

**Aus der Abteilung Augenheilkunde
(Prof. Dr. med. H. Hoerauf)
im Zentrum Augenheilkunde und Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen**

**Intraokularlinse Acri. Lyc 59 RET®
mit unveränderter Brechkraft bei Silikonöltamponade**

INAUGURAL-DISSERTATION

**zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen**

**vorgelegt von
Husnia Baraki
aus
Kabul/Afghanistan**

Göttingen 2010

Dekan: Prof. Dr. med. C. Frömmel

I. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. J. Petersen

II. Berichterstatter/in: Prof. Dr. med. S. Hülsmann

III. Berichterstatter/in: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. W. Krick

Tag der mündlichen Prüfung: 20.06. 2011

Abkürzungsverzeichnis

ACD	anterior chamber depth
AXL	axial length
BA	Beide Augen
BSS	balanced salt solution
GK	Glaskörper
HH	Hornhaut
HKL	Hinterkammerlinse
ICG	Indocyaningrün
ILM	internal limiting membrane
IOL	Intraokularlinse
LA	Linkes Auge
NH	Netzhaut
PCCC	posterior continuous curvilinear capsulorhexis
PVR	Proliferative Vitreoretinopathie
RA	Rechtes Auge
RDP	Retinopathia diabetica proliferans
RDS	Retinopathia diabetica simplex
SE	spherical equivalent
SiÖl	Silikonöl
US	Ultraschall
VK	Vorderkammer
VKT	Vorderkammertiefe

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
Inhaltsverzeichnis	4
1. Einleitung	6
1.1. Übersicht.....	6
1.2. Silikonöltamponade.....	7
1.2.1. Allgemeines zu Silikonöl.....	7
1.2.2. Wirkungsmechanismus und Indikationen	7
1.2.3. Unerwünschte Nebenwirkungen.....	9
1.3. Optik.....	13
1.3.1. Optisches System des Auges.....	13
1.3.2. Brechung mit Silikonöl	16
1.3.3. Meniskuslinse	17
1.3.4. Voraussetzung für stabile Refraktion.....	19
1.3.5. Aniseikonie	21
1.3.6. Intraokularlinse Acri. Lyc 59 RET®.....	22
1.4. Idiopathisches Makulaforamen	23
1.4.1. Epidemiologie	23
1.4.2. Ätiologie und Pathogenese.....	23
1.4.3. Stadieneinteilung nach Gass.....	24
1.4.4. Diagnostik.....	24
1.4.5. Symptomatik.....	26
1.4.6. Therapie	26
2. Zielsetzung.....	28
2.1. Primärziel.....	28
2.2. Sekundärziele	28
3. Material und Methoden.....	29
3.1. Einschlusskriterien	30
3.2. Ausschlusskriterien	30
3.3. Operation und postoperative Nachsorge.....	30
3.3.1. Kataraktextraktion, Vitrektomie und Silikonöltamponade.....	30
3.3.2. Silikonölentfernung	32
3.3.3. Medikamentöse Vor- und Nachsorge	32

3.4. Datenerhebung	32
3.4.1. Refraktion und Visus	33
3.4.2. Biometrie	33
3.4.3. Berechnung der Linse	33
3.4.4. Aniseikonie	34
3.4.5. Intraoperative Daten	36
3.4.6. Subjektive Beschwerden	36
3.4.7. Spaltlampenuntersuchung	36
3.4.8. Funduskopische Untersuchung	36
3.5. Statistik	37
4. Ergebnisse	38
4.1. Patientenkollektiv	38
4.2. Refraktion.....	38
4.3. Vorderkammertiefe.....	40
4.4. Einflussfaktoren auf die Refraktion.....	41
4.5. Aniseikonie.....	45
4.6. Intraoperative Daten.....	48
4.7. Komplikationen	50
4.8. Funktionelles und anatomisches Ergebnis.....	52
5. Diskussion	56
5.1. Patientenkollektiv	56
5.2. Refraktion.....	56
5.3. Vorderkammertiefe.....	57
5.4. Einflussfaktoren auf die Refraktion.....	58
5.5. Aniseikonie.....	60
5.6. Operation	64
5.7. Komplikationen	66
5.8. Funktionelles und anatomisches Ergebnis	68
6. Zusammenfassung	73
7. Anhang: Studienprotokoll.....	75
8. Literaturverzeichnis.....	77

1. Einleitung

1.1. Übersicht

Erst mit der Einführung der Endotamponaden in die Glaskörperchirurgie sind früher infauste Erkrankungen wie traktive Netzhautablösungen im Rahmen der diabetischen Retinopathie oder rhegmatogene Netzhautablösungen mit proliferativer Vitreoretinopathie behandelbar geworden. Die bisher wichtigste und am häufigsten eingesetzte Tamponadesubstanz ist das Silikonöl. Als Glaskörperersatz führt Silikonöl zu einer Refraktionsänderung. Dies gilt sowohl für Augen mit der körpereigenen Linse (phakes Auge) als auch für Augen mit einer herkömmlichen Kunstlinse (pseudophakes Auge). Durch die konvexe Rückseite der eigenen bzw. der implantierten Linse zusammen mit dem hohen Brechungsindex des Silikonöls verändert sich der Refraktionszustand in Richtung Hyperopie, d.h. ein starkes Plusglas wird als einseitige Korrektur vor dem Silikonöl-Auge nötig. Die große Seitendifferenz der Brillenwerte verursacht unterschiedliche Bildgrößen in beiden Augen. Dadurch wird das beidäugige Sehen massiv beeinträchtigt. Viele Patienten fühlen sich sogar wohler, wenn das operierte Auge abgedeckt wird und so den Seheindruck des gesunden Auges nicht mehr stören kann. Um diese Binokularprobleme durch die Öl-bedingte Refraktionsänderung zu vermeiden, entwickelte die Fa. Acri.Tec auf Anregung von Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. J. Petersen die Kunstlinse Acri. Lyc 59 RET® mit der folgenden Problem-bezogenen Formgebung: Die gesamte Strahlenablenkung findet an der Vorderfläche dieser Kunstlinse statt. Die Rückfläche hat eine konkave Form mit Krümmungsmittelpunkt in der Makula lutea (gelber Fleck). Liegt die Tamponade im Glaskörperraum der Kunstlinse hinten sauber an, so wird die brechende Grenzfläche überall senkrecht von den abbildenden Strahlen durchsetzt, d.h. an der Linsenrückseite findet keine Strahlenablenkung statt. Die Bildebene verlagert sich auch nicht bei Änderung des Brechungsindex im Glaskörperraum. Die Abbildung bleibt selbst nach Öl-Explantation scharf. Somit bleibt die Binokularität trotz Silikonöltamponade erhalten. Diabetiker sind Patienten, die am häufigsten von der Notwendigkeit einer Silikonöltamponade betroffen sind. Sie hätten zweifellos den größten Vorteil durch die neue Kunstlinse. Dennoch eignen sie sich nicht gut für eine prospektive Studie, da Notwendigkeit und Zeitpunkt einer Silikonöl-Tamponade und –Explantation individuell sehr stark variieren. Eine besser geeignete Gruppe sind Patienten mit idiopathischem Makulaforamen. Bei diesen Patienten lassen sich sowohl die

Kataraktextraktion (Entfernung der getrübten Linse) mit Kunstlinsenimplantation als auch die Silikonöl-Tamponade und –Explantation nach einem relativ festen Zeitschema durchführen.

1.2. Silikonöltamponade

1.2.1. Allgemeines zu Silikonöl

In den 60-iger Jahren führte Cibis (Cibis et al. 1962) das Silikonöl in die vitreoretinale Chirurgie ein. Ursprünglich injizierte er das Öl in den Glaskörperraum, um damit fibrotische Membranen von der Netzhaut zu trennen. Dieses Problem wurde allerdings bald besser von der Pars-plana-Vitrektomie gelöst, nachdem Machemer in den 70er Jahren diese neue Operationstechnik entwickelt hatte. In Kombination mit Vitrektomie bekam die Öl-Tamponade jetzt aber ganz neue Indikationen (Haut et al. 1979). Die weiterentwickelte Glaskörperchirurgie in Verbindung mit der Öl-Tamponade brachte überzeugende Langzeitergebnisse (Zivojnovic et al. 1981), so dass sich die kombinierte Technik in den 80er Jahren in Europa schnell etablierte.

Das in der Ophthalmochirurgie verwendete flüssige Silikon wird aufgrund seiner Viskosität und hydrophoben Eigenschaft auch als Silikonöl bezeichnet. Silikone sind synthetische Polymere mit einer repetitiven Siloxansequenz ($[-\text{Si-O}]_n$; mit zwei Resten am Silicium). Die Kettenlänge entscheidet über die Viskosität der Flüssigkeit bzw. Härte des Gummi-artigen Festmaterials. Als Glaskörperersatz hat sich Poly-Dimethylsiloxan mit Werten der dynamischen Viskosität von 1000 mPa s bzw. 5000 mPa s durchgesetzt. Beide Silikonöle haben mit $0,97 \text{ g/cm}^3$ eine um 3% geringere Dichte als Wasser und schwimmen daher auf. Es handelt sich um farblose, transparente, mit Wasser nicht mischbare Flüssigkeiten. Das Fließverhalten ähnelt dem von flüssigem Honig bei einer Temperatur von ca. 20°C ($\sim 10^4 \text{ mPa s}$, Steffe 1996). Die optischen Eigenschaften und damit verbundenen Nebenwirkungen des Silikonöls sind unter 1.3.2. beschrieben.

1.2.2. Wirkungsmechanismus und Indikationen

Das Silikonöl wirkt als mechanische Tamponade von Netzhautdefekten, die ursächlich für Netzhautablösungen sind (rhegmatogene Amotio retinae). Neben Auftrieb und Volumenverdrängung ist die hohe Oberflächenspannung des Silikonöls gegenüber Wasser bzw. physiologischer Kochsalzlösung der entscheidende Gesichtspunkt (Petersen 1987). Silikonöl minimiert die Größe seiner Oberfläche aufgrund der hohen Oberflächenspannung und nimmt daher in Kontakt mit Wasser

die Form einer glatt begrenzten Kugel an. Die Oberflächenspannung wirkt allen Kräften entgegen, die zur Deformierung dieser Ölkugel oder Abtrennung einer zweiten Blase führen. Diese Eigenschaft wird genutzt, um die Auswirkung der Kontraktion präretinaler Membranen zu begrenzen und um den Verschluss retinaler Defekte zu erreichen. Erst bei starken Kräften, hohen Netzhautabhebungen oder großen Defekten kann das Silikonöl unter die Netzhaut eintreten (Petersen 1987).

Die Öltamponade erreicht ihre höchste Effektivität am Apex der Ölblase, weil der Dichteunterschied zwischen Silikonöl und Wasser der Ölblase einen gewissen Auftrieb verleiht. Im unteren Bereich sammelt sich die verbliebene Glaskörperflüssigkeit Meniskus-artig an. Sollte sich in diesem Bereich ein Netzhautdefekt befinden, so kann die Flüssigkeit durch den Defekt unter die Netzhaut gelangen und zu einer erneuten Netzhautablösung (Amotio retinae) führen. Daher muss gerade bei dieser Lokalisation eine 100%ige Füllung des Glaskörperraumes mit Silikonöl angestrebt werden.

Blut löst sich nicht in Silikonöl, so dass eine effektive Silikonöltamponade postoperative Blutungen am retinalen Entstehungsort festhält und limitiert (De Bustros 1990). Das Öl reduziert die wässrige Phase im Glaskörperraum auf einen präretinalen Spalt und unterbindet so die Konvektion der in der wässrigen Phase gelösten, aus der Netzhaut stammenden, angiogenen Mediatoren zum Vorderabschnitt des Auges. Diese Kompartimentierung stabilisiert das intraokulare Milieu. So wird der Entwicklung einer Rubeosis iridis bei vasoproliferativen Netzhauterkrankungen, insbesondere bei Diabetes, entgegen gewirkt (Bartz-Schmidt et al. 1999).

Zu den Indikationen der Silikonöltamponade, die sich aus den o. g. Eigenschaften ableiten lassen, zählen die folgenden Erkrankungen: 1) Bei der Behandlung komplizierter Netzhautablösungen mit fortgeschrittener proliferativer Vitreoretinopathie (PVR) ist die Öltamponade den Gastamponaden überlegen (Silicone Study Report 1 und 2 1992). 2) Sie eignet sich besonders zur Behandlung schwer verletzter Augen (Lemmen & Heimann 1988) auch als Langzeittamponade, da zum einen das posttraumatische Blutungs- und Proliferationsrisiko und zum anderen das Hypotonierisiko gesenkt wird. 3) Die proliferative diabetische Retinopathie stellt eine weitere Indikation dar (Hoerauf et al. 1995). Hierbei wird das Öl nicht nur zur Behandlung von Traktionen und rezidivierenden Glaskörperblutungen eingesetzt, sondern auch zur intraokularen Milieustabilisierung

bei Rubeosis iridis und Neovaskularisationsglaukom. 4) Weiterhin findet das Silikonöl Einsatz bei der Behandlung von Makulaforamina, nekrotisierenden Retinitiden und persistierenden Hypotonien.

1.2.3. Unerwünschte Nebenwirkungen

Retinale Toxizität und Emulsifikation

Lange wurde kontrovers diskutiert, ob es eine retinale Toxizität des Silikonöls gibt. Aufgrund histologischer Untersuchungen, in denen eine zelluläre Infiltration und Ölmigration nachgewiesen wurden, vermutete Blodi (1971) eine retinale Toxizität. Inzwischen konnte jedoch belegt werden, dass Silikonölvakuolen nur in epiretinalen Membranen und avitaler Netzhaut nachweisbar sind (Kirchhof et al. 1986). Außerdem sprechen niedrige Komplikationsraten (Azen et al. 1998) und eine sowohl klinisch als auch histologisch gute Verträglichkeit (Labelle & Okun 1972) gegen eine solche Toxizität. Allerdings muss ein hoher Qualitätsstandard des chirurgisch angewendeten Silikonöls sichergestellt sein, um eine gute Biokompatibilität zu gewährleisten. Dies wird durch die konsequente Abtrennung niedermolekularer Anteile und die Entfernung lipophiler toxischer Substanzen erreicht. Verunreinigungen, niedermolekulare Anteile des Öls und erhöhte intravitreale Proteinkonzentrationen senken die Oberflächenspannung des Silikonöls. In Kombination mit Augensakkaden führt das schließlich zur Emulsifikation des Öls (Savion et al. 1996). Die feinen Ölbläschen gelangen in die Vorderkammer, verstopfen dort das Trabekelwerk und können dadurch ein Sekundärglaukom provozieren. Hochvisköse Öle verursachen deutlich weniger Glaukome (Petersen & Ritzau-Tondrow 1988), da sie weniger leicht emulgieren als dünnflüssige Öle. Daher findet das Silikonöl OP 5000 (5000 mPa s) heute eine breitere Anwendung im Vergleich zum Silikonöl OP 1000 (1000 mPa s).

Glaukom

Emulsifizierte Ölbläschen und Makrophagen, die diese kleinen Kügelchen phagozytieren, gelangen in die Vorderkammer und in den Kammerwinkel. Durch die Abflussbehinderung steigt der intraokulare Druck und führt zum Sekundärglaukom, das sich jedoch medikamentös gut beherrschen lässt (Jonas et al. 2001). Mehr als die Hälfte der Sekundärglaukome bilden sich nach der Silikonölenfernung zurück (Kampik et al. 1992).

