht et. al., in denen geringere Werte von 5-FU Gaben registriert wurden, die Erfolgsquote mit steigender 5-FU Gabe sinkt.

Die postoperative Anwendung von Suturelysen nach einer Trabekulektomie ist entscheidend für die Feinabstimmung des intraokularen Drucks (IOD) und den Langzeiterfolg der Operation (104).

Verglichen zu der aktuellen Studienlage erhielten Patienten in unserem Patientenkollektiv im Therapieverlauf eine ähnliche Anzahl an Suturolysen. In unserem Patientenkollektiv erhielten 52 % der Patienten mindestens eine Suturolyse. Zum Beispiel erhielten in der Studie von Gale et. al. 54% der Patienten eine Suturolyse, 52% der Patienten erhielten in Rasheed et. al. eine Suturolyse (91, 105). 97% der Trabekulektomien in der Studie von Gale et al. galten als erfolgreich, 92% der TEs in der Studie von Rasheed et. al. galten als erfolgreich (91, 105). Im Vergleich dazu lag die Rate in der Studie von Fontana et al. bei 34 % und die Erfolgsquote der TEs bei 87% (82). Der geringe Anteil an Suturolysen und die dennoch hohe Erfolgsquote, kann auf Unterschiede in der Patientenselektion und den operativen Techniken zurückgeführt werden.

Die Anzahl der Suturolysen, die Patienten in unserer Population erhielten, wurden auch von 0,8 pro Patient in Gruppe 1 bis hin zu 1,0 pro Patient in Gruppe 5 gesteigert. Dies könnte auf eine komplexere Fallauswahl im Verlauf der operativen Ausbildung hindeuten.

Insgesamt zeigt sich, dass die Häufigkeit von Suturolysen sowohl durch die individuellen Patienteneigenschaften als auch durch die operative Erfahrung des Chirurgen beeinflusst wird.

Das Hauptziel der vorliegenden Studie war es den Erfolg der Trabekulektomie in verschiedenen Stadien der chirurgischen Ausbildung eines einzelnen Operateurs zu bewerten und zu vergleichen. Wenn man andere Studien bezüglich der operativen Erfahrung im Zusammenhang mit dem Therapieerfolg betrachtet, werden unterschiedliche Meinungen diesbezüglich sichtbar. Einerseits zeigen Studien zur Lernkurve von Assistenzärzten bei der Durchführung von Phakoemulsifikationen, dass in der Regel 70–80 Phakoemulsifikationsfälle erforderlich sind, um chirurgische Kompetenz und Effizienz auf Expertenniveau zu erreichen (106, 107). Al-Jidan et al. betonen, dass die Entwicklung mikrochirurgischer Fähigkeiten sowohl Zeit als auch Hingabe erfordert (108).

Dem gegenüber stehen Studien wie die retrospektive Studie von Marques et al. in der die ersten sechs XEN-Implantationen, die von zehn verschiedenen Chirurgen durchgeführt wurden, verglichen wurden. Ihre Ergebnisse heben hervor, dass die Reduktion des IODs und die Komplikationsrate nahezu vergleichbar mit denen in hochvolumigen chirurgischen Zentren sind (109). Darüber hinaus betont ihre Studie die Bedeutung einer im Krankenhaus durchgeführten Ausbildung, welche unter Aufsicht von entsprechend ausgebildeten und

erfahrenen Chirurgen vollzogen wird (109). Dies führt zu einer gesteigerten Effektivität und Sicherheit für die auszubildenden Operateure (109). Ähnliche Ergebnisse wurden von Carricondo et al. dargestellt, die die entscheidende Rolle einer adäquaten Supervision zur Sicherstellung erfolgreicher chirurgischer Ergebnisse betonen (110). In dieser Studie führten Assistenzärzten im dritten Jahr ihrer Weiterbildung Kataraktoperationen mit der Phakoemulsifikationsmethode durch (110). Die Studie betont, dass eine Supervision insbesondere in den ersten 40 Fällen, die tendenziell höhere Komplikationsraten aufweisen, von Bedeutung ist (110).

Betrachtet man diese Studie, so wird ein vollständiger Erfolg wie folgt definiert: Augeninnendruck (IOD) <18 mmHg und eine Reduktion des IODs um 20 % ohne Anwendung von Glaukom-Augentropfen und ohne weitere Eingriffe. Auch Needling wurde als Misserfolg eingestuft.

Unsere Studie zeigte, dass bereits durch engmaschiges Anlernen in der Anlernphase (ca. die ersten 20 Trabekulektomien) ein guter Erfolg sich einstellen kann und der Erfolg der Trabekulektomie danach nicht stark von der Erfahrung des Operateurs abzuhängen scheint. In den ersten 50 Operationen unter Anleitung einer erfahrenen Chirurgin erzielte der unerfahrene Chirurg eine vollständige Erfolgsrate von 83%. Die Erfolgsrate stieg in den folgenden 50 Operationen leicht an, fiel jedoch bei zunehmender Routine und weniger strenger Patientenauswahl auf 75% bei den Fällen 151-200 (Gruppe 3). Diese Reduktion der Erfolgsrate in Gruppe 3 könnte jedoch auch auf die eingeschränkten Nachkontrollen während der Covid-19-Pandemie zurückzuführen sein. Insgesamt gab es jedoch keinen signifikanten Unterschied im intraokularen Druck (IOD) nach zwölf Monaten für alle 300 Fälle. Auf der einen Seite verdeutlichen diese Ergebnisse die Bedeutung der Lernkurve, vor allem am Anfang einer Weiterbildung. Auf der anderen Seite validieren diese Ergebnisse die Auswirkung der sorgfältigen Patientenauswahl in den frühen Phasen der Ausbildung auf die Erfolgsrate eines Operateurs. Es lässt sich somit feststellen, dass ein unerfahrener Operateur unter Anleitung und Förderung eines erfahrenen Operateurs und eines gut aufgestellten medizinischen Zentrums erfolgreiche Langzeitergebnisse erzielen kann.