Es sei noch erwähnt, dass die Grunderkrankung, wie z.B. eine proliferative diabetische Retinopathie, häufig die Hauptursache für die Glaukomentwicklung darstellt und das Silikonöl additiv wirkt.

Bei IC-aphaken Augen (d.h. ohne Linse und Linsenkapsel) kann die Silikonölblase bis zur Pupillarebene reichen und den Abflussweg des Kammerwassers durch die Pupillenöffnung in die Vorderkammer verlegen. Wenn das Restwasser dann die Vorderkammer durch den Kammerwinkel verlässt, strömt Silikonöl durch die Pupille nach vorne nach. Es resultiert ein Silikonöl-Winkelblock, der einen akuten Glaukom-Anfall zur Folge hat. Um dies zu vermeiden, ist bei IC-aphaken Augen eine periphere Iridektomie bei 6 Uhr, auch Ando-Iridektomie (Beekhuis et al. 1987) genannt, notwendig.

Keratopathie

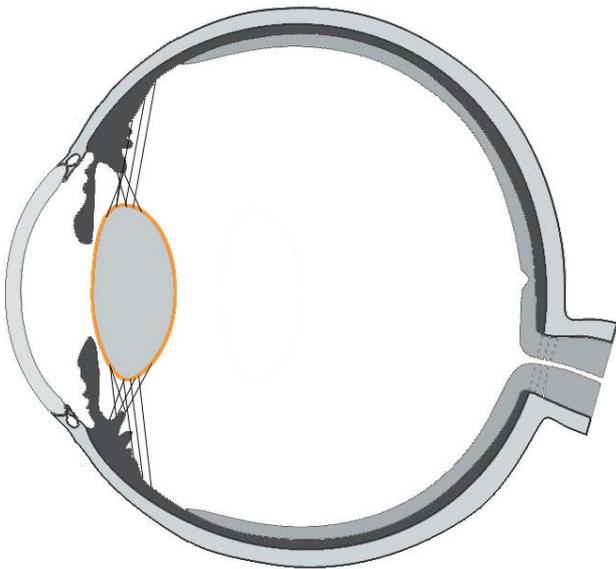
Durch Öl in der Vorderkammer wird auch die Hornhaut gefährdet. Einerseits droht ein Öl-Prolaps, wenn die Vorderkammer nicht wasserdicht oder der Kammerwasserabflussweg verlegt ist – z.B. durch Blut oder Fibrin in der Ando-Iridektomie. Andererseits drücken auch alle Prozesse Öl in die Vorderkammer, die das Volumen des Öl-gefüllten Glaskörperaumes reduzieren. Beispiele dafür sind Aderhautschwellung nach ausgiebiger Photo- oder Kryokoagulation der Netzhaut, Chorioidal-Amotio und Nachschnür-Effekt nach Cerclage, schließlich auch Ciliarkörperinsuffizienz und Hypotonie des Bulbus. Ein so entstandener Ölkontakt des Hornhautendothels unterbricht dessen Ernährung aus dem Kammerwasser. Die Endothelzellen sterben nach wenigen Tagen ab. Dies ist klinisch zunächst nicht erkennbar, da das Öl das Hornhautstroma von innen „versiegelt“. Kammerwasser strömt erst nach Öl-Entfernung aus der Vorderkammer in das Hornhautstroma ein, wodurch dann die Symptome einer massiven Hornhautdekomensation klinisch manifest werden. Bleibt der Ölkontakt dauerhaft bestehen, bleibt die Hornhaut zunächst noch klar. Erst nach einigen Wochen entwickelt sich eine bandförmige Keratopathie als Folge des Endothelschadens (Sternberg et al. 1985). Die logische Konsequenz bei Öl-Prolaps ist daher, das Öl möglichst schnell aus der Vorderkammer zu entfernen. Dies kann technisch durchaus schwierig sein, und Rezidive sind häufig.

Katarakt

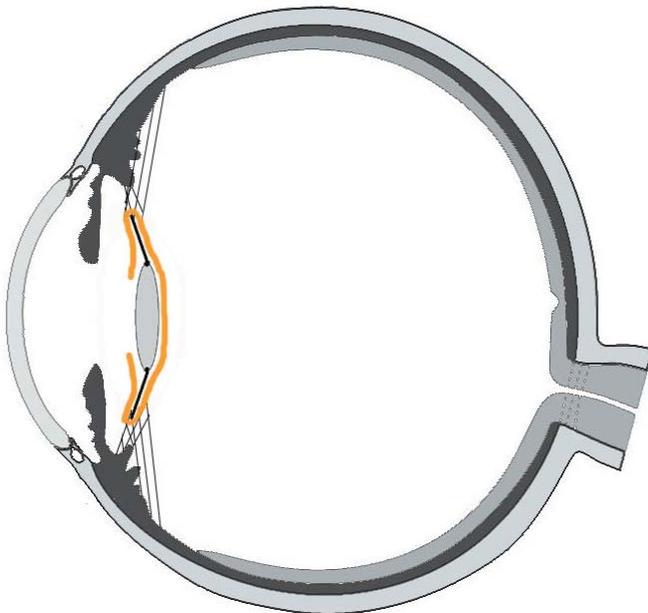
Schon die pars-plana-Vitrektomie allein führt meist innerhalb von Monaten zu einer progredienten Trübung der Linse (Kern-Katarakt). Nach einer Gas- oder Silikonöltamponade beschleunigt sich diese Eintrübung ganz wesentlich (Dimopoulos & Heimann 1986). Da die Kataraktentstehung unvermeidlich, progredient und relativ kurzfristig auftritt, ist es sinnvoll, die Ölentfernung mit einer Kataraktextraktion zu kombinieren, selbst wenn die Katarakt noch nicht sehr ausgeprägt ist. Einerseits vermeidet man dadurch eine zusätzliche Operation. Andererseits ist der kombinierte Eingriff insgesamt viel schonender: Das Öl lässt sich dabei auf dem Weg durch die Pupille entfernen, was die für Öl-Entfernung sonst notwendigen, neuerlichen pars-plana-Zugänge vermeidet. Das Auge wird deutlich weniger traumatisiert.

Die Technik der Linsen-Operationen hat eine lange Geschichte. Etwa 800 Jahre vor Christus wurde die getrübbte Linse mit einer feinen Lanze aus der Sehachse in den Glaskörper luxiert. Die als „Star-Stechen“ bezeichnete Methode war nicht nur mit massiven Entzündungen und Erblindungen verbunden, sondern im geglückten Fall auch mit einer starken Fehlsichtigkeit, da die Brechkraft der eigenen Linse fehlte. Diese Methode war bis in das 18te Jahrhundert die einzige Möglichkeit, Erblindungen durch den Grauen Star zu behandeln. Erst 1753 veröffentlichte Jaques Daviel, der Leibarzt des französischen Königs Ludwig XV., die im Prinzip heute gültige Methode, nämlich das Auge zu eröffnen und den trüben Linseninhalt aus dem Kapselsack zu entfernen. Nachteilig war der „Nachstar“, d.h. die mögliche Eintrübung der belassenen Linsenkapsel. Über einige Jahrzehnte des 20ten Jahrhunderts wurde daher die „intrakapsuläre“ Katarakt-Extraktion vorgezogen, bei der auch die Linsenkapsel komplett mitentfernt wurde. Über die letzten Jahrzehnte entwickelte sich die Kataraktoperation in großen Schritten weiter. Heutzutage ist die extrakapsuläre Kataraktextraktion mittels Phakoemulsifikation und Kunstlinse-Implantation in den Kapselsack Standard. Nachdem die vordere Linsenkapsel zirkulär eröffnet ist (vordere Kapsulorhexis), wird die Linse über einen sklerokornealen oder kornealen Tunnel von ca. 3 mm Breite und ähnlicher Länge mit Hilfe eines Saugrohres, das longitudinal mit ca. 50 kHz (Ultraschall-Frequenz) schwingt, verflüssigt (Phakoemulsifikation) und abgesaugt. Da die Linsenkapsel im Wesentlichen erhalten bleibt, bezeichnet man diese Methode als extrakapsuläre Kataraktextraktion. Anschließend wird eine gefaltete Kunstlinse mit einer Pinzette oder einem Injektor in den verbliebenen Kapselsack implantiert (Abbildung 1). Die

Hinterkammerlinse besteht aus einem zentralen optischen Teil und den Haptiken, die sich im Kapelsack abstützen. Die Haptiken können aus zwei elastischen Schlingen bestehen oder plattenähnlich geformt sein. Mittlerweile bietet der Markt verschiedenste Optik- und Haptikformen an. Im Falle der Kombination von Katarakt-Chirurgie und Öl-Explantation muss vor der Kunstlinsenimplantation ein zentrales Loch in die Hinterkapsel geschnitten werden, um durch diese Öffnung das Öl abzusaugen.



a)



b)

Abbildung 1. Schnitt durch den Augapfel. a) mit der körpereigenen Linse. b) mit einer Kapselsack-gestützten Hinterkammerlinse. Orange markiert: Die Linsenkapsel.

1.3. Optik

1.3.1. Optisches System des Auges

Brechungsindex

Licht breitet sich in transparenten Stoffen, in der Optik auch als „Medium“ bezeichnet, unterschiedlich schnell aus. Der Brechungsindex n eines Mediums gibt das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit c_0 im Vakuum ($=3 \cdot 10^{10} \text{cm/s}$) zur Lichtgeschwindigkeit c im Medium an (Meschede 2001): $n = c_0 / c$

Snelliussches Brechungsgesetz

Brechung bedeutet, dass eine Welle ihre Richtung ändert, wenn sie von einem Medium in ein anderes Medium mit einer anderen Ausbreitungsgeschwindigkeit übergeht. Brechung gibt es nicht nur für Licht, sondern auch für alle anderen Wellenarten. Zur quantitativen Beschreibung benötigt man die Winkel zwischen der Strahlrichtung und dem Lot zur brechenden Grenzfläche: Tritt ein Lichtstrahl aus dem Medium₁ im Winkel α_1 gegen das Lot zur Grenzfläche in ein Medium₂ ein, so ändert er seine Richtung und läuft dort unter dem Winkel α_2 gegen das Lot weiter (Abbildung 2). Das Snelliussche Brechungsgesetz gibt den quantitativen Zusammenhang an und lautet (Meschede 2001):

$$\sin(\alpha_1) \cdot n_1 = \sin(\alpha_2) \cdot n_2$$

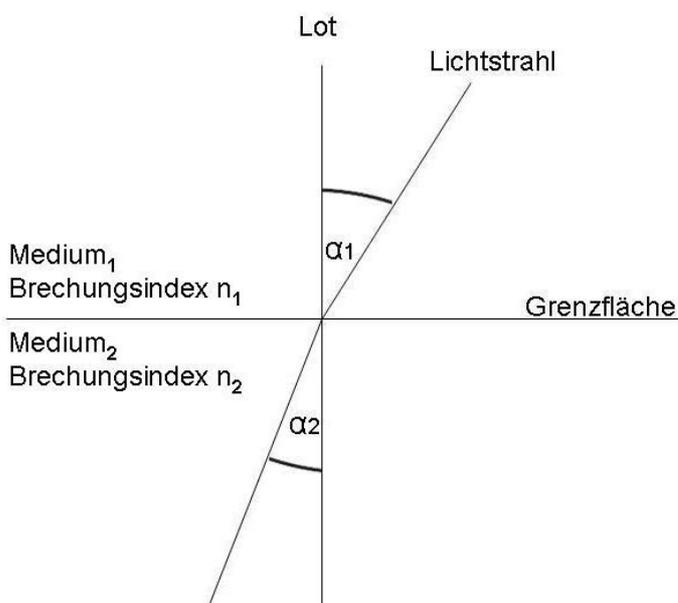


Abbildung 2. Lichtstrahl aus dem Medium₁ mit dem Brechungsindex n_1 trifft auf die Grenzfläche und wird dort zum Medium₂ mit dem Brechungsindex n_2 gebrochen.

Brechung am Auge

Trifft Licht auf das menschliche Auge, durchsetzt es Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper, bevor es die Netzhaut erreicht (Abbildung 3). Die Brechungsindizes der genannten Medien und die Oberflächengeometrie der Hornhaut und Linse bestimmen die Details des Abbildungsvorgangs.

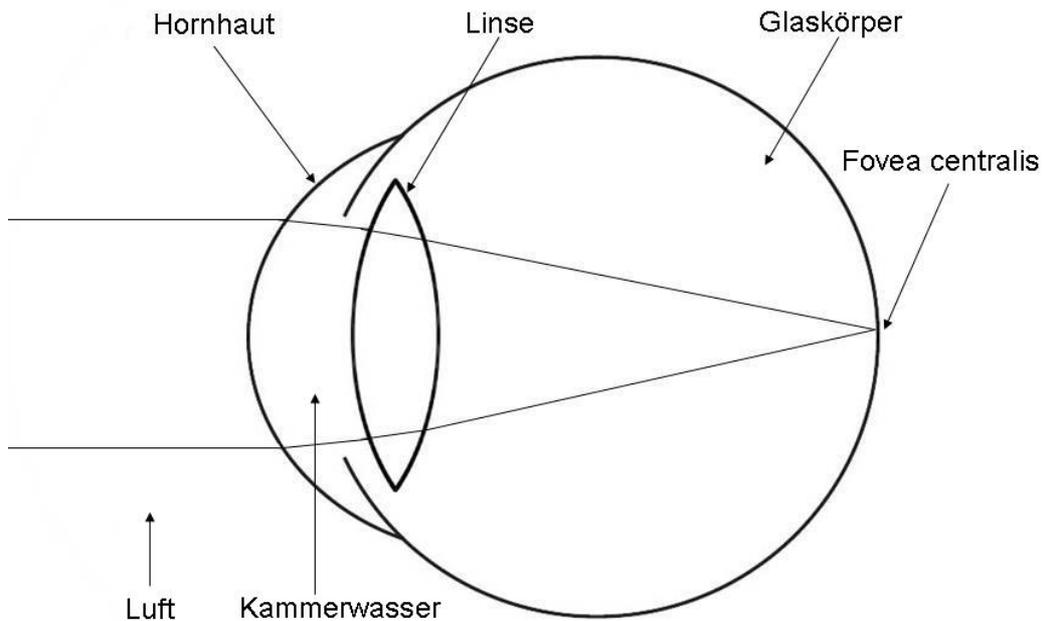


Abbildung 3. Schematische Darstellung der Brechung von parallel einfallenden Lichtstrahlen (im Bild von links kommend) im optischen System des Auges.

Unter Refraktion versteht man den Brechwert der optischen Korrektur (z.B. Brillenglas), mit der zusammen das Auge ohne Akkommodation ein scharfes Netzhautbild eines in unendlicher Entfernung befindlichen Objekts erzeugt. Der Brechwert wird in Dioptrien (dpt) angegeben und ist der Kehrwert der Brennweite des Korrekturglases gemessen in Metern.

Bei Emmetropie werden parallel einfallende Lichtstrahlen durch das optische System des Auges derart gebrochen, dass deren Brennpunkt im Netzhautniveau der Fovea centralis liegt. Werden die parallelen Lichtstrahlen vor der Netzhaut fokussiert (Myopie), benötigt man eine Streulinse (Minusglas), um den Brennpunkt auf die Netzhaut zu verschieben. Umgekehrt setzt man eine Sammellinse (Plusglas) ein, um einen hinter der Netzhaut liegenden Brennpunkt (Hyperopie) auf die Fovea zu verlagern.

Berechnung der Intraokularlinse

In der Regel ist die Emmetropie, d.h. eine scharfe Abbildung ferner Objekte auf der Netzhaut, das angestrebte Ziel einer Kataraktoperation. Man muss also die Brechkraft der entfernten körpereigenen Linse durch eine Kunstlinse geeigneter Stärke ersetzen und den Wert der zu implantierenden Intraokularlinse (IOL) für eine bestimmte postoperative Zielrefraktion präoperativ aus den individuellen Messwerten von Hornhautkrümmung und Bulbuslänge berechnen. Dafür gibt es zwei unterschiedliche methodische Ansätze.

Den sogenannten „statistischen Formeln“ – das bekannteste Beispiel ist die SRT-Formel – liegt eine lineare Regression der Messdaten eines großen Patientenkollektivs zugrunde. Dieser Ansatz wertet empirisch die Operationsergebnisse aus, untersucht also die Frage: Welche Refraktion wurde bei dem Patientenkollektiv im Mittel erreicht in Abhängigkeit von den präoperativen Werten der Hornhautbrechkraft und der Bulbuslänge. In den statistischen Formeln, die auf Grund ihrer Herleitung linear hinsichtlich Hornhautbrechkraft und Bulbuslänge sind, sorgen empirische Korrekturen dann für Abschwächung der systematischen Fehler bei starken Fehlsichtigkeiten. Weiter enthalten sie einen Optimierungsparameter, die sogenannte A-Konstante, die dafür sorgt, dass die Refraktionsvorhersage für einen speziellen Linsentyp eines speziellen Herstellers im statistischen Sinne möglichst gut mit der postoperativen Realität übereinstimmt. Zusätzlich ist sogar ein justierbarer „surgical factor“ für Auswirkungen der individuellen OP-Technik eines Operateurs eingebaut. Hinter den statistischen Formeln steht keine Physik, sondern Empirie. Dennoch liegt der mittlere Fehler ihrer Refraktionsvorhersage unter 1dptr.

Die alternative Berechnungsmethode der Kunstlinsenstärke legt die bekannten Abbildungsgesetze der geometrischen Optik zugrunde. Dabei tritt folgendes Dilemma auf: Die für die postoperative Refraktion bestimmenden Parameter sind die postoperativen Werte der Hornhautbrechkraft, der Vorderkammertiefe und der Bulbuslänge des Patienten. Zur Verfügung stehen aber nur präoperative Werte. Während die Hornhautbrechkraft sich bei kunstgerechter Operationstechnik nicht relevant verändert, gilt dies nicht für die anderen beiden Parameter. Die postoperative Vorderkammertiefe hängt ab von anatomischen Besonderheiten des Auges, dem Linsendesign und der Operationstechnik und ist nicht exakt vorhersagbar. An dieser Stelle wenden die verschiedenen geometrisch-optischen

Formeln unterschiedliche Schätzmethode für die postoperative Vorderkammertiefe an. Auch die Bulbuslänge ist eine problematische Größe, deren Wert präoperativ nicht exakt zur Verfügung steht. Denn sie wird aus der Laufzeit eines Ultraschallimpulses durch das Auge erschlossen, was prinzipiell einen individuellen Wert der Schallgeschwindigkeit im untersuchten Auge erfordern würde. Die Schallgeschwindigkeit in der Linse unterscheidet sich relevant von der im Glaskörper und der Linsenanteil an der gesamten Achsenlänge variiert individuell stark. Darüber hinaus nehmen die Schallgeschwindigkeit in der Linse und deren Dicke mit dem Patientenalter erheblich zu. Tatsächlich legen die geometrisch-optischen Formeln aber denselben empirisch gewonnenen, fixen Mittelwert der Schallgeschwindigkeit auf der ganzen Länge der optischen Achse für alle phakischen Augen zugrunde. Individuelle Besonderheiten bleiben unberücksichtigt. Ähnliche Einschränkungen gelten auch für die Bulbuslängenmessung mittels Licht (IOL-Master). Heute hat sich die geometrisch-optische Berechnungsmethode weitgehend gegen die statistischen Formeln durchgesetzt. Aber aus den genannten Gründen ist die postoperative Refraktion auch damit bestenfalls mit einem Fehler von 0,5 dpt vorhersagbar.

Die vom Hersteller angegebene Linsenbrechkraft gilt für beidseitigen Kontakt mit Wasser. Der Wert ist auf das Auge übertragbar, da das Kammerwasser und der Glaskörper wie Wasser einen Brechungsindex von $n=1,336$ aufweisen.

1.3.2. Brechung mit Silikonöl

Das Problem der Refraktionsänderung nach Silikonöl-Tamponade des Glaskörperraumes ist hinlänglich bekannt (Petersen 1989). Die üblichen Kunstlinsen haben - wie auch die natürliche Linse - eine konvexe Rückfläche. Dadurch treten die Lichtstrahlen, die die foveale Abbildung erzeugen, geneigt durch die Linsenrückfläche. Wird der Brechungsindex im Glaskörperraum von $n=1,336$ (Wasser) auf $n=1,402$ (Silikonöl) (Yoshizumi et al. 1985) angehoben, muss der Winkel zum Lot entsprechend dem Snelliusschen Gesetz (s.o.) kleiner werden, damit das Produkt aus Brechungsindex und Sinus des Winkels sich nicht ändert. Die Folge ist eine geringere Strahlablenkung an der Linsenrückfläche im Öl-Kontakt. Der Brennpunkt rückt hinter die Netzhaut, das Auge wird hyperop (Abbildung 4.a). Die Hyperopisierung liegt typischerweise in der Größenordnung von + 5 dpt bis +6 dpt (Hotta & Sugitani 2005). Damit entsteht ein großer Refraktionsunterschied (Anisometropie) zum Partnerauge, der nicht mehr mit einem Brillenglas ausgeglichen werden kann. Bereits eine Anisometropie von 3 dpt führt in der Regel aufgrund des

induzierten Bildgrößenunterschieds von 5% zur Störung des Binokularsehens und damit auch des räumlichen Sehens.

Senkt man umgekehrt den Brechungsindex im Glaskörperraum durch eine Gastamponade von $n=1,336$ auf $n=1,00$ ab, so ist eine massive Myopisierung in der Größenordnung von -50 dpt die Folge.

Die Silikonöltamponade macht eine zuverlässige Ultraschallbiometrie, die zur Berechnung der Intraokularlinse vor einer Kataraktoperation notwendig wäre, unmöglich. Die Schallgeschwindigkeit in Silikonöl ist nur halb so groß wie die in Wasser (Hoffer 1994); das Messergebnis wird dadurch sehr stark vom Anteil der Vorderkammer und Linse an der gesamten Bulbuslänge beeinflusst (s.o.); der Ultraschallstrahl selber wird stark an der Öl-Grenze gebrochen; oft fallen die Echos nicht mehr in den sichtbaren Bildschirmbereich der Ultraschallgeräte. Daher muss die Ultraschallbiometrie vor der Silikonöltamponade erfolgen. Ersatzweise können die Biometriedaten des Partnerauges zur Linsenberechnung herangezogen werden, wenn Hornhautkrümmungen und anamnestische Refraktionswerte (alte Brille) beidseits gleich waren.

1.3.3. Meniskuslinse

Da die Hyperopisierung bei Öl-Tamponade auf der konvexen Grenzfläche zwischen Linse und Öl beruht, lässt sich das Problem mit einer angepassten Formgebung der Kunstlinsenrückfläche vermeiden (Petersen 1989). Die ideale Linsengeometrie ist daher eine Meniskuslinse, wobei der Krümmungsmittelpunkt der Linsenrückfläche in der Fovea liegt. Somit durchsetzen alle Lichtstrahlen, die sich in der Fovea vereinigen, die Linsenrückfläche senkrecht. Senkrecht auf eine brechende Fläche treffende Strahlen werden aber unabhängig vom Material und Brechungsindex der angrenzenden Medien nicht abgelenkt (Abbildung 4.b). Diese Intraokularlinse hat daher dieselbe Brechkraft im Kontakt mit Wasser und Öl, d.h., dass ein Wechsel der Tamponadesubstanzen im Glaskörperraum keine Refraktionsänderung zur Folge hat ($n \cdot \sin(0) = 0$; für n kann ein beliebiger Wert eingesetzt werden). Selbst im Gasgefüllten Auge bliebe das Bild auf der Netzhaut fokussiert.

Da die gesamte Strahlenablenkung an der Vorderfläche der Kunstlinse stattfindet, bekommt diese eine vergleichsweise starke Krümmung. Das hat eine erhöhte Mittendicke der Linse zur Folge. Für einen Kunstlinsendurchmesser von 6mm wird dieser Punkt bei höheren Brechwerten praktisch relevant. Um die Mittendicke zu

reduzieren und Faltbarkeit der Linsen sicherzustellen, stellt Acri.Tec die Linsen über 23 dpt deshalb mit 2 peripheren Fresnelstufen her (Abbildung 5 und 6).

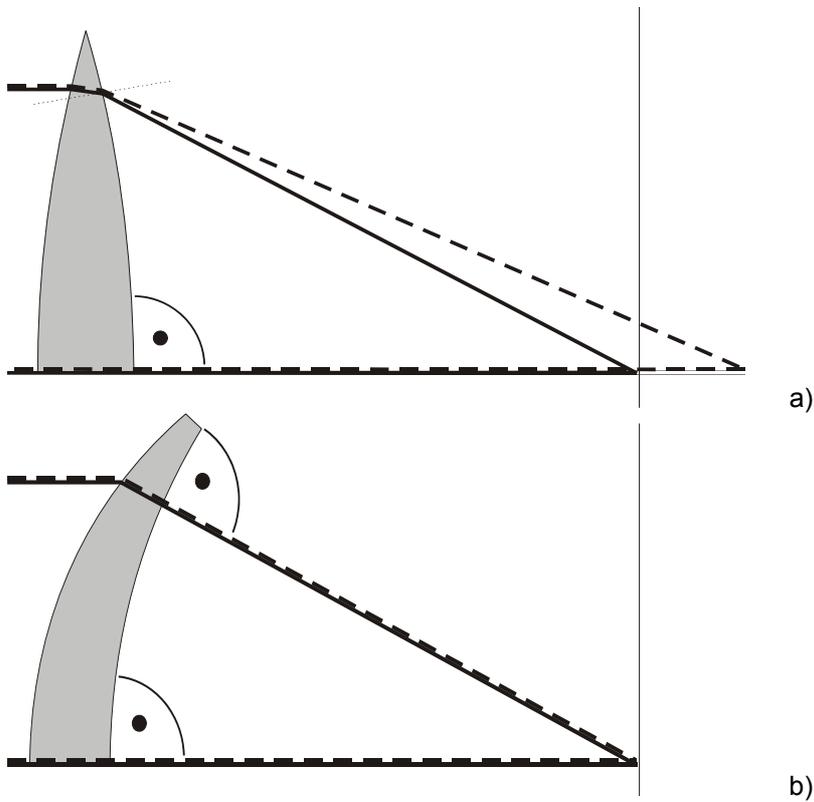


Abbildung 4. a) Der Strahlengang hinter einer bikonvexen Linse ändert sich, wenn man den Glaskörper (durchgezogene Linien) durch Silikonöl (gestrichelte Linien) ersetzt. b) Eine konkave Linsenrückfläche mit Krümmungsmittelpunkt in der Fovea lässt den Strahlengang konstant, unabhängig vom Brechungsindex des Glaskörperaumes.

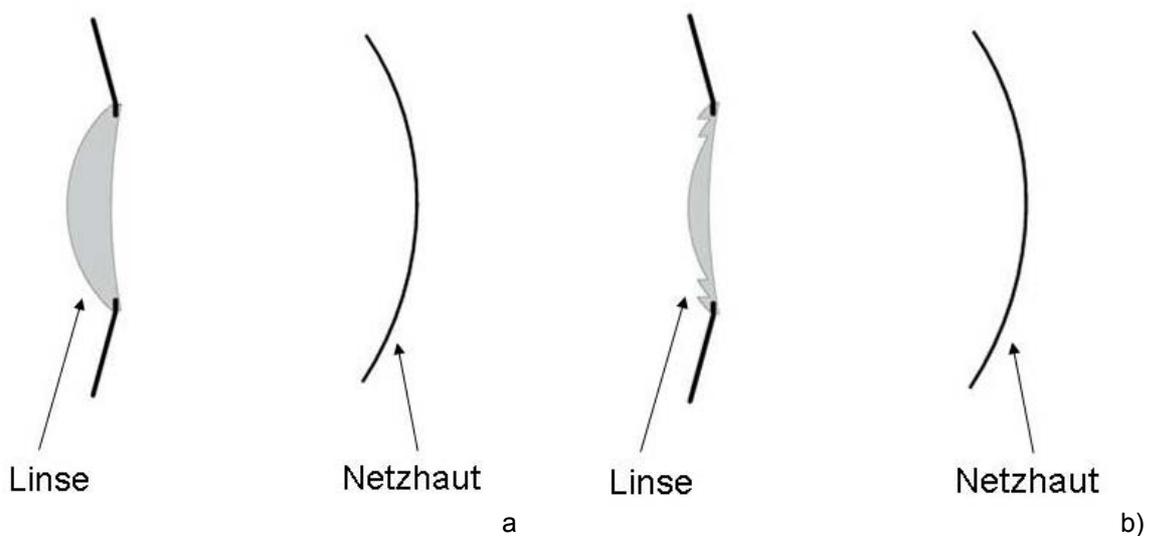


Abbildung 5. a) Meniskuslinse. b) Meniskuslinse mit Fresnel-Stufen und reduzierter Mittendicke.

1.3.4. Voraussetzung für stabile Refraktion

Die Implantation der Meniskuslinse in den Kapselsack alleine reicht nicht aus, um refraktiven Störungen in Silikonöl-gefüllten Augen vorzubeugen. Denn das Öl liegt bei üblicher OP-Technik nicht der Linsenrückfläche, sondern der belassenen Hinterkapsel der entfernten, natürlichen Linse an. Die Hinterkapsel wird durch den Sprung der Brechungsindices nun zu einer Licht-brechenden Fläche, die einem „refraktiven Wellblech“ gleichkommt (Abbildung 7.a). Die Abbildungsqualität bei belassener Hinterkapsel ist äußerst schlecht, was eine starke Visusminderung verursacht. In wassergefüllten Augen sind Irregularitäten der Hinterkapsel dagegen nicht Brechungs-wirksam, da beidseits von dieser transparenten Membran derselbe Brechungsindex herrscht (Petersen 1989).

Um diese Problematik zu beheben, muss die Technik der Linsenimplantation etwas modifiziert werden. Zunächst wird die hintere Linsenkapsel zentral ausgeschnitten (Durchmesser 4,5 mm), dann die Optik der Linse durch die Öffnung der hinteren Kapsel hindurch gesteckt (Abbildung 7.b und Abbildung 8). Diese als Knopfloch- oder hintere Rhexis-Aufhängung bezeichnete Technik hat sich in anderen Zusammenhängen der Linsen Chirurgie bereits bewährt (Gimbel 1997, Menapace 2008). Mit der Knopfloch-Technik und einer 100%igen Silikonölfüllung des Glaskörperraumes ist es möglich, eine saubere, optische Brechungsfläche zwischen Kunstlinse und Öl sicherzustellen. Optisch lässt sich dies anhand sogenannter Newtonscher Ringe nachweisen. Im Alltag sieht man Newtonsche Ringe als Regenbogen-Farben eines dünnen Ölfilms auf Wasser oder auf der Oberfläche von Seifenblasen. Diese Farbsäume entstehen durch Interferenz-Auslöschung der Farbanteile des Lichtes, deren Wellenlängen λ gerade „richtig“ (Auslöschungsbedingung: $d = k \cdot \lambda / 2$) in eine dünne Schicht der Dicke d - hier des Wassers zwischen Kunstlinse und Öl - passen (Abbildung 6). Der Wasserfilm ist also nur einige Hundert Nanometer dick.