Die Werte dieser Studie entsprechen auch den Erfolgsraten anderer Studien. Die Studie von Kwong et al. ergab, dass die Erfolgs- und Komplikationsraten von Trabekulektomien, die von Assistenzärzten durchgeführt wurden, mit denen vergleichbar waren, die von Fachärzten

vorgenommen wurden (111). Ähnlich erfolgreiche Ergebnisse von 85% wurden von Seider et al. berichtet, bei denen Assistenzärzte sowohl Trabekulektomien als auch Ex-PRESS-Shunts durchführten (112). Die Untersuchung von Chan et al. zeigte, dass fortgeschrittene Augenheilkunde-Assistenzärzte unter akademischer Aufsicht eine hohe Erfolgsrate von 84% bei Trabekulektomien erreichen können (113).

Die klinischen Implikationen unserer Studie sind vielfältig. Erstens zeigt sie, dass mit angemessener Anleitung und sorgfältiger Patientenauswahl auch weniger erfahrene Chirurgen gute Ergebnisse erzielen können. Dies ist besonders wichtig für Ausbildungszentren und Krankenhäuser, in denen Assistenzärzte operative Erfahrungen sammeln (109, 110). Zweitens unterstreicht die Studie die Bedeutung der kontinuierlichen Überwachung und Schulung von beginnenden Operateuren, um die Qualität der chirurgischen Versorgung zu gewährleisten. Des Weiteren heben auch unter anderem Al-Mugheiry et al. die Wichtigkeit hervor, eine Analyse der Lernkurve einzubeziehen und nach Möglichkeit einen relativ geringen Lernkurveneffekt zu demonstrieren. Dieser Ansatz könnte andere Chirurgen dazu inspirieren, eine neue Technik in ihre Praxis zu übernehmen (114). Basierend auf unseren Daten empfehlen wir, einzelne Fälle hinsichtlich des chirurgischen Erfolgs und ihrer Auswahl zu überprüfen.

Schließlich zeigt die Studie, dass die Trabekulektomie trotz der Verfügbarkeit neuerer Techniken (zB. Minimally Invasive Glaucoma Surgery (MIGS)) weiterhin eine wichtige Rolle in der Glaukomchirurgie spielt und erhalten bleiben sollte. Diese Aussage wird auch von weiteren Studien wie die von Wolfram et. al., Singh et. al. und Rao et. al. unterstützt (25, 115, 116).

Unsere Studie hat mehrere Limitationen. Erstens handelt es sich um eine retrospektive Analyse, was inhärente Schwächen wie die Abhängigkeit von bestehenden Aufzeichnungen mit sich bringt. Zweitens spiegelt die Studie die Lernkurve nur eines einzigen Chirurgen wieder, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränken könnte. Drittens wurden die letzten 150 Fälle während der COVID-19-Pandemie durchgeführt, was die Patientenzusammensetzung und möglicherweise die Ergebnisse beeinflusst hat, da schwerere Fälle bevorzugt behandelt wurden. Allgemein muss natürlich bedacht werden, dass auch individuelle Lebensumstände des Behandlers auf die Lernkurve Einfluss nehmen. Diese wurden in dieser Studie nicht mit einbezogen. Auch die Analyse von späteren postoperativen

Daten, um zu zeigen, dass sich der unmittelbar postoperative Visusverlust wieder erholt, konnte nicht vollzogen werden.

Trotz der Limitationen weist unsere Studie auch bedeutende Stärken auf. Die konsekutive Auswertung der ersten 300 Patienten und die sorgfältige Überwachung der Patienten über einen Zeitraum von 12 Monaten liefern wertvolle Erkenntnisse. Ein weiterer Vorteil stellt das große Patientenkollektiv dar: Es konnten Daten von 300 Patienten analysiert werden, welche über einen Zeitraum von 2,5 Jahren operiert wurden.

Zudem zeigt die Studie deutlich, dass die Erfolgskriterien auch von weniger erfahrenen Chirurgen erreicht werden können, was für Ausbildungszwecke und die zukünftige Planung der chirurgischen Ausbildung von großer Bedeutung ist.

Unsere Studie zeigt, dass die Trabekulektomie auch bei weniger erfahrenen Chirurgen, unter Anleitung, zu hohen Erfolgsraten führen kann. Die Erfolgsquote war konsistent mit anderen Studien und zeigte, dass die richtige Anleitung und Auswahl der Patienten entscheidend sind. Die klinischen Implikationen betonen die Notwendigkeit der Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung der wichtigen chirurgischen Technik, der Trabekulektomie. Trotz der Limitationen bietet unsere Studie wertvolle Einblicke und Empfehlungen für die zukünftige Ausbildung und Praxis in der Glaukomchirurgie.