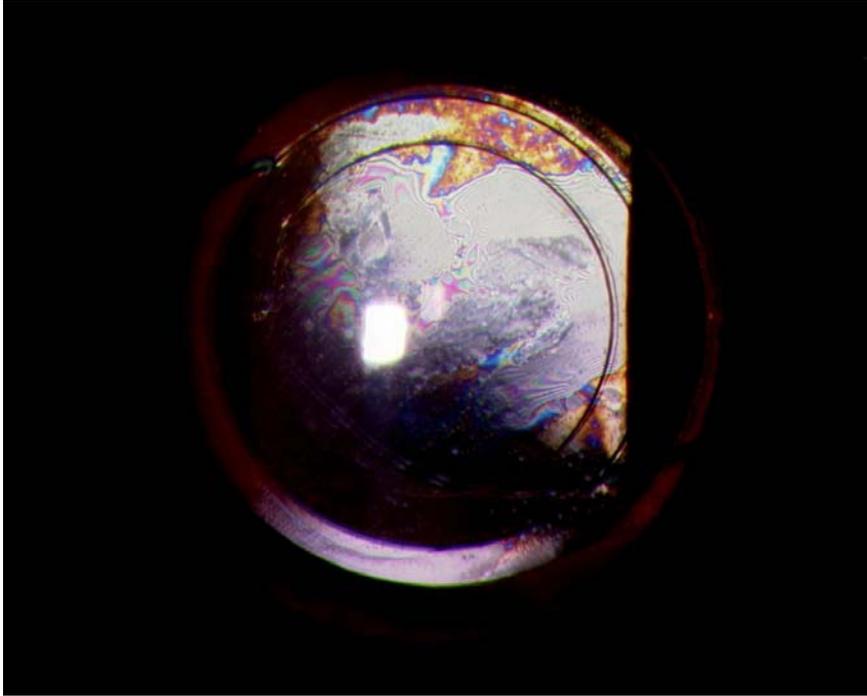


Abbildung 6. Spaltlampenfoto einer implantierten Intraokularlinse im Silikonöl-gefüllten Auge. Deutlich sichtbare Newton-Ringe an der Linsenrückfläche.

Damit sind optimale Verhältnisse für eine saubere Abbildung gegeben. Darüber hinaus vermeidet man mit einer 100%igen Silikonölfüllung lageabhängige Refraktionsschwankungen (Petersen 1989, Dick et al. 1997a), die durch Bewegung und Verformung der Silikonölblase entstehen können.

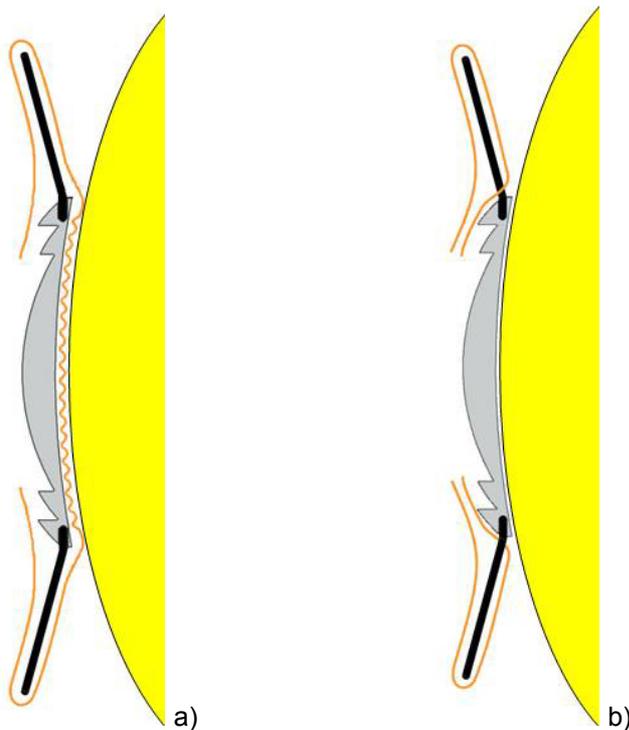


Abbildung 7. a) Linsenkapsel (orange) bildet zwischen Linse und Silikonöl (gelb) ein refraktives Wellblech. b) Bei der Knopflochtechnik liegt das Silikonöl der Linsenrückfläche optisch sauber auf.

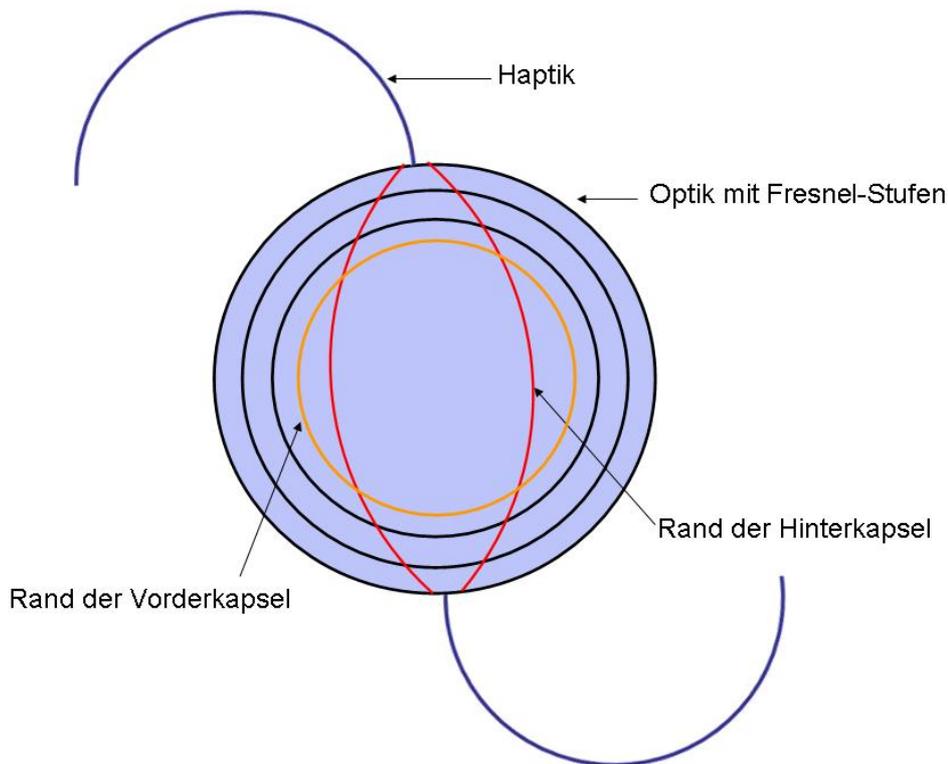


Abbildung 8. Frontalansicht bei der Knopflochtechnik. Die Kante der vorderen Kapsel (orange) ist kreisrund, darunter befindet sich die Kante der hinteren Kapsel (rot), die von den Haptikansätzen zurückgehalten wird. Beide liegen vor der Linsenoptik

1.3.5. Aniseikonie

Ein kleiner Nebeneffekt der Tamponade ist allerdings dennoch zu erwarten: Bildanteile, die nicht in der Fovea liegen, werden von Strahlen erzeugt, die einen von Null verschiedenen Neigungswinkel zum Lot der Linsenoberfläche haben. Dieser variiert gegensinnig zum Brechungsindex im Glaskörperraum (Abbildung 9.) und ändert damit die Größe des Netzhautbildes. Unter Silikonöl wird das Netzhautbild kleiner. Das Verhältnis der Bildgröße mit und ohne Silikonöl - also der Vergrößerungsfaktor - ist nach Abbildung 9 gerade der Quotient der Sinus-Werte der Ablenkungswinkel mit und ohne Öl – oder mit dem Snelliusschen Gesetz das Verhältnis der Brechungsindizes von Wasser zu Öl: $V = 1,336/1,402 = 0,953$. Das Netzhautbild unter Öl ist damit linear um 4,7% kleiner als unter Wasser. Den subjektiv bemerkbaren Größenunterschied der auf die Netzhaut beider Augen projizierten Bilder bezeichnet man als Aniseikonie. Ein Größenunterschied von mehr als 5% wird in der Regel nicht mehr toleriert (Kaufmann 2004), wobei große subjektive Unterschiede gefunden werden. Eine Aniseikonie kann über die Störung von räumlichem Sehen und Sensomotorik asthenopische Beschwerden wie z.B. Kopfschmerzen und Übelkeit verursachen. Bei einer symptomatischen Aniseikonie

können die unterschiedlich großen Bilder nicht zur Deckung gebracht werden; Doppelbilder werden wahrgenommen, die Fusion ist gestört und ein Stereosehen unmöglich. Die erwartete Öl-induzierte Anisoeikonie liegt mit 4,7% an der üblichen Verträglichkeitsgrenze und bedarf daher der genaueren Untersuchung.

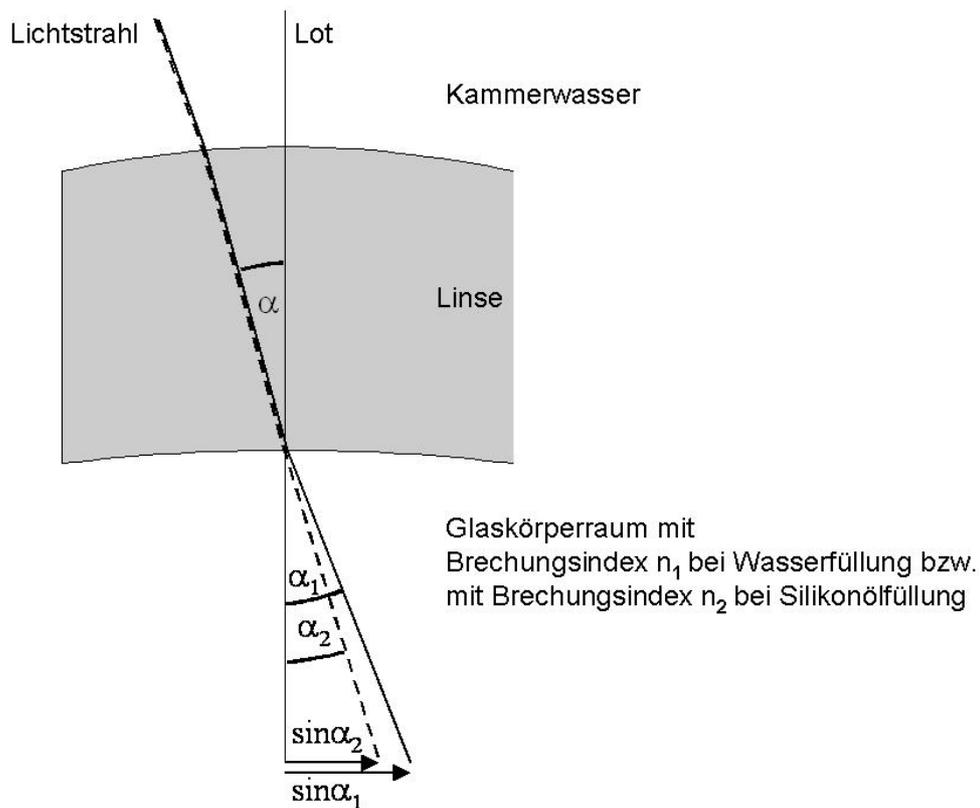


Abbildung 9. Bildgrößenänderung durch Glaskörpertamponade::
Durchgezogen: Strahlrichtung 1 bei Wasser mit Brechungsindex n_1 unter der Linse
Gestrichelt: Geänderte Strahlrichtung 2 bei Silikonöl mit Brechungsindex n_2 unter der Linse
Vergrößerungsfaktor $V = \sin \alpha_2 / \sin \alpha_1 = n_1 / n_2$.

1.3.6. Intraokularlinse Acri. Lyc 59 RET®

Die neue dreiteilige Meniskuslinse Acri. Lyc 59 RET® unterscheidet sich nur in der Formgebung der Hinterfläche von herkömmlichen Kunstlinsen. Die verwendeten Materialien sind identisch wie bei den Markt-eingeführten Linsen. Der Linsenkörper besteht aus Acrylat mit 25% Wassergehalt und einer hydrophoben Oberfläche mit UV-Absorber. Die Optik hat einen Durchmesser von 6,0mm mit scharfer Kante. Bei Brechwerten über 23dpt sind zur Dickenreduktion zwei periphere Fresnel-Stufen eingefräst, wobei die stufenlose Mitte einen Durchmesser von 4mm aufweist. Die beiden Polypropylen-Haptiken sind blau gefärbt und 5° nach vorne angewinkelt. Zusammen mit den Haptiken beträgt der Gesamtdurchmesser der Linse 12,5mm. Die Linse wird autoklaviert und unter sterilem Wasser aufbewahrt geliefert. Sie ist in einem Lieferbereich von +18,0dpt bis +26,0dpt in 0,5dpt Abstufungen erhältlich.

1.4. Idiopathisches Makulaforamen

1.4.1. Epidemiologie

Vor etwa 140 Jahren beschrieb Knapp (1869) erstmals das Makulaforamen. Als Ursache der Erkrankung nahm man lange Zeit ein Bulbustrauma und zystoide Veränderungen an. Unerklärlich blieb jedoch, dass Makulaforamina auch in Augen ohne ein vorausgegangenes traumatisches oder entzündliches Ereignis beobachtet werden konnten. Dieses als idiopathisches Makulaforamen bezeichnete Loch an der „Stelle des schärfsten Sehens“ wird mit einer Prävalenz von 33/10.000 Menschen über 55 Jahren angegeben (Mester & Kuhn 2000). Frauen sind 2- bis 3-mal häufiger betroffen als Männer (Gass 1988).

1.4.2. Ätiologie und Pathogenese

Die Mehrzahl der Makulaforamina heute gehört in die idiopathische Gruppe (Aaberg et al. 1970), die von den viel selteneren, traumatisch bedingten Makulalöchern abgegrenzt werden muss. Vereinzelt kommen auch sekundäre Makulaforamina vor, die auf andere Ursachen zurückzuführen sind wie z.B. subhyaloide Blutungen, venöse Gefäßverschlüsse oder Netzhautablösungen (Brüggemann & Hoerauf 2008). Die weiteren Ausführungen beschränken sich auf das idiopathische Makulaforamen. Gass entwickelte 1988 detaillierte Vorstellungen zur Pathogenese dieser Erkrankung und führte die Entstehung des Foramens auf eine tangentielle Traktion der hinteren Glaskörpergrenzmembran auf die foveale Netzhaut zurück. Nach Einführung der optischen Kohärenztomografie (siehe 1.4.4.) konnte die Interaktion zwischen Glaskörper und Netzhaut dann genau analysiert werden. Es zeigte sich, dass bei Augen, die ein Makulaforamen entwickeln, eine umschriebene pathologische Adhärenz zwischen der Glaskörpergrenzmembran und der Fovea besteht, deren Ursache noch unklar ist. Setzt jetzt eine Glaskörperabhebung ein, was aufgrund der Alterung des Glaskörpers als nahezu normal angesehen werden kann, so entsteht ein Zug des Glaskörpers nach anterior an der fovealen Netzhaut. Dadurch kommt es zunächst zur Ausbildung eines intraretinalen Spalts, der sich im Verlauf der Erkrankung zu einem zystoiden Raum vergrößert (Gaudric et al. 1999, Haouchine et al. 2001). Erst führt der anhaltende anteriore Zug zum Einriss in die Photorezeptorschicht, also zum Außenschichtforamen und später dann zum Innenschichtforamen. Somit bildet sich ein durchgreifendes Makulaforamen. Wenn die Glaskörpergrenzmembran nicht mehr an der Fovea haftet, spielen tangentielle Traktionen durch eine epiretinale Gliose eine Rolle. Die epiretinale Gliose ist die

Folge der Migration und Proliferation retinaler Pigmentzellen und Gliazellen auf der Lamina limitans interna (ILM). Netzhautdefekte und Störungen der Blut-Retina-Schranke begünstigen die Entstehung epiretinaler Gliosen.

1.4.3. Stadieneinteilung nach Gass

Gass schlug die bis heute gültige klinische Einteilung des Makulaforamens bereits 1988 vor und modifizierte sie 1995 (Gass 1988 und 1995 b). Er leitete aus den klinischen und histologischen Beobachtungen folgende Stadien ab:

- Stadium I a Anhebung der Fovearezeptoren ohne durchgreifenden Defekt, ophthalmoskopisch sichtbare gelbliche Aufhellung im Fovea-Bereich
- Stadium I b Anhebung der Fovearezeptoren ohne durchgreifenden Defekt, ophthalmoskopisch sichtbarer gelber Ring im Bereich der Fovea
- Stadium II durchgreifender Defekt der fovealen Netzhaut mit einem Durchmesser von unter 400µm
- Stadium III durchgreifender Defekt der fovealen Netzhaut mit einem Durchmesser größer 400µm
- Stadium IV komplette hintere Abhebung des Glaskörpers einschließlich der Papillen-Adhärenz unabhängig von der Größe des Makula-Defektes (bei Stadium II und III Glaskörperanlage auf der Papille!)

Inwieweit sich eine modifizierte Klassifikation, die auf der neuen hochauflösenden optischen Kohärenztomografie (OCT) basiert (Hassenstein et al. 2004), in den nächsten Jahren durchsetzen wird, bleibt noch abzuwarten.

1.4.4. Diagnostik

Biomikroskopische Untersuchung

In der ophthalmoskopischen Untersuchung erscheint das Vorstadium (Makulaforamen Stadium I) als gelber Fleck bzw. Ring in der Fovea. In den Stadien II bis IV ist ein runder, scharf umrissener Netzhautdefekt sichtbar. Die Lochränder können abgehoben und ödematös sein. Zur Abschätzung des Lochdurchmessers kann man eine retinale Stammarterie zum Vergleich heranziehen, deren Durchmesser zwischen Papille (Sehnervenkopf) und erster Verzweigung interindividuell relativ konstant 100µm beträgt.

Watzke-Allen-Zeichen

Mit Hilfe des Watzke-Allen-Zeichens lässt sich ein durchgreifendes Foramen von einem Pseudofoamen abgrenzen. Hierzu projiziert man mittels der Spaltlampe und einer 60-90-dpt-Linse oder auch durch das Kontaktglas einen schmalen Lichtspalt auf die Fovea. Bei einem durchgreifenden Makulafoamen nimmt der Patient eine Lücke im Lichtspalt wahr. Eine Einschnürung des Lichtbandes („Sanduhr-Phänomen“ durch Verlagerung der fovealen Photorezeptoren in Richtung peripher) wird meist in beiden Fälle wahrgenommen und taugt daher nicht zur Unterscheidung.

Optische Kohärenztomografie (OCT)

Die OCT ist ein hochauflösendes bildgebendes Verfahren, das nicht-invasiv, schädigungsfrei und für den Patienten fast unmerklich die anatomischen Strukturen der Netzhaut in Sekundenschnelle vermisst und aufnimmt. Das Resultat gleicht einem histologischen Schnittbild, das lebendes Gewebe abbildet. Dabei wird das Bild aus den Messpunkten längs einer wählbaren Scanlinie zusammengesetzt. Der elementare Messvorgang besteht also in der Aufnahme der Tiefenstruktur der Netzhaut an einem festen Punkt. Dazu wird die Netzhaut punktuell mit infrarotem Laserlicht (820nm) beleuchtet. Das aus der Netzhaut reflektierte Licht wird in einem Michelson-Interferometer mit einem Referenzstrahl derselben Lichtquelle überlagert. Das dabei entstehende Interferenzmuster gibt die Netzhautreflektivität als Funktion der Eindringtiefe wieder. Die Stärke der Netzhautreflektivität wird in den Geräten üblicherweise farbcodiert dargestellt. So wird Punkt für Punkt entlang der Scanlinie gemessen. Das Ergebnis ist ein Schnittbild der Netzhaut mit einer axialen Auflösung von $< 10\mu\text{m}$ und einer transversalen Auflösung von $20\mu\text{m}$. Mit dieser Untersuchungsmethode lassen sich die verschiedenen Stadien des Makulafoamens (Abbildung 10) zuverlässig diagnostizieren und insbesondere von einem Pseudofoamen durch epiretinale Gliose unterscheiden.

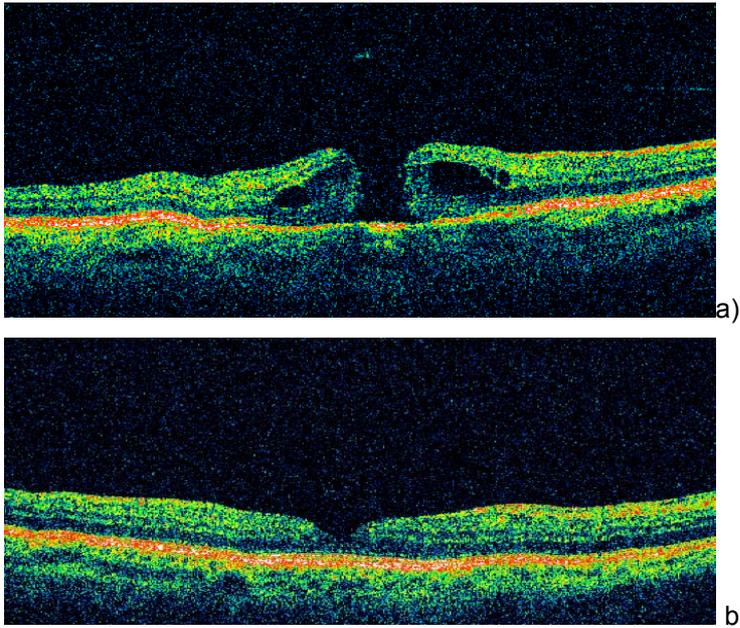


Abbildung 10. a) durchgreifendes Makulaforamen mit Operculum vor dem Defekt und ödematösem Rand. b) Lochverschluss nach Makulalochchirurgie

1.4.5. Symptomatik

Das Makulaloch macht sich bei den betroffenen Patienten durch eine progrediente Visusminderung bemerkbar. Innerhalb eines Zeitraums von mehreren Monaten sinkt die Sehschärfe schließlich auf einen Endwert von etwa 0,05-0,1. Zusätzlich können die Patienten über eine verzerrte Wahrnehmung klagen, d.h. dass sie z.B. gerade Linien als gewellt wahrnehmen. Dieses als Metamorphopsie bezeichnete Symptom beruht auf einer seitlichen Verlagerung der Photorezeptoren in Lochnähe und wird je nach Ausprägung einer epiretinalen Gliose mehr oder minder verstärkt.

1.4.6. Therapie

Makulaforamina des Stadiums I heilen in 40-60% der Fälle durch Abriss der fovealen Glaskörperadhärenz spontan ab (de Bustros 1994, Gass 1995 a). In einer kontrollierten Studie wurde belegt, dass Augen mit einem Makulaforamen Stadium I im Mittel von einer Operation nicht profitieren (Benson et al. 2001). Ab Stadium II ist die Wahrscheinlichkeit einer Spontanheilung gering. Selbst wenn sich das Makulaloch spontan verschließt, tritt keine wesentliche funktionelle Besserung ein. Es konnte eindeutig belegt werden, dass der Verlauf nach chirurgischer Intervention deutlich günstiger ist als der Spontanverlauf (Kim JW et al. 1996).

Nachdem das Makulaforamen lange Zeit als nicht behandelbar galt, berichteten Kelly & Wendel 1991 erstmals über eine erfolgreiche chirurgische Behandlung durch Vitrektomie und Endotamponade mit Gas. Im Laufe der letzten Jahre wurden die

Operationstechniken weiterentwickelt und verbessert. Die operative Versorgung des Makulaforamens besteht in der Durchführung einer pars-plana-Vitrektomie, ggf. der Vervollständigung der Glaskörperabhebung, wenn diese noch nicht besteht, der Präparation vorhandener epiretinaler Membranen und einer Endotamponade. Über diese Grundzüge sind sich die Ophthalmochirurgen relativ einig. Die Vitrektomie, die Glaskörperabhebung und die Membranentfernung sind entscheidend für die Entlastung tangentialer und anterior-posteriorer Traktionen, die für die Entstehung des Makulaforamens verantwortlich sind. Die Mehrheit der Glaskörper-Chirurgen setzt als Endotamponadesubstanz schwer resorbierbare Gase ein. In Gebrauch sind SF₆ (Schwefelhexafluorid), C₂F₆ (Perfluorethan) oder C₃F₈ (Perfluorpropan). Nach der Operation muss der Patient für einige Tage Bauchlage einhalten, um die Gasblase während des Heilungsprozesses in Kontakt mit dem Makulaloch zu halten. Silikonöl ist eine alternativ einsetzbare Endotamponadesubstanz und kommt vorwiegend bei Patienten zum Einsatz, die keine Bauchlage einnehmen können, eine Flugreise antreten müssen oder am einzigen Auge operiert werden. Durch die Endotamponade werden die Ränder des Makulalochs auf das darunter liegende retinale Pigmentepithel gedrückt und so der Lochverschluss unterstützt.

Die Entfernung der inneren Grenzmembran, auch ILM-Peeling genannt, scheint die anatomischen wie auch funktionellen Ergebnisse günstig zu beeinflussen (Brooks 2000, Haritoglou et al. 2002). Andere Autoren (Margherio et al. 2000, Smiddy et al. 2001) konnten diese positive Wirkung des ILM-Peelings nicht bestätigen. Zumindest sollte man von exzessiven Peelingmanövern absehen, um iatrogene Netzhautschäden zu vermeiden.

Verschieden Adjuvanzen - darunter TGF-beta, autologes Serum oder autologes Thrombozytenkonzentrat – wurden auf das Makulaforamen aufgebracht, um eine gliale Zellproliferation und bessere Verschlussraten zu erzielen (Minihan et al. 1997). Der Nachweis eines funktionell besseren Ergebnisses im Vergleich zur Chirurgie ohne Adjuvanzen blieb bisher aus.

Die Prognose des Makulaforamens hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert. Die Verschlussraten liegen heutzutage bei über 90%. Als postoperative Sehschärfe konnte in einer prospektiven Studie mit einer Nachbeobachtungszeit von 5 Jahren im Mittel ein stabiler Wert von 0,5 dokumentiert werden (Haritoglou et al. 2006). Damit ist Lesefähigkeit erreicht und die Lebensqualität der Patienten gegenüber dem Spontanverlauf wesentlich verbessert.

2. Zielsetzung

Bisher gibt es keine Veröffentlichung, die die oben dargelegten, theoretischen Überlegungen und daraus resultierenden Erwartungen in der klinischen Anwendung überprüft hat. Ziel der folgenden Arbeit ist es daher, in einer prospektiven Studie realer Behandlungsverläufe zu untersuchen, ob die neue Intraokularlinse Acri. Lyc 59 RET® tatsächlich dieselbe Brechkraft im Kontakt mit Wasser und Silikonöl hat und damit das Problem der Hyperopisierung und Aniseikonie der bisher verfügbaren Kunstlinsen vermeidet.

Hieraus resultieren folgende Fragestellungen:

2.1. Primärziel

Gibt es einen Refraktionsunterschied der mit Acri. Lyc 59 RET®-Kunstlinse pseudophaken Augen im Zustand mit Öl-Tamponade bzw. nach Entfernung derselben? Wird die Erwartung erfüllt, dass sich die Refraktion nach Öl-Explantation nicht ändert?

2.2. Sekundärziele

1. Wie stark weicht die berechnete Zielrefraktion von der tatsächlich erzielten Refraktion mit und ohne Öl ab?
2. Wie tief ist die Vorderkammer postoperativ im Silikonöl- bzw. Wasser-gefüllten Auge? Gibt es eine systematische Abweichung von dem präoperativen Schätzwert, mit dem die Kunstlinse berechnet wird? Gleichwertig damit ist die Fragestellung: Welche A-Konstante hat die Kunstlinse Acri.Lyc 59 RET®?
3. Gibt es eine praktisch relevante Aniseikonie mit der neuen Kunstlinse? Wie ändert sich die Aniseikonie mit der Öl-Explantation?

3. Material und Methoden

Um eine prospektive Untersuchung der genannten Fragestellung durchführen zu können, braucht man Patienten, bei denen die Öl-Tamponade zeitlich planbar wieder entfernt werden kann. Damit scheidet die eigentliche Zielgruppe der Acri. Lyc 59 RET®-Kunstlinse, nämlich Patienten mit diabetischen Netzhaut-/Glaskörper-Komplikationen, für eine Studie aus, obwohl sie das größte Kontingent für die Implantation der neuen Linse stellen. Eine besser geeignete Patientengruppe sind die wegen eines idiopathischen Makulaforamens zu operierenden Fälle, da hier ein standardisiertes Zeitschema für die Öl-Explantation anwendbar ist. Allerdings ist bei dieser Erkrankung bisher die Gas-Tamponade mit Lagerung das weltweit überwiegend praktizierte Verfahren. Die Göttinger Augenklinik hat hier in den vergangenen Jahren eine Sonderrolle gespielt und Makulaforamina überwiegend mit Öl-Tamponade versorgt. Die Gründe dafür sind Entfall von Bauchlagerung und Immobilisierung der durchschnittlich alten Patienten, kürzere Verweildauer im Krankenhaus und kürzere Rehabilitationszeit. In einer begleitenden, prospektiv durchgeführten Untersuchung wurde nachgewiesen, dass die anatomischen und funktionellen Ergebnisse mit Öl-Tamponade gleich oder sogar besser sind als die mit Gas-Tamponade (Joeres 2005).

Ein weiterer Gesichtspunkt, der für die Öl-Tamponade bei Makulaforamen spricht, ist das Management der nach Vitrektomie mit Latenz auftretenden Katarakt, die regelmäßig eine zweite Operation erfordert. Es ist üblich, dass Augen-Kliniken Fälle mit Gas-Tamponade kurzfristig abschließen, da das Gas sich von allein resorbiert. Die Nachbetreuung erfolgt in Verantwortung des niedergelassenen Kollegen. Die einige Monate später auftretende Katarakt wird vom Patienten negativ als Rezidiv der Visus-Verschlechterung erlebt. Der häusliche Augenarzt steuert die notwendige Katarakt-Extraktion dann oft genug an der ehemaligen Klinik vorbei. Es erscheint sinnvoller, das Krankheitsgeschehen – Makulaloch und später auftretende Katarakt – als Gesamtproblem zu sehen und dessen Behandlung im Sinne des Patienten zu optimieren. Daraus folgt, die Linsen Chirurgie bereits bei der Makulaloch-Chirurgie mit einzuschließen. Kommt hier die neue Linse zum Einsatz, hat der Patient auch unter Öl sofort die richtige Refraktion und sieht im Rahmen der Möglichkeiten seiner Makula optimal scharf. Die zweite Operation beschränkt sich dann auf die Öl-Explantation, die wegen des besonderen Kunstlinsen-Designs keine Refraktionsänderung mit Sehschärfenverlust nach sich zieht. Damit wird angestrebt,

in allen Phasen der Behandlung das retinale Optimum an Sehschärfe auch zu realisieren und Beeinträchtigungen für den Patienten zu minimieren. Das zustimmende Votum der örtlichen Ethikkommission zu diesem Konzept und der darauf basierenden Untersuchung der neuen Linse liegt vor.