Mit diesen Erkenntnissen empfehlen wir eine fortlaufende Überprüfung der individuellen Fälle, um die chirurgischen Ergebnisse weiter zu verbessern. Trabekulektomien sollte weiterhin ein zentrales Verfahren in der Glaukombehandlung bleiben, insbesondere bei fortgeschrittenen und therapierefraktären Fällen.

## 6 Zusammenfassung

Diese retrospektive Studie zielte darauf ab, den Erfolg der Trabekulektomie in verschiedenen Stadien der chirurgischen Ausbildung eines einzelnen Operateurs zu bewerten und zu vergleichen. Der Fokus lag dabei nicht nur auf der technischen Durchführung der Operation, sondern auch auf dem Einfluss der zunehmenden chirurgischen Erfahrung auf den Verlauf und das Ergebnis der operativen Therapie. Zudem sollten Faktoren identifiziert werden, die den Erfolg dieser Behandlungsmethode systematisch beeinflussen.

Die Studie umfasste den Zeitraum von Dezember 2019 bis Mai 2022 und schloss konsekutiv 300 Glaukompatienten ein, die eine Trabekulektomie mit Mitomycin C erhielten. Diese Patienten wurden wiederum in fünf Gruppen unterteilt, welche in chronologischer Reihenfolge den Gruppen zugewiesen wurden, um die Lernkurve der Ausbildung darzustellen. Der Therapieerfolg wurde anhand einer strikten Kontrolle des intraokularen Drucks (IOD) definiert, wobei ein IOD von unter 18 mmHg und eine Reduktion des IODs um mindestens 20% ohne den Einsatz von Glaukom-Augentropfen oder nachträgliche Revisionen als erfolgreich angesehen wurden. Needling-Eingriffe galten dabei als Misserfolg. Ziel war es, ein besseres Verständnis für die Rolle der chirurgischen Erfahrung und andere relevante Faktoren im Hinblick auf den langfristigen Erfolg dieser Operation zu gewinnen.

In der vorliegenden Studie erzielte der unerfahrene Operateur in den ersten 50 Operationen unter Anleitung einer erfahrenen Chirurgin eine vollständige Erfolgsrate von 83%. Die Erfolgsrate stieg in den folgenden 50 Operationen leicht auf 87% und in den nächsten 50 Operationen weiter auf 87% an, fiel jedoch bei zunehmender Routine und weniger strenger Patientenauswahl bei den Fällen 151-200 auf 75%. Im Fall der letzten 100 Patienten stabilisierte sich die Erfolgsquote auf 79%, welches immer noch geringer war als die Werte der ersten drei Gruppen.

Insgesamt gab es dennoch keinen signifikanten Unterschied im intraokularen Druck (IOD) nach zwölf Monaten für alle 300 Fälle. Unsere Studie zeigte somit, dass der Erfolg der Trabekulektomie nicht unmittelbar von der Erfahrung eines Operateurs, insbesondere nach erfolgter Anlernphase, abhängt.

## 7 *Literaturverzeichnis*

1. Casson RJ, Chidlow G, Wood JP, Crowston JG, Goldberg I. Definition of glaucoma: clinical and experimental concepts. *Clinical & Experimental Ophthalmology*. 2012;40(4):341-9.
2. Pfeiffer N. Definition des Glaukoms. Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft. 2007:1-2.
3. European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma, 5th Edition. *British Journal of Ophthalmology* 2021;105(1):1-169.
4. Fechtner RD, Weinreb RN. Mechanisms of optic nerve damage in primary open angle glaucoma. *Survey of Ophthalmology*. 1994;39(1):23-42.
5. Mozaffarieh M, Flammer J. New insights in the pathogenesis and treatment of normal tension glaucoma. *Current Opinion in Pharmacology*. 2013;13(1):43-9.
6. Grehn F. *Augenheilkunde*. 32 ed. Berlin: Springer; 2019.
7. Augustin AJ. *Augenheilkunde*. 3 ed. Berlin: Springer; 2007.
8. e.V. BdAD, e.V. DOG. Leitlinie Nr. 15a Primäres chronisches Offenwinkelglaukom, Normaldruckglaukom und okuläre Hypertension. Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft eV. 2006:14.
9. Gramer G, Gramer E. Stage of visual field loss and age at diagnosis in 1988 patients with different glaucomas: implications for glaucoma screening and driving ability. *International Ophthalmology*. 2018;38(2):429-41.
10. Kim KE, Kim MJ, Park KH, Jeoung JW, Kim SH, Kim CY, et al. Prevalence, Awareness, and Risk Factors of Primary Open-Angle Glaucoma: Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2008–2011. *Ophthalmology*. 2016;123(3):532-41.
11. Choplin NT, Traverso CE. *Atlas of glaucoma*: CRC Press; 2014. 364 p.
12. Shantha B, David RL. Classification and management of primary angle closure. *Medical & Vision Research Foundations*. 2017;35(1).
13. Cioffi G. Basic and clinical science course (BCSC): Glaucoma. San Francisco: American Academy of Ophthalmology. 2011.
14. Jonas JB, Aung T, Bourne RR, Bron AM, Ritch R, Panda-Jonas S. Glaucoma. *Lancet*. 2017;390(10108):2183-93.
15. Zhang N, Wang J, Chen B, Li Y, Jiang B. Prevalence of Primary Angle Closure Glaucoma in the Last 20 Years: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Frontiers in Medicine*. 2021;7.
16. Day AC, Baio G, Gazzard G, Bunce C, Azuara-Blanco A, Munoz B, et al. The prevalence of primary angle closure glaucoma in European derived populations: a systematic review. *British Journal of Ophthalmology*. 2012;96(9):1162-7.
17. Lahola-Chomiak AA, Footz T, Nguyen-Phuoc K, Neil GJ, Fan B, Allen KF, et al. Non-Synonymous variants in premelanosome protein (PMEL) cause ocular pigment dispersion and pigmentary glaucoma. *Human Molecular Genetics* . 2019;28(8):1298-311.
18. Resnikoff S, Pascolini D, Etya'ale D, Kocur I, Pararajasegaram R, Pokharel GP, et al. Global data on visual impairment in the year 2002. *Bull World Health Organ*. 2004;82(11):844-51.
19. Tham YC, Li X, Wong TY, Quigley HA, Aung T, Cheng CY. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2014;121(11):2081-90.

20. e.V. BdAD, e.V. DOG. Leitlinie Nr. 15 c Detektion des primären Offenwinkelglaukoms (POWG): Glaukom-Screening von Risikogruppen, Glaukomverdacht, Glaukomdiagnose. Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft eV. 2006:15.
21. Bhowmik D, Kumar KS, Deb L, Paswan S, Dutta A. Glaucoma-A Eye Disorder Its Causes, Risk Factor, Prevention and Medication. The Pharma Innovation. 2012;1(1, Part A):66.
22. Schmidl D, Schmetterer L, Garhöfer G, Popa-Cherecheanu A. Pharmacotherapy of glaucoma. Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics. 2015;31(2):63-77.
23. Shalaby WS, Shankar V, Razeghinejad R, Katz LJ. Current and new pharmacotherapeutic approaches for glaucoma. Expert Opinion on Pharmacotherapy. 2020;21(16):2027-40.
24. Tătaru CP, Purcărea VL. Antiglaucoma pharmacotherapy. The Journal of Medicine and Life 2012;5(3):247-51.
25. Wolfram C, Schuster AK. Glaukomversorgung in Deutschland – Ergebnisse einer Mitglieder-Umfrage von DOG und BVA: Teil 2: Therapie. Die Ophthalmologie. 2022.
26. Matlach J, Klink T. Trabekulektomie versus Kanaloplastik. Der Ophthalmologe. 2015;112(4):325-31.
27. Watson PG. Surgery of the glaucomas. British Journal of Ophthalmology . 1972;56(3):299-306.
28. Chong RS, Crowston JG, Wong TT. Experimental models of glaucoma filtration surgery. Acta Ophthalmologica. 2021;99(1):9-15.
29. Operative Senkung des Augeninnendruckes : Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden; 2022 [Available from: <https://www.uniklinikum-dresden.de/de/das-klinikum/kliniken-polikliniken-institute/augenheilkunde/leistungsspektrum/spezialsprechstunden/therapie-des-glaukoms/operative-senkung-des-augeinnendruckes>].
30. Caprioli J. Trabeculectomy Fundamentals. United States of America: American Academy of Ophthalmology; 2017. p. 12:5.
31. Jones E, Clarke J, Khaw PT. Recent advances in trabeculectomy technique. Current Opinion in Ophthalmology. 2005;16(2):107-13.
32. Wasielica-Poslednik J, Hoffmann EM, Herzog D, Aliyeva S, Lamparter J, Pfeiffer N. The Size of Subconjunctival Preparation Does Not Influence the Outcome of Trabeculectomy With Mitomycin C. Journal of Glaucoma. 2015;24(5):e75-e9.
33. Schuster AK, Uhrig M, Pfeiffer N, Hoffmann EM. Wie lernt man eine Trabekulektomie operieren? Die Ophthalmologie. 2022;119(10):1006-16.
34. Wenzel M, Wirbelauer C, Scharrer A, Schayan K, Agostini H, Cursiefen C. Ambulante und stationäre Intraokularchirurgie 2020/21. Ophthalmo-Chirurgie. 2021;33:348-57.
35. Wenzel M, Auffarth G, Scharrer A, Schayan K, Reinhard T. Ambulante und stationäre Intraokularchirurgie. 2015. Ophthalmo-Chirurgie. 2016;28:193-200.
36. Chadha N, Warren JL, Liu J, Tsai JC, Teng CC. Seven- and eight-year trends in resident and fellow glaucoma surgical experience. Clinical Ophthalmology . 2019;13:303-9.
37. Akash R, Ateeque Y, Awad J, Babar E. Current Surgical Practice of Trabeculectomy in the United Kingdom (UK National Trabeculectomy Survey 2016). International Journal of Ophthalmology and Clinical Research. 2018;5.
38. Landers J, Martin K, Sarkies N, Bourne R, Watson P. A Twenty-Year Follow-up Study of Trabeculectomy: Risk Factors and Outcomes. Ophthalmology. 2012;119(4):694-702.