3.1. Einschlusskriterien

Eingeschlossen in diese Studie wurden Patienten, die aufgrund eines idiopathischen Makulaforamens in die Augenklinik Göttingen eingewiesen wurden. Die fortlaufende Rekrutierung der Patienten fand ab März 2005 statt. Bezüglich Alter und Geschlecht der Patienten bestanden keinerlei Einschränkungen.

3.2. Ausschlusskriterien

Eine vorbestehende Pseudophakie am vom Makulaforamen betroffenen Auge schloss die Teilnahme an der Studie aus, da Nutzen und Risiko eines Kunstlinsentausches nicht vereinbar erschienen.

Patienten, die unter einer Phenprocoumontherapie (z.B. Marcumar®) standen, wurden auf Heparin umgestellt. Mit der Operation wurde gewartet, bis der Quick-Wert auf mindestens 60% angestiegen war.

Eine Therapie mit Thrombozytenaggregationshemmern wurde nach Rücksprache mit dem jeweiligen Hausarzt des Patienten 10 Tage vor dem Eingriff abgesetzt. Weitere Einschränkung bezüglich einer Begleittherapie gab es nicht.

3.3. Operation und postoperative Nachsorge

Die Chirurgie des Makulaforamens erfordert eine mehrwöchige Öltamponade des Glaskörperaumes. Bisher wurde der Glaskörper in der Erstoperation entfernt und durch Silikonöl ersetzt. Das Öl wurde nach sechs bis acht Wochen im Rahmen einer Kataraktoperation wieder explantiert. In dieser Studie ist vorgesehen, die Kataraktextraktion und Implantation der neuen Linse zusammen mit dem Ersteingriff (Vitrektomie und Öltamponade) durchzuführen und den Zweiteingriff dadurch auf eine reine Silikonölenfernung zu beschränken.

3.3.1. Kataraktextraktion, Vitrektomie und Silikonöltamponade

Prof. Dr. med. Petersen und Fr. Dr. med. Ritzau-Tondrow, zwei erfahrene Ophthalmochirurgen der Augenklinik Göttingen, führten alle Operationen durch.

Je nach Allgemeinzustand und Wunsch des Patienten erfolgte der Eingriff in Intubationsnarkose oder Retrobulbäranästhesie mit Scandicain® unter Sedierung mit Midazolam.

Die Operation begann mit einer üblichen Katarakt-Extraktion durch Phakoemulsifikation und corneo-skleralem Tunnelzugang. Nach Einsetzen des Lidsperrers und Eröffnung der Bindehaut wurde zunächst ein skleraler Tunnel von ca. 3,5mm Breite bis in die Hornhaut vorpräpariert. Mit einer abgewinkelten 30-G-Kanüle erfolgte dann die vordere Kapsulorhexis. Mittels Phakoemulsifikation wurde die Linse abgesaugt und die Linsenkapsel mit Hilfe des bimanuellen Systems (20-G-Saughandgriff und 20-G-Infusionshandstück in limbalen Parazentesen) poliert. Dabei wurde Wert auf eine möglichst vollständige Entfernung der Linseneithelien von der Vorderkapsel gelegt.

Der nächste Operationsschritt bestand in einer Standard-mäßigen 20-G-pars-plana-Vitrektomie. Drei Sklerotomien 3mm hinter dem Limbus dienten als pars-plana-Zugänge für die Glaskörper-Infusion mit BSS, den Beleuchtungsstab und den Vitrektomie-Schneidkopf. Im Rahmen der Vitrektomie wurde der Glaskörper vollständig abgehoben, wenn er noch anlag, und bis zur Peripherie eingekürzt. Sofern vorhanden, wurden epiretinale Membranen abgezogen, während ein ILM-Peeling nicht zur Standard-Durchführung der Operation zählte, da dessen Effekt kontrovers diskutiert wird. Am Ende der Vitrektomie wurde die Netzhautperipherie nach Foramina abgesucht und ggf. mit Kryokoagulation behandelt.

Im nächsten Operations-Schritt wurde die Intraokularlinse Acri. Lyc 59 RET® in den intakten Kapselsack implantiert. Danach wurde die hintere Linsenkapsel mit dem Vitrektomiegerät vom Glaskörperraum aus mit einem Durchmesser von ca. 4,5mm ausgeschnitten. Anschließend wurde die 6mm-Linsenoptik durch diese Kapselöffnung in den Glaskörperraum (Knopfloch-Technik) durchgesteckt, während die Haptiken im Kapselsack verblieben.

Daran schloss sich ein Austausch der Glaskörperflüssigkeit gegen Luft an (*fluid-gas-exchange*). Nach 5- bis 10-minütigem Abwarten sammelte sich das Wasser aus den peripheren Glaskörperresten am hinteren Pol, wo es abgesaugt wurde. Sodann folgte die Implantation von Silikonöl OP 5000. Nach vollständiger Öl-Füllung wurden die Sklerotomien bei einem intraokularen Druck von 30mmHg mit vorgelegten Fäden verschlossen. Ein Schiötz-Tonometer diente der Druckmessung. Abschließend

wurde die Bindehaut ebenfalls vernäht und ein Isopto Max®-Augensalbenverband angelegt.

Im Falle einer hinteren Kapselruptur wurde die IOL in den Sulcus ciliaris implantiert und die Optik durch die vordere Kapsulorhexis nach hinten durchgesteckt (vordere Rhexisaufhängung).

3.3.2. Silikonölentfernung

Sechs bis acht Wochen nach dem Ersteingriff wurde die Silikonöl-Explantation geplant, wenn das Makulaforamen laut OCT-Befund verschlossen und verheilt war. Die Öl-Entfernung erforderte zwei pars-plana-Sklerotomien: Eine für die Glaskörperinfusion (BSS), die zweite für die Absaug-Kanüle. Dabei wurden die von der Voroperation erkennbaren Zugangsstellen möglichst wiederbenutzt, um die Traumatisierung der Pars plana gering zu halten. Ein anschließender mehrfacher Flüssigkeits-Luftaustausch half, das gesamte Silikonöl einschließlich emulgierter Tröpfchen und Wand-adhärenter Bläschen aus dem Glasköperraum zu entfernen, da die Öl-Reste aus Gründen der Oberflächenenergie in die Wasser-Luft-Grenze hineingesogen und so gesammelt und entfernt werden können. Anschließend wurde das Auge mit BSS gefüllt und die Skerotomien wasserdicht vernäht. Nach Verschluss der Bindehaut wurde ein Isopto Max®-Augensalbenverband angelegt.

3.3.3. Medikamentöse Vor- und Nachsorge

Am Vorabend der Eingriffe erhielt das betroffene Auge einen Verband mit Isopto Max®-Augensalbe. Am OP-Tag wurde die Pupille mit Mydriatika weitgetropft. Nach den Operationen erhielten alle Patienten Isopto Max®-Augensalbe 3x täglich bis zum Abklingen des postoperativen Reizzustandes. Ein angestiegener Augeninnendruck wurde mit Antiglaukomatosa gesenkt.

3.4. Datenerhebung

Die zeitliche Abfolge der Datenerhebung für die Studie entspricht dem üblichen, klinischen Untersuchungsprogramm bei Chirurgie des idiopathischen Makulaforamens: Präoperative Diagnostik, Operationsbefund, Entlassungsbefund, Zwischenbefund 6-8 Wochen nach der Erst-Operation vor der Öl-Explantation, Abschlussuntersuchung 6-8 Wochen nach Öl-Explantation. Die erhobenen Daten wurden im Studienprotokoll (siehe Anhang) dokumentiert. Die Daten der Entlassungsuntersuchungen wurden wegen hoher Variabilität aufgrund der sehr kurzen Liegezeit nicht in die Auswertung eingeschlossen.

3.4.1. Refraktion und Visus

Nach objektiver Refraktionsbestimmung mittels Autorefraktor (Nidek AR-1100) und Skiaskopie erfolgte der subjektive Feinabgleich. Anschließend wurde der Visus mit dieser besten Korrektur bestimmt. Gemäß DIN58220 zählte eine Visusstufe als bestanden, wenn 3 oder mehr der 5 Optotypen einer Zahlenreihe richtig beantwortet wurden. Die Visusstufen waren logarithmisch äquidistant mit 0,1 logMAR (d.h. Stufen-Faktor 1,26) und die Optotypen nach DIN58220 (Herstellerangaben) geeicht. Die am Patienten ermittelte Refraktion besteht aus Sphäre und Zylinder. In die Kunstlinsenberechnung geht aber nur das sphärische Äquivalent (SE) ein. Entsprechend ist auch bei den prä- und post-operativen Refraktionen als Vergleichswert nur deren sphärisches Äquivalent sinnvoll. Dieser Wert wird folgendermaßen berechnet: $SE = \text{sphärischer Wert} + \frac{1}{2} \text{zylindrischer Wert}$.

3.4.2. Biometrie

Die zur Linsenberechnung notwendige Hornhautbrechkraft wurden mit dem Zeiss-Ophthalmometer gemessen. Für die anderen Eingangsgrößen der Linsenberechnungen lagen die mit dem Ultraschallgerät Sonomed A2500 durchgeführten Längenmessungen zugrunde. Es waren dies: Die präoperative Bulbuslänge, die präoperative Vorderkammertiefe, die Linsendicke und die postoperative pseudophake Vorderkammertiefe.

3.4.3. Berechnung der Linse

Um eine bestimmte Zielrefraktion mit einer Kunstlinse zu erreichen, muss für jedes Auge individuell die Brechkraft der zu implantierenden Linse berechnet werden. Die Zielrefraktion in dieser Studie lag überwiegend bei Emmetropie. In einzelnen Fällen wurde eine Zielrefraktion abweichend von Emmetropie gewählt, um eine zu große Refraktionsdifferenz mit dem Partnerauge zu vermeiden. Emmetropie bedeutet in diesem Zusammenhang die dichtest mögliche Annäherung an den Refraktionswert 0dpt, da die Intraokularlinsen nur in 0,5dpt-Schritten hergestellt werden. Für die zu untersuchende Kunstlinse Acri. Lyc 59 RET® lag aufgrund des erstmaligen Einsatzes noch keine A-Konstante (für statistische Formeln) oder ein Erfahrungswert der postoperativen Vorderkammertiefe (für die geometrisch-optischen Formeln) vor. Dem derzeitigen Trend folgend wurde die geometrisch-optische Berechnungsvariante gewählt. Dabei wurde die pseudophake Vorderkammertiefe (C) individuell aus den präoperativen Messwerten, wie folgt, abgeschätzt:

pseudophake Vorderkammertiefe C = präop. Vorderkammertiefe + 1/3 Linsendicke

Dieser Wert wurde dann in die „Binkhorst-Formel“ (Binkhorst 1979) eingesetzt.

Die Binkhorst-Formel ist eine numerische Vereinfachung der exakten Abbildungsgleichung (Gernet et al. 1970), in der der Quotient $1,336/0,336$ durch den Wert 4 ersetzt wurde, was einem 1%-Fehler entspricht.

$$P = \frac{1336 (4r-L)}{(L-C) (4r-C)}$$

P	IOL-Brechkraft für Emmetropie [dpt]
L	Bulbuslänge [mm]
C	pseudophake Vorderkammertiefe [mm]
r	Krümmungsradius der Hornhaut [mm]

Dieses Verfahren ergab für die Intraokularlinse Acrysof® der Fa. Alcon den geringsten Zufallsfehler der Linsenberechnung und war allen anderen, verfügbaren Formeln überlegen (Genée 2004). Aus diesem Grund wird diese Berechnungsvariante nun auch für die neue Linse benutzt.

3.4.4. Aniseikonie

Der Aniseikonie-Test wurde für die vorliegende Untersuchung als PowerPoint-Bilderserie für Windows-Rechner speziell entwickelt. Bei einem Aniseikonie-Test handelt es sich um den subjektiven Vergleich der Bildgrößen in beiden Augen. Dazu müssen beiden Augen separate Bilder zugeführt werden, man benötigt also ein Bildtrennungsverfahren. Im vorliegenden Fall wurde dazu eine Rot-Grün-Brille verwendet.

Der Test ist folgendermaßen aufgebaut (Abbildung 11): Auf dunklem Hintergrund befindet sich zentral eine weiße Scheibe von $0,5^\circ$ Durchmesser, die für beide Augen sichtbar ist und die die Fusion sicherstellt. Bei 5° Exzentrizität liegt oben eine grüne und unten eine rote Halbkreislinie der Stärke 3 arcmin. Bei Blick durch die Rot-Grün-Brille ist für jedes Auge nur einer der beiden Halbkreise sichtbar. Der jeweils andere Halbkreis verschwindet vollständig, wozu eine geringe Resthelligkeit des Bildschirmhintergrundes notwendig ist. In den einzelnen Testbildern unterscheiden sich die Größen der Halbkreise geringfügig. Folgende Aniseikonie-Abstufungen wurden angeboten: 7,80%, 7,15%, 6,50%, 5,85%, 5,20%, 4,55%, 3,90%, 3,25%, 2,6%, 1,95%, 1,30%, 0,65%, 0%. Die Untersuchung hatte zum Ziel, das Testbild aufzufinden, bei dem der Patient die beiden Halbkreise als gleich groß wahrnahm.

Die Untersuchung fand am Computer-Bildschirm in ca. 80cm Abstand statt. Die Patienten trugen neben der benötigten Fernkorrektur zusätzlich eine Nahaddition von +1,25dpt. Zunächst wurde der Test mit Rotglas vor dem OP-Auge und Grünlas vor dem Partnerauge durchgeführt. Anschließend wurden die Farbfilter vertauscht und der Test wiederholt.

Der Patient war aufgefordert, den zentralen Punkt zu fixieren und anzugeben, welcher der Halbkreise größer erschien oder ob sie gleich groß waren. Alle Aniseikonie-Stufen wurden dem Patienten in zufälliger Reihenfolge drei Mal dargeboten.