39. Sood D, Rathore A, Sood I, Singh G, Sood N. Long-term outcome of combined trabeculotomy–trabeculectomy by a single surgeon in patients with primary congenital glaucoma. *Eye*. 2018;32(2):426-32.
40. Mutsch YA, Grehn F. Success criteria and success rates in trabeculectomy with and without intraoperative antimetabolites using intensified postoperative care (IPC). *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2000;238(11):884-91.
41. Olayanju JA, Hassan MB, Hodge DO, Khanna CL. Trabeculectomy-related complications in Olmsted County, Minnesota, 1985 through 2010. *JAMA ophthalmology*. 2015;133(5):574-80.
42. Hoffmann EM, Pfeiffer N. Trabeculectomy with mitomycin C : Video article. *Ophthalmologe*. 2018;115(6):521-3.
43. Jonescu-Cuypers CP, Seitz B. Postoperative Komplikationen und Management der Filtrationschirurgie. *Der Ophthalmologe*. 2009;106(11):1029.
44. Ramona B, Monica P, Paul-Eduard S, Speranta S, Calin-Petru T. Intraoperative and postoperative complications in trabeculectomy, Clinical study. *Romanian Journal of Ophthalmology*. 2015;59(4):243-7.
45. Mearza AA, Aslanides IM. Uses and complications of mitomycin C in ophthalmology. *Expert opinion on drug safety*. 2007;6(1):27-32.
46. Bindlish R, Condon GP, Schlosser JD, D’Antonio J, Lauer KB, Lehrer R. Efficacy and safety of mitomycin-C in primary trabeculectomy: five-year follow-up. *Ophthalmology*. 2002;109(7):1336-41.
47. Richter GM, Coleman AL. Minimally invasive glaucoma surgery: current status and future prospects. *Clinical Ophthalmology*. 2016;10:189-206.
48. Saheb H, Ahmed, II. Micro-invasive glaucoma surgery: current perspectives and future directions. *Curr Opin Ophthalmol*. 2012;23(2):96-104.
49. Scheres LM, Kujovic-Aleksov S, Ramdas WD, de Crom RM, Roelofs LC, Berendschot TT, et al. XEN® Gel Stent compared to PRESERFLO™ MicroShunt implantation for primary open-angle glaucoma: two-year results. *Acta Ophthalmologica*. 2021;99(3):e433-e40.
50. Gambini G, Carlà MM, Giannuzzi F, Caporossi T, De Vico U, Savastano A, et al. PreserFlo MicroShunt: An Overview of This Minimally Invasive Device for Open-Angle Glaucoma. *Vision*. 2022;6(1):12.
51. Battle JF, Corona A, Albuquerque R. Long-term Results of the PRESERFLO MicroShunt in Patients With Primary Open-angle Glaucoma From a Single-center Nonrandomized Study. *J Glaucoma*. 2021;30(3):281-6.
52. De Gregorio A, Pedrotti E, Stevan G, Bertoncetto A, Morselli S. XEN glaucoma treatment system in the management of refractory glaucomas: a short review on trial data and potential role in clinical practice. *Clin Ophthalmol*. 2018;12:773-82.
53. Taglia DP, Perkins TW, Gangnon R, Heatley GA, Kaufman PL. Comparison of the Ahmed Glaucoma Valve, the Krupin Eye Valve with Disk, and the Double-plate Molteno Implant. *Journal of Glaucoma*. 2002;11(4):347-53.
54. Krupin T, Podos SM, Becker B, Newkirk JB. Valve Implants in Filtering Surgery. *American Journal of Ophthalmology*. 1976;81(2):232-5.
55. Fleischman D, Kim B. Schockmed Valve: A Novel Surgical Option for Uncontrolled Glaucoma in Eyes with Poor Conjunctiva and Encircling Bands. *Journal of Current Glaucoma Practice*. 2017;11(3):120.
56. Britt MT, LaBree LD, Lloyd MA, Minckler DS, Heuer DK, Baerveldt G, et al. Randomized clinical trial of the 350-mm<sup>2</sup> versus the 500-mm<sup>2</sup> Baerveldt implant: longer term results: is bigger better? *Ophthalmology*. 1999;106(12):2312-8.

57. Agrawal P, Bhardwaj P. Glaucoma drainage implants. *International Journal of Ophthalmology*. 2020;13(8):1318-28.
58. Tan MCJ, Choy HYC, Chang VKT, Aquino MC, Sng CCA, Lim DKA, et al. Two-Year Outcomes of the Paul Glaucoma Implant for Treatment of Glaucoma. *Journal of Glaucoma*. 2022;31(6):449.
59. Boyd K. What Is a Glaucoma Drainage Implant? *American Academy of Ophthalmology* 2021 [Available from: <https://www.aao.org/eye-health/diseases/glaucoma-drainage-implants>].
60. Khaimi MA. Canaloplasty: A Minimally Invasive and Maximally Effective Glaucoma Treatment. *Journal of Ophthalmology*. 2015;2015(1):485065.
61. Grover DS, Godfrey DG, Smith O, Feuer WJ, Montes de Oca I, Fellman RL. Gonioscopy-Assisted Transluminal Trabeculotomy, Ab Interno Trabeculotomy: Technique Report and Preliminary Results. *Ophthalmology*. 2014;121(4):855-61.
62. Klemm M. Tiefe Sklerektomie. *Der Ophthalmologe*. 2015;112(4):313-8.
63. Yamin M, Quentin C. Ergebnisse und Komplikationen nach tiefer Sklerektomie. *Der Ophthalmologe*. 2002;99(3):171-5.
64. Gorsler I, Thieme H, Meltendorf C. Cyclophotocoagulation and cyclocryocoagulation as primary surgical procedures for open-angle glaucoma. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2015;253(12):2273-7.
65. Ndulue JK, Rahmatnejad K, Sanvicente C, Wizov SS, Moster MR. Evolution of Cyclophotocoagulation. *Journal of Ophthalmic and Vision Research*. 2018;13(1):55-61.
66. Best U-P, Domack H, Schmidt V. Langzeitergebnisse nach selektiver Lasertrabekuloplastik-eine klinische Studie an 269 Augen. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*. 2005;222(04):326-31.
67. Filev F, Gesser C, Klemm M. Wie sinnvoll ist die Selektive Lasertrabekuloplastik? *Spektrum der Augenheilkunde*. 2016;30(3):117-20.
68. Wilkins M, Indar A, Wormald R. Intra-operative mitomycin C for glaucoma surgery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2005;2005(4).
69. Al Habash A, Aljasim LA, Owaidhah O, Edward DP. A review of the efficacy of mitomycin C in glaucoma filtration surgery. *Clinical Ophthalmology*. 2015;9:1945-51.
70. Green E, Wilkins M, Bunce C, Wormald R. 5-Fluorouracil for glaucoma surgery. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2014(2).
71. Cabourne E, Clarke JC, Schlottmann PG, Evans JR. Mitomycin C versus 5-Fluorouracil for wound healing in glaucoma surgery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;2015(11).
72. Weigel M, Wecke T, Thieme H. Suturolyse–postoperative Intervention nach Trabekulektomie. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*. 2013;230(1).
73. Klink T, Grehn F. Fadenmanagement nach Trabekulektomie. *Der Ophthalmologe*. 2009;106(4):364-7.
74. Chen X, Suo L, Hong Y, Zhang C. Safety and Efficacy of Bleb Needling with Antimetabolite after Trabeculectomy Failure in Glaucoma Patients: A Systemic Review and Meta-Analysis. *Journal of Ophthalmology*. 2020;2020:4310258.
75. Fagerli M, Løfors KT, Elsås T. Needling revision of failed filtering blebs after trabeculectomy: a retrospective study. *Acta ophthalmologica scandinavica*. 2003;81(6):577-82.
76. Rotchford AP, King AJW. Needling Revision of Trabeculectomies: Bleb Morphology and Long-term Survival. *Ophthalmology*. 2008;115(7):1148-53.

77. Coote M, Crowston J. Revision Trabeculectomy: Pearls and Pitfalls. *Journal of Current Glaucoma Practice*. 2012;6(3):131-8.
78. Tulidowicz-Bielak M, Kosior-Jarecka E, Żarnowski T. Revision of trabeculectomy filtering blebs with mitomycin C: Long term results. *Indian J Ophthalmol*. 2016;64(11):822-8.
79. Radhakrishnan S, Quigley HA, Jampel HD, Friedman DS, Ahmad SI, Congdon NG, et al. Outcomes of Surgical Bleb Revision for Complications of Trabeculectomy. *Ophthalmology*. 2009;116(9):1713-8.
80. Maruthappu M, Gilbert BJ, El-Harasis MA, Nagendran M, McCulloch P, Duclos A, et al. The Influence of Volume and Experience on Individual Surgical Performance: A Systematic Review. *Annals of Surgery*. 2015;261(4):642-7.
81. Jacobsen MF, Holm LM, Erichsen JH, Konge L, Siersma V, la Cour M, et al. Defining the surgical footprint in cataract surgery: patient-related outcomes dependent on the experience of the surgeon. *Acta Ophthalmologica*. 2021;99(7):e999-e1005.
82. Fontana H, Nouri-Mahdavi K, Caprioli J. Trabeculectomy with mitomycin C in pseudophakic patients with open-angle glaucoma: outcomes and risk factors for failure. *American journal of ophthalmology*. 2006;141(4):652-9.
83. Shigeeda T, Tomidokoro A, Chen Y-N, Shirato S, Araie M. Long-term follow-up of initial trabeculectomy with mitomycin C for primary open-angle glaucoma in Japanese patients. *Journal of glaucoma*. 2006;15(3):195-9.
84. Group EGPS. The European glaucoma prevention study design and baseline description of the participants. *Ophthalmology*. 2002;109(9):1612-21.
85. Jammal AA, Berchuck SI, Thompson AC, Costa VP, Medeiros FA. The effect of age on increasing susceptibility to retinal nerve fiber layer loss in glaucoma. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2020;61(13):8.
86. Tanito M, Sugihara K, Hara K, Takai Y. Different glaucoma types and glaucoma surgeries among different age groups. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2018;256:2013-4.
87. Iverson SM, Schultz SK, Shi W, Feuer WJ, Greenfield DS. Effectiveness of single-digit IOP targets on decreasing global and localized visual field progression after filtration surgery in eyes with progressive normal-tension glaucoma. *Journal of glaucoma*. 2016;25(5):408-14.
88. Jongsareejit B, Tomidokoro A, Mimura T, Tomita G, Shirato S, Araie M. Efficacy and complications after trabeculectomy with mitomycin C in normal-tension glaucoma. *Japanese journal of ophthalmology*. 2005;49:223-7.
89. Aoyama A, Ishida K, Sawada A, Yamamoto T. Target intraocular pressure for stability of visual field loss progression in normal-tension glaucoma. *Japanese journal of ophthalmology*. 2010;54:117-23.
90. Broadway DC, Grierson I, Hitchings RA. Local effects of previous conjunctival incisional surgery and the subsequent outcome of filtration surgery. *American journal of ophthalmology*. 1998;125(6):805-18.
91. Gale J, Wells AP. Medium-term outcomes of safe surgery system trabeculectomies. *British journal of ophthalmology*. 2008;92(9):1232-5.
92. Alwitry A, Abedin A, Patel V, Moodie J, Rotchford A, King AJ. Primary low-risk trabeculectomy augmented with low-dose mitomycin-C. *European journal of ophthalmology*. 2009;19(6):971-6.
93. Beckers HJ, Kinders KC, Webers CA. Five-year results of trabeculectomy with mitomycin C. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology*. 2003;241(2):106-10.