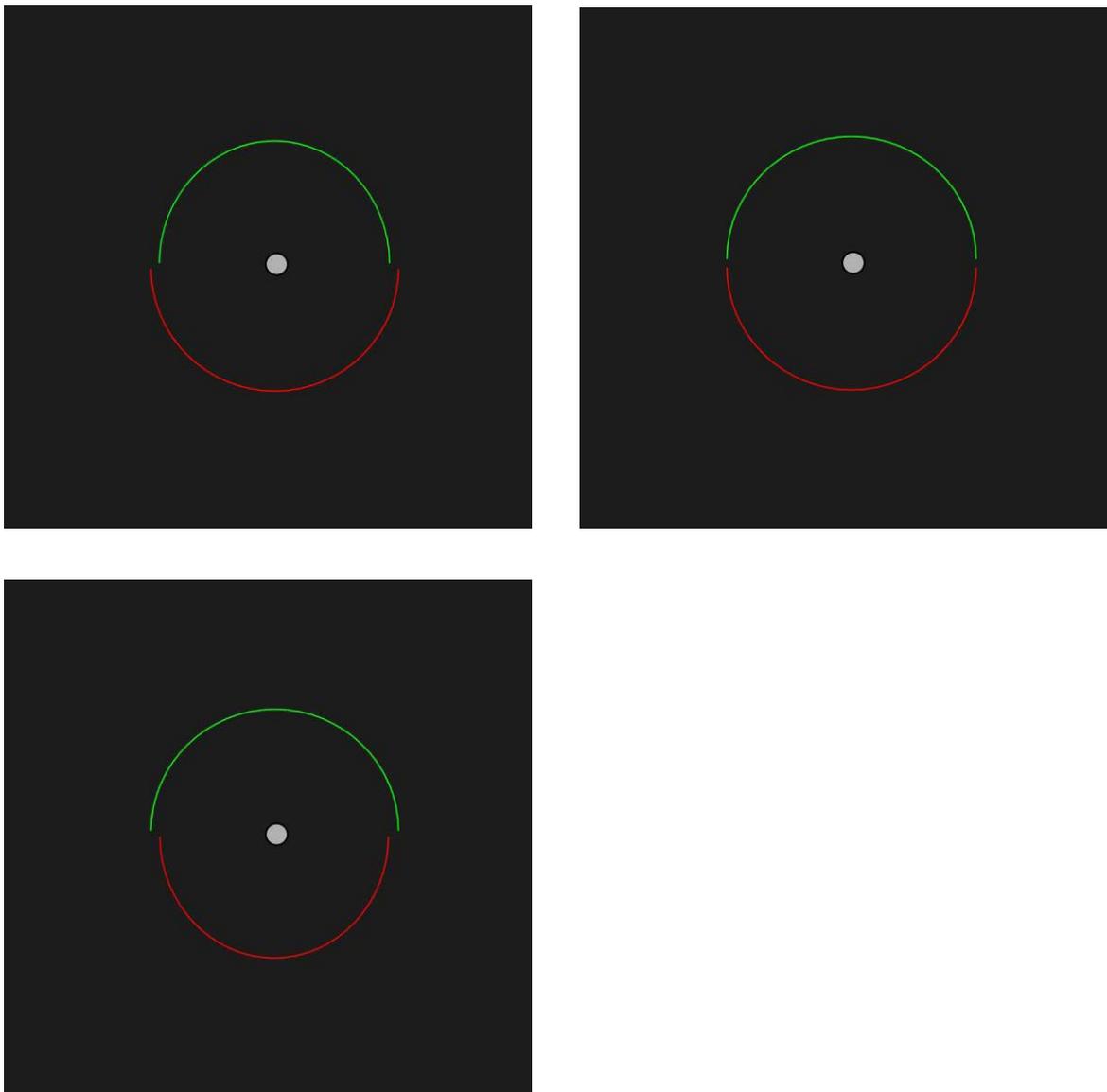


Abbildung 11. Aniseikonie-Test. Drei Beispiele der dargebotenen Aniseikonie-Stufen

3.4.5. Intraoperative Daten

Intraoperativ wurden folgende Daten dokumentiert (siehe Protokoll im Anhang):

- Implantationsort der Linse
- technische Details zur Knopflochaufrückung
- Vollständigkeit der Kapselpolitur
- Details zur hinteren Glaskörperabhebung
- Durchführung eines *membrane peeling*
- Kryokoagulation oder Endolaserkoagulation von peripheren Netzhautlöchern.

3.4.6. Subjektive Beschwerden

Die Patienten wurden postoperativ nach neu aufgetretenen subjektiven Beschwerden insbesondere Reflexionen, Lichtringen, Halos und Doppelbildern befragt. Ziel dieser Befragung war die Ermittlung von subjektiven Störungen, die auf die Linse und/oder Silikonölfüllung und nicht auf das Makulaforamen zurückzuführen waren.

3.4.7. Spaltlampenuntersuchung

Sowohl präoperativ als auch postoperativ erfolgten Spaltlampenuntersuchungen mit besonderem Hinblick auf Zentrierung und Sitz der Linse, den Kapselzustand und die Knopflochaufrückung. Weiterhin wurde auf Beschläge und Abdrücke auf der Linsenoberfläche und auf Newton-Ringe im Öl-gefüllten Zustand geachtet.

3.4.8. Funduskopische Untersuchung

Präoperativ wurde funduskopisch die Lochgröße abgeschätzt und nach epiretinalen Membranen gesucht. Nach der Erstoperation wurde in aufrechter Haltung die Menge des Wassers unter dem Silikonöl bei 6 Uhr abgeschätzt.

War bei maximal erweiterter Pupille keine Öl-Wasser-Grenze identifizierbar, wurde eine 100%ige Ölfüllung angenommen. Nach der Zweitoperation wurde v. a. im oberen Bereich der Netzhaut gezielt nach verbliebenen Restölbläschen gesucht.

Die Größe des Makulaforamens und dessen postoperativer Verschluss wurden mit Hilfe der optischen Kohärenztomografie dokumentiert.

3.5. Statistik

Alle Ergebnisse sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (MW \pm SD), Median, Häufigkeit oder/und prozentualer Anteil angegeben.

Die Unterschiede zwischen Silikonölfüllung und Wasserfüllung bezüglich der untersuchten Größen wurden je nach Verteilung mit dem t-Test bzw. Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben untersucht. Details sind unter den jeweiligen Kapiteln im Abschnitt Ergebnisse zu finden. Als signifikant wurden p-Werte $<0,05$ definiert. Die statistischen Berechnungen wurden mit dem Programm Statistika (Statistika 8 Statsoft, Tulsa, USA) nach eingehender Beratung durch das Institut für Medizinische Statistik der Georg-August-Universität Göttingen ausgeführt.

4. Ergebnisse

4.1. Patientenkollektiv

In diese Studie wurden 41 Augen von 38 Patienten mit idiopathischen Makulaforamina aufgenommen. Darunter befanden sich 21 Frauen (55%) und 17 Männer (45%) im Alter zwischen 57 und 80 Jahren (71 ± 6 Jahre). Insgesamt wurden 22 rechte Augen (54%) und 19 linke Augen (46%) untersucht, wobei 3 Patienten (8%) an beiden Augen betroffen waren.

Hinsichtlich der Stadieneinteilung der Makulaforamina nach Gass ergab sich folgender Verteilung: Bei 9 Augen Stadium II (22%), 22 Augen Stadium III (54%) und 10 Augen Stadium IV (24%).

Im Mittel fand die postoperative Untersuchung $8,1 \pm 2,1$ Wochen und die Silikonölenfernung $11,0 \pm 3,1$ Wochen nach dem Ersteingriff statt. Der Abstand zwischen der Ölenfernung und der Abschlussuntersuchung betrug im Mittel $6,4 \pm 2,3$ Wochen.

Bei einem Patienten (Pat. Nr. 28) war die Kunstlinse nach dem Ersteingriff dezentriert, so dass die Daten der Zwischenuntersuchung von der Auswertung ausgeschlossen wurden. Im Rahmen des Zweiteingriffs konnte die IOL wieder zentriert werden, so dass verwertbare Abschlussdaten vorliegen. Ein anderer Patienten (Pat. 8) entwickelte nach der Silikonölenfernung ein Makulaforamen-Rezidiv. Hier fand noch vor der 6-Wochen-Kontrolle eine Revisionsoperation statt, um einen Verschluss des Makulaforamens herbeizuführen. Die Daten nach diesem Eingriff wurden nicht verwertet.

4.2. Refraktion

Die Zielrefraktion betrug im Mittel $0,21 \pm 0,70$ dpt. Entsprechend dem Linsendesign sollte dieser Wert sowohl unter Silikonöl (nach dem Ersteingriff) als auch nach Ölenfernung unter Wasser (nach dem Zweiteingriff) erreicht werden. Das tatsächlich gemessene sphärische Äquivalent lag unter Silikonöl ($SE_{SiÖl}$) bei $-1,62 \pm 1,20$ dpt und unter Wasser (SE_{Wasser}) bei $-1,40 \pm 1,25$ dpt (Tabelle 1).

Die Differenz zwischen $SE_{SiÖl}$ und SE_{Wasser} betrug $0,22$ dpt und war bei einem p-Wert von $0,07$ nicht signifikant.

Bei $SE_{SiÖl}$ wurde Patient Nr. 28 aufgrund der Dezentrierung nicht berücksichtigt, da hierdurch die Refraktion wesentlich beeinflusst wurde.

	n	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
		[dpt]	[dpt]	[dpt]	[dpt]
Zielrefraktion	41	0,21	0,70	-1,62	2,34
SE _{siÖl}	40	-1,62	1,20	-4,63	0,88
SE _{Wasser}	40	-1,40	1,25	-4,88	0,63

Tabelle 1. Berechnete Zielrefraktion, sphärisches Äquivalent unter Silikonöl (SE_{siÖl}) und unter Wasser (SE_{Wasser}).

Zusammengefasst sind die wesentlichen Ergebnisse der Refraktion also:

- 1) Die neue Linse führt, wie erwartet, im Kontakt mit Öl und Wasser von praktisch-klinischer Werte aus gesehen auf dieselbe Refraktion (Tabelle 1). Die Differenz der Werte vor und nach Silikonölenfernung beträgt im Mittel $0,22 \pm 0,75\text{dpt}$ (Tabelle 2) und ist gerade nicht signifikant ($p=0,07$).
- 2) Es besteht eine systematische Abweichung der erreichten Refraktion vom errechneten Zielwert der Größe $-1,83\text{dpt}$ unter Öl und $-1,61\text{dpt}$ unter Wasser (gepaarter t-Test: Hochsignifikanter Fehler in Richtung Myopie).

Im Diagramm 1 sind die einzelnen Refraktionswerte unter Silikonöl und Wasser dargestellt. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,81 bei einem p-Wert von $<0,005$.

Differenz	N	Mittelwert	Standardabweichung	p-Wert
		[dpt]	[dpt]	
Zielrefraktion – SE _{siÖl}	40	1,83	0,90	$<0,005$
Zielrefraktion – SE _{Wasser}	40	1,61	0,91	$<0,005$
SE _{siÖl} – SE _{Wasser}	39	0,22	0,75	0,07

Tabelle 2. Differenz zwischen Zielrefraktion und dem sphärischen Äquivalent (SE) unter Silikonöl bzw. Wasser und zwischen SE_{siÖl} und SE_{Wasser}.

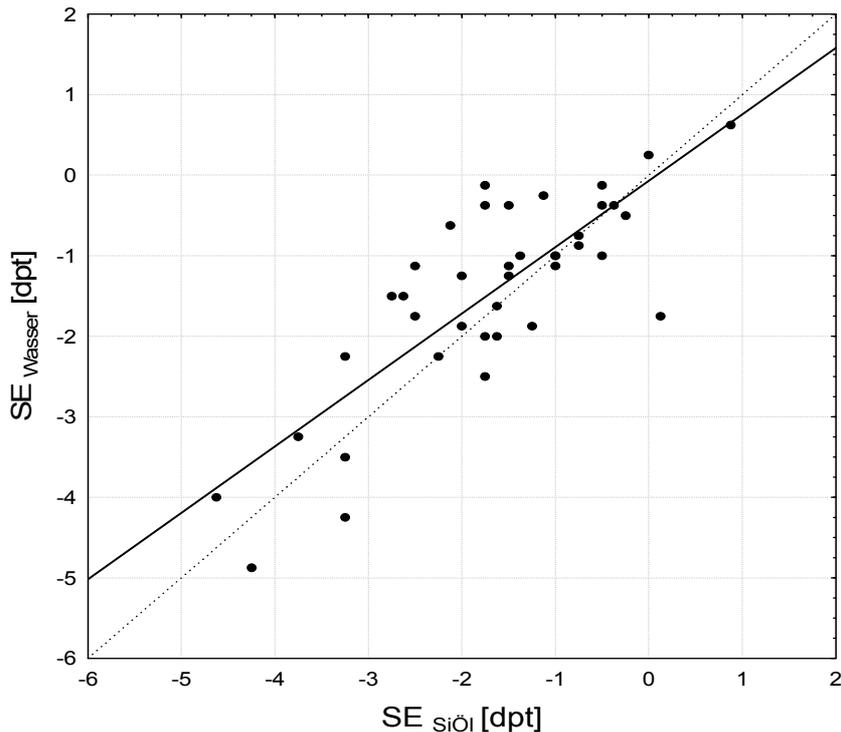


Diagramm 1. Refraktion unter Silikonöl (Abszisse) und unter Wasser (Ordinate) als sphärisches Äquivalent (SE) angegeben; durchgezogen: Regressionsgerade, gestrichelt: Ideale Übereinstimmung.

4.3. Vorderkammertiefe

Die präoperative Schätzung der postoperativen Vorderkammertiefe nach der Drittelformel (siehe oben), mit der die zu implantierende Kunstlinse berechnet wurde, ergab einen Mittelwert von $4,69 \pm 0,32\text{mm}$. Der Mittelwert der gemessenen postoperativen Vorderkammertiefe betrug unter Silikonöl $4,23 \pm 0,35\text{mm}$ und unter Wasser $4,47 \pm 0,28\text{mm}$ (Tabelle 3). Basierend auf einer Normalverteilung wurde der t-Test für gepaarte Stichproben zur Untersuchung der Differenzen zwischen den Vorderkammertiefen gewählt (Tabelle 4). Die Vorderkammertiefe nahm im Mittel um $0,24 \pm 0,13\text{mm}$ nach der Silikonölenfernung zu. Dieser Unterschied war mit einem p-Wert von $<0,005$ hochsignifikant. Die reduzierte Anzahl N resultiert aus nicht auswertbaren Ultraschallmessungen und dem Ausschluss des Patienten Nr. 28 wegen Subluxation der Intraokularlinse.

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
VKT _{berechnet}	41	4,69	0,32	4,11	5,47
VKT _{SiÖl}	39	4,23	0,35	3,40	4,98
VKT _{Wasser}	37	4,47	0,28	3,94	5,17

Tabelle 3. Vorderkammertiefe berechnet, unter Silikonöl und unter Wasser gemessen

Differenz	N	Mittelwert	Standardabweichung	p-Wert
		[mm]	[mm]	
VKT _{berechnet} - VKT _{SiÖl}	37	0,46	0,21	<0,005
VKT _{berechnet} - VKT _{Wasser}	37	0,22	0,22	<0,005
VKT _{SiÖl} - VKT _{Wasser}	33	-0,24	0,13	<0,005

Tabelle 4. Differenz zwischen den Vorderkammertiefen

4.4. Einflussfaktoren auf die Refraktion

Die Änderung der Vorderkammertiefe bedeutet eine Verschiebung der Intraokularlinse längs der optischen Achse. Dadurch verursacht wird eine Refraktionsänderung, die sich unmittelbar aus der Binkhorst-Formel durch Differenzierung nach der Vorderkammertiefe C herleiten lässt:

$$\text{Binkhorst-Formel} \quad P = \frac{1336 (4r-L)}{(L-C) \cdot (4r-C)}$$

Ableitung nach C führt auf:

$$\frac{dP}{P} = \frac{(L-C) + (4r-C)}{(L-C) \cdot (4r-C)} \cdot dC$$

mit Normalwerten: $L = 23,5 \text{ mm}$
 $C = 4,5 \text{ mm}$
 $r = 7,7 \text{ mm}$ folgt:

$$\frac{dP}{P} = \frac{19 + 26,3}{19 \cdot 26,3} = 0,09 \text{ dC}$$

In Worten: Wenn die Vorderkammertiefe um 1mm tiefer wird, erhöht sich die emmetropisierende Kunstlinsenstärke um ca. 9%. Oder anders ausgedrückt: Verschiebt man eine emmetropisierende Kunstlinse um einen mm nach vorn bzw, nach hinten, so wird das Auge um 9% der Kunstlinsenstärke myop bzw. hyperop. Diese Tatsache lässt sich auch unmittelbar mittels realer Kunstlinsenberechnungen

am Ultraschallgerät überprüfen, indem man die Vorderkammertiefe als Eingangsgröße der Berechnung variiert.