94. Stalmans I, Gillis A, Lafaut A, Zeyen T. Safe trabeculectomy technique: long term outcome. *British Journal of Ophthalmology*. 2006;90(1):44-7.
95. Zhang N, Tsai PL, Catoira-Boyle YP, Morgan LS, Hoop JS, Cantor LB, et al. The effect of prior trabeculectomy on refractive outcomes of cataract surgery. *American Journal of Ophthalmology*. 2013;155(5):858-63.
96. Wagschal LD, Trope GE, Jinapriya D, Jin Y-P, Buys YM. Prospective Randomized Study Comparing Ex-PRESS to Trabeculectomy: 1-Year Results. *Journal of Glaucoma*. 2015;24(8):624-9.
97. Kashiwagi K, Kogure S, Mabuchi F, Chiba T, Yamamoto T, Kuwayama Y, et al. Change in visual acuity and associated risk factors after trabeculectomy with adjunctive mitomycin C. *Acta Ophthalmologica*. 2016;94(7):e561-e70.
98. Strzalkowska A, Strzalkowski P, Al Yousef Y, Grehn F, Hillenkamp J, Loewen NA. Exact matching of trabectome-mediated ab interno trabeculectomy to conventional trabeculectomy with mitomycin C followed for 2 years. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2021;259:963-70.
99. Gedde SJ, Schiffman JC, Feuer WJ, Herndon LW, Brandt JD, Budenz DL. Treatment outcomes in the tube versus trabeculectomy study after one year of follow-up. *American journal of ophthalmology*. 2007;143(1):9-22.
100. Rickmann A, Andres C, Boden K, Wahl S, Szurman P. Analysis of different types of anesthesia in descemet membrane endothelial keratoplasty. *International Ophthalmology*. 2020;40:541-5.
101. Kuchenbecker J, Rogge M, Käding M, Breuß H. Trabekulektomie in Intubationsnarkose versus topischer Anästhesie. *German Medical Science*. 2013;5.
102. Picht G, Mutsch Y, Grehn F. Follow-up of trabeculectomy. Complications and therapeutic consequences. *Der Ophthalmologe: Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*. 2001;98(7):629-34.
103. Lindemann F, Plange N, Kuerten D, Schimitzek H, Koutsonas A. Three-year follow-up of trabeculectomy with 5-fluorouracil. *Ophthalmic research*. 2017;58(2):74-80.
104. Aykan U, Bilge AH, Akin T, Certel I, Bayer A. Laser Suture Lysis or Releasable Sutures After Trabeculectomy. *Journal of Glaucoma*. 2007;16(2):240-5.
105. Rasheed ES. Initial trabeculectomy with intraoperative mitomycin-C application in primary glaucomas. *SLACK Incorporated Thorofare, NJ*; 1999. p. 360-6.
106. Randleman JB, Wolfe JD, Woodward M, Lynn MJ, Cherwek DH, Srivastava SK. The resident surgeon phacoemulsification learning curve. *Archives of ophthalmology*. 2007;125(9):1215-9.
107. Kaplowitz K, Yazdanie M, Abazari A. A review of teaching methods and outcomes of resident phacoemulsification. *Survey of Ophthalmology*. 2018;63(2):257-67.
108. Al-Jindan M, Almarshood A, Yassin SA, Alarfaj K, Al Mahmood A, Sulaimani NM. Assessment of learning curve in phacoemulsification surgery among the Eastern Province ophthalmology program residents. *Clinical Ophthalmology*. 2020:113-8.
109. Marques RE, Ferreira NP, Sousa DC, Pinto J, Barata A, Sens P, et al. Glaucoma gel implant learning curve in a teaching tertiary hospital. *Journal of glaucoma*. 2019;28(1):56-60.
110. Carricondo PC, Fortes AC, Mourão Pde C, Hajnal M, Jose NK. Senior resident phacoemulsification learning curve (corrected from cure). *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*. 2010;73(1):66-9.
111. Kwong A, Law SK, Kule RR, Nouri-Mahdavi K, Coleman AL, Caprioli J, et al. Long-term outcomes of resident-versus attending-performed primary trabeculectomy with mitomycin C

in a United States residency program. American journal of ophthalmology. 2014;157(6):1190-201.

112. Seider MI, Rofagha S, Lin SC, Stamper RL. Resident-performed Ex-PRESS shunt implantation versus trabeculectomy. Journal of Glaucoma. 2012;21(7):469-74.

113. Chan CK, Lee S, Sangani P, Lin LW, Lin MS, Lin SC. Primary trabeculectomy surgery performed by residents at a county hospital. Journal of Glaucoma. 2007;16(1):52-6.

114. Al-Mugheiry TS, Cate H, Clark A, Broadway DC. Microinvasive glaucoma stent (MIGS) surgery with concomitant phakoemulsification cataract extraction: outcomes and the learning curve. Journal of Glaucoma. 2017;26(7):646-51.

115. Singh K, Sherwood MB, Pasquale LR. Trabeculectomy must survive! Ophthalmology Glaucoma. 2021;4(1):1-2.

116. Rao A, Cruz RD. Trabeculectomy: Does It Have a Future? Cureus. 2022;14(8):e27834.

## 8 *Tabellarischer Lebenslauf*

Name	Florian Leon Daniello
Staatsangehörigkeit	Deutsch

### **Bildungsweg**

---

2024 - Heute	Master of Advanced Studies an der Medizinischen Fakultät der Universität Genf
Juni 2024 - Heute	Vorbereitungsassistent in der Praxis für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie, Dr. Kurt Dawirs
März 2024 - Heute	Vorbereitungsassistent in der Praxis für Zahnerhaltung und Prophylaxe, Oberursel
Januar 2022 - Heute	Promotion zum Dr. med. dent., Augenklinik und Poliklinik der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz <ul style="list-style-type: none"><li>• Dissertationsthema: Trabekulektomie: Ein Vergleich des Therapieerfolgs in den verschiedenen Stadien der operativen Ausbildung</li><li>• Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Alexander Schuster</li></ul>
Okt. 2018 - Nov. 2023	Zahnmedizinstudium an der Johannes Gutenberg - Universität Mainz <ul style="list-style-type: none"><li>• Staatsexamen: Sehr gut</li><li>• Zahnärztlichen Vorprüfung: Sehr gut</li></ul>

Sommer 2022

Hospitation

- Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Düsseldorf
- Klinik für Rekonstruktive Zahnmedizin am Zentrum für Zahnmedizin Zürich

19. Oktober 2021

Aufnahme in die Studienstiftung des deutschen Volkes

5. Mai 2018

Teilnahme am Test für medizinische Studiengänge mit einem Prozentrangwert von 98%, bzw. der Note 1,0.

3 Juni 2017

Schulabschluss mit International Baccalaureate Diplom von der Frankfurt

International School

- IB Benotung: 40 Punkten
- Abiturnote: 1,3

August 2015

Start des 2 - Jährigen 'International Baccalaureate (IB) Diploma Programme' an der Frankfurt International School.

## **Berufliche Laufbahn**

---

Oktober 2022 - März 2023

Notdiensthelfer der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin Mainz

2021 - 2024

Medizinische Produkterfindung und -entwicklung.

- In Zusammenarbeit mit dem Technologietransfer der Unimedizin Mainz.

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| Januar 2020 - 2024          | Kurstutor für den Test für Medizinische Studiengänge (TMS) bei den MedGurus.   |
| März 2019                   | Erfolgreiche Ausbildung zum Landesskilehrer 1 beim Salzburger Berufsskilehrer & Snowboardlehrer Verband. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seit 2015 Skilehrer in Going am Wilden Kaiser, Österreich</li> </ul> |
| 2018-2023                   | Studentische Hilfskraft in der Praxis für Zahnerhaltung und Prophylaxe, Oberursel.   |
| November 2017 - August 2018 | Ausbildung zum Rettungssanitäter beim DRK in Rheinland-Pfalz <ul style="list-style-type: none"> <li>• Note: 1,0</li> </ul>   |

### **Soziales Engagement**

---

- |              |   |
|--------------|---|
| 2022 - 2024  | Mitglied der Teddyklinik Mainz.   |
| 2016 – 2017  | Mitglied des "Kalahari Project" <ul style="list-style-type: none"> <li>• Juli-August 2017: Auslandshilfe in the Kalahari-Wüste, Südafrika um dort in einheimischen Schulen Englisch, Biologie und Mathematik beizubringen.</li> </ul> |
| Oktober 2016 | Jugendförderpreis-Rotary-Club für das Engagement in dem Flüchtlingsprojekt „Ach so! Schülerhilfe“, Oberursel, erhalten.   |

Seit 2016

Mitglied in dem Flüchtlingsprojekt „Ach so!  
Schülerhilfe“ in Oberursel.