In Tabelle 4 ist dokumentiert, dass die postoperativen Vorderkammertiefen laut Ultraschallmessung regelmäßig flacher sind, als präoperativ mittels der Drittelformel geschätzt und für die Linsenberechnung angenommen wurde. Es stellt sich also die Frage, ob dieser Vorderkammerfehler die Abweichung der realen Refraktion vom Zielwert erklären kann. Dazu wird für jedes Auge individuell die aufgrund des Vorderkammerfehlers zu erwartende Refraktionsabweichung berechnet:

Erwartete Refraktionsabweichung = $0,09 \cdot (VKT_{\text{Wasser}} - VKT_{\text{berechnet}}) \cdot \text{IOL-Brechkraft}$.

Im Diagramm 2 sind die erwartete Refraktionsabweichung (s.o.) und der tatsächlich gemessene Refraktionsunterschied ($SE_{\text{Wasser}} - \text{Zielrefraktion}$) dargestellt. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,3 bei einem p-Wert von 0,07. Im Mittel beträgt die erwartete Refraktionsabweichung aufgrund des VKT-Schätzfehlers $-0,44 \pm 0,41 \text{ dpt}$. Demnach ist die beobachtete Abweichung von der Zielrefraktion nicht allein mit der Vorderkammertiefe zu erklären.

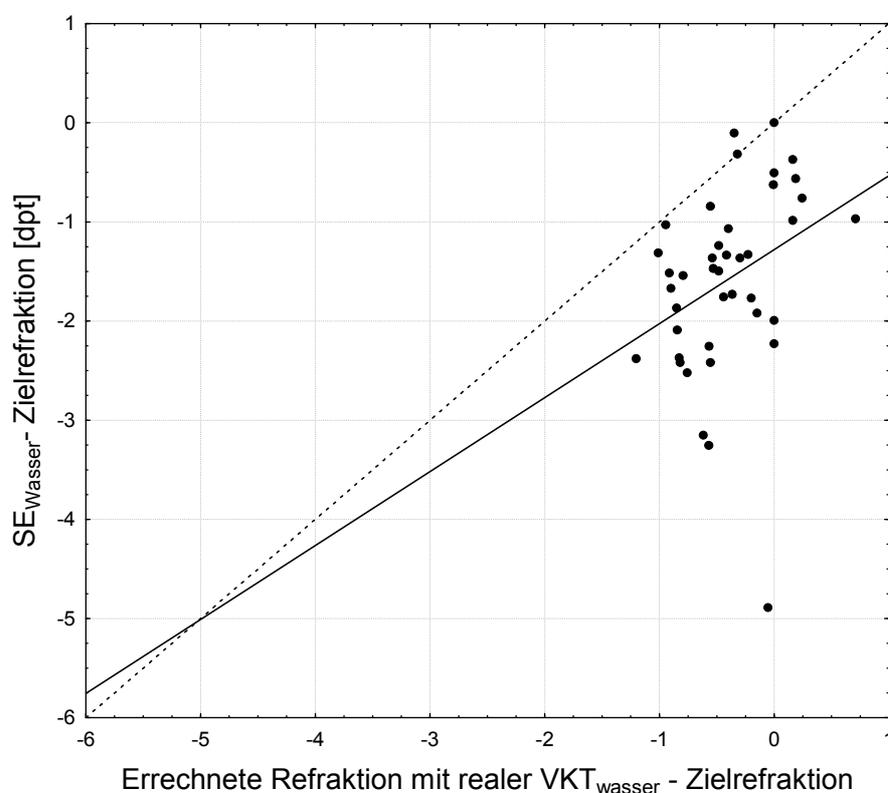


Diagramm 2. Durch Schätzfehler der postoperativen Vorderkammertiefe erklärte Abweichung von der Zielrefraktion auf der Abszisse und tatsächlich gemessene Abweichung von der Zielrefraktion auf der Ordinate (Sphärisches Äquivalent nach Öl-Explantation – Zielrefraktion); durchgezogene Linie: Regressionsgerade, gestrichelte Linie: Ideale Übereinstimmung.

Eine andere Größe, die die Refraktion beeinflusst, ist die Hornhautbrechkraft. Sowohl präoperativ als auch postoperativ wurde die Hornhautbrechkraft in den beiden Hauptkrümmungsrichtungen gemessen. Die mittlere Hornhautbrechkraft ist definiert als: Mittlere HH-Brechkraft = (HH-Br.1 + HH-Br. 2)/2.

Im Folgenden wird unter HH-Brechkraft immer dieser Mittelwert verstanden. Eine Abnahme der HH-Brechkraft verursacht eine Hyperopisierung des Auges, eine Zunahme dementsprechend eine Myopisierung. Entsprechend wurde die Differenz: HH-Brechkraft präop – HH-Brechkraft Wasser (HH-Brechkraft Wasser = endgültige HH-Brechkraft nach der Silikonölexplantation) gebildet und gegen die tatsächliche Abweichung von der Zielrefraktion aufgetragen (Diagramm 3).

Der Korrelationskoeffizient von 0,6 bei einem p-Wert von <0,005 deutet auf einen Zusammenhang hin. Die Hornhautbrechkraft nahm im Mittel um 0,21dpt +/- 0,65dpt zu, d.h. dass hierdurch eine myope Refraktionsabweichung von der berechneten Refraktion um 0,21dpt erklärt wäre.

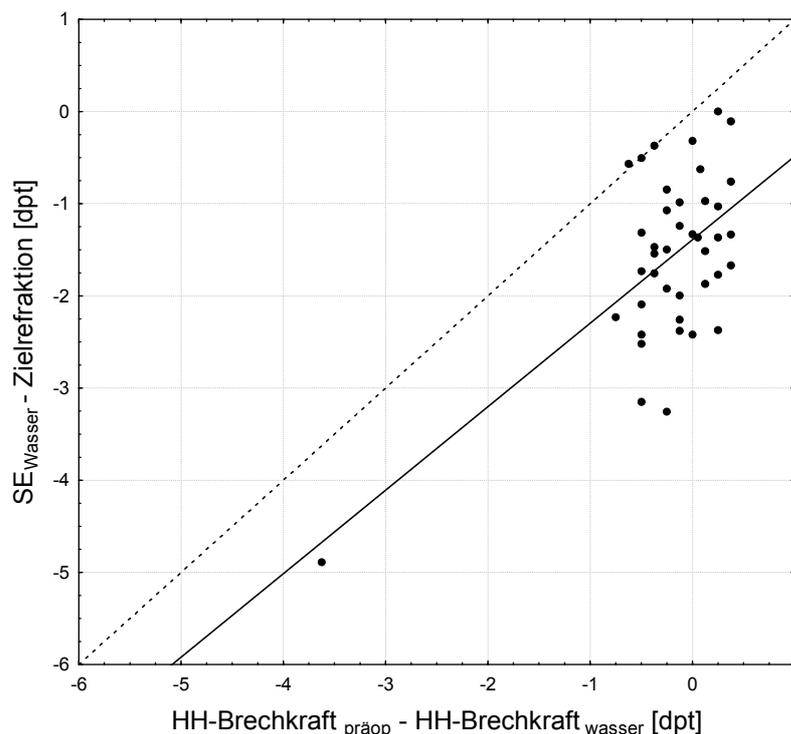


Diagramm 3. Veränderung der Hornhautbrechkraft durch die Operationen auf der Abszisse und gemessener Refraktionsabweichung nach Silikonölexplantation vom Zielwert auf der Ordinate; durchgezogene Linie: Regressionsgerade, gestrichelte Linie: ideale Gerade.

Abschließend wurde die additive Wirkung beider Einflussfaktoren, d.h. der postoperativen Änderung der Hornhautbrechkraft und des Schätzfehlers der Vorderkammertiefe untersucht, indem die durch beide Größen verursachten

Refraktionseffekte addiert (erwartete Gesamt-Refraktionsabweichung) und deren Korrelation zur gemessenen Refraktionsabweichung analysiert wurden (Diagramm 4). Diese Analyse ergibt mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,74 und einem p-Wert von $<0,005$ eine stärkere Korrelation als beide Größen einzeln.

Die erwartete Gesamt-Refraktionsabweichung beträgt $-0,65\text{dpt}$ ($\pm 0,73\text{dpt}$), die gemessene Refraktionsabweichung beträgt im Mittel $-1,61\text{dpt}$. Als wesentliches Resultat bleibt eine bis hierher nicht erklärte Myopie von ca. -1dpt als Differenz zwischen tatsächlicher Refraktion und Rechenergebnis übrig, auf die später einzugehen sein wird.

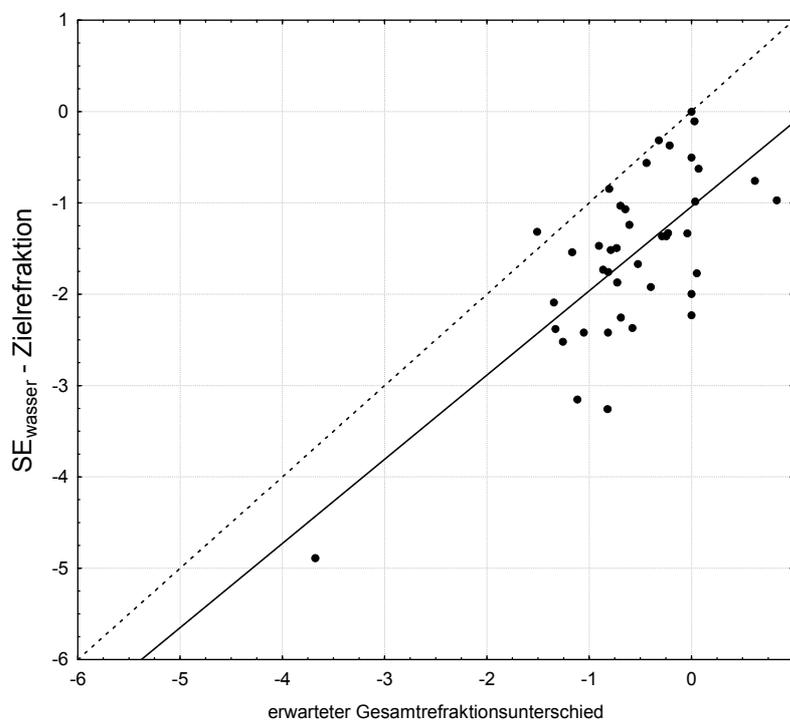


Diagramm 4. Erwartete Gesamt-Refraktionsabweichung (durch VKT-Schätzfehler und postoperative Hornhautbrechkraftsänderung erklärte Refraktionsabweichung) auf der Abszisse und tatsächlich gemessene Refraktionsabweichung von der Zielrefraktion auf der Ordinate; durchgezogene Linie: Regressionsgerade; gestrichelte Linie: ideale Übereinstimmung.

4.5. Aniseikonie

Bei der Untersuchung der Aniseikonie fiel auf, dass einige Patienten stark schwankende Angaben machten. Die vom Makulaforamen geschädigte Sehmitte und die dadurch reduzierte Sehschärfe am operierten Auge erschwerten die Fixation der hellen Kreisscheibe in der Mitte, so dass die Parallelstellung beider Augen mittels Fusion nicht immer zuverlässig erreicht wurde. Dadurch können sich der rote und grüne Halbkreis gegeneinander verschieben, so dass der Größenvergleich viel ungenauer wird als bei genauer Übereinander-Stellung der beiden Teilbilder. Insgesamt konnten nur 32 Patienten reproduzierbare Angaben bei der Aniseikonie-Untersuchung machen. Die Daten der übrigen Patienten waren nicht verwertbar.

Die Patienten wurden mit Testbildern über die volle Breite der am Computer-Bildschirm verfügbaren Aniseikonie-Stufen von -7,8% bis +7,8% geprüft. Die Ergebnisse sind im Diagramm 5 als Box-Plot dargestellt. Bei der Kombination Grünlas von dem Silikonöl-gefüllten Auge ist der Box-Plot im Gegensatz zu den drei anderen Kombinationen abgeschnitten. Hier reichte die Aniseikonie-Stufe -7,8% nicht aus, um die Aniseikonie in vollem Ausmaß zu erfassen. Während bei Rot SiÖl in fünf Fällen eine Aniseikonie stärker als -7,8% vorlag, handelte es sich bei Grün SiÖl um 12 Fälle. Nach Silikonölenfernung wurde mit dem Rotglas vor dem OP-Auge in 2 Fällen und dem Grünlas in 4 Fällen eine Aniseikonie stärker als -7,8% angegeben. In Tabelle 5 sind die Mittelwerte der Aniseikonie jeweils im Vergleich zum nicht operierten Auge aufgeführt.

Zur Analyse der Ergebnisse wurde ein gemischtes lineares Modell verwendet. Da teilweise keine Normalverteilung angenommen werden konnte, wurden die Ränge über alle Beobachtungen gebildet und diese Ränge als Zielgröße verwendet. Die festen Effekte waren Rot/Grün und SiÖl/Wasser, der zufällige Effekt war der Patient (Tabelle 6). Der Einfluss der Farbe des Glases und der Einfluss der Flüssigkeit waren mit $p < 0,0001$ hochsignifikant. Die Interaktion zwischen Glasfarbe und Glaskörperfüllung war nicht signifikant, d.h., dass es keine Wechselwirkung zwischen Glasfarbe und Glaskörperfüllung gab.

Nach der Silikonölenfernung änderte sich die Aniseikonie bei Rotglas vor dem OP-Auge um $-2,38 \pm 3,16\%$ und bei Grünlas vor dem OP-Auge um $-1,87 \pm 3,34\%$. Beide Differenzen waren im Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben hochsignifikant (Tabelle 7).

	Rot _{SiÖl}	Rot _{Wasser}	Grün _{SiÖl}	Grün _{Wasser}
Mittelwert	-3,39%	-1,01%	-4,47%	-2,6%
Standardabweichung	3,28%	3,1%	3,36%	3,49%

Tabelle 5. Aniseikonie-Mittelwerte und Standardabweichung der pseudophaken Silikonöl- bzw. Wasser-gefüllten Augen jeweils mit Rot- bzw. Grünlas vor dem OP-Auge.

Effekt	p-Wert
Rot/Grün	<0,0001
SiÖl/Wasser	<0,0001
Interaktion(Farbe-Glaskörperfüllung)	0,51

Tabelle 6. Analyse des Effektes von Glasfarbe und Glaskörperfüllung auf die Aniseikonie.

Differenz	n	Mittelwert	Standardabweichung	p-Wert
		[%]	[%]	
Rot _{SiÖl} – Rot _{Wasser}	32	-2,38	3,16	<0,005
Grün _{SiÖl} - Grün _{Wasser}	32	-1,87	3,34	<0,005

Tabelle 7. Aniseikoniedifferenz von Silikonöl zu Wasser mit Rot- bzw. Grünlas vor dem OP-Auge.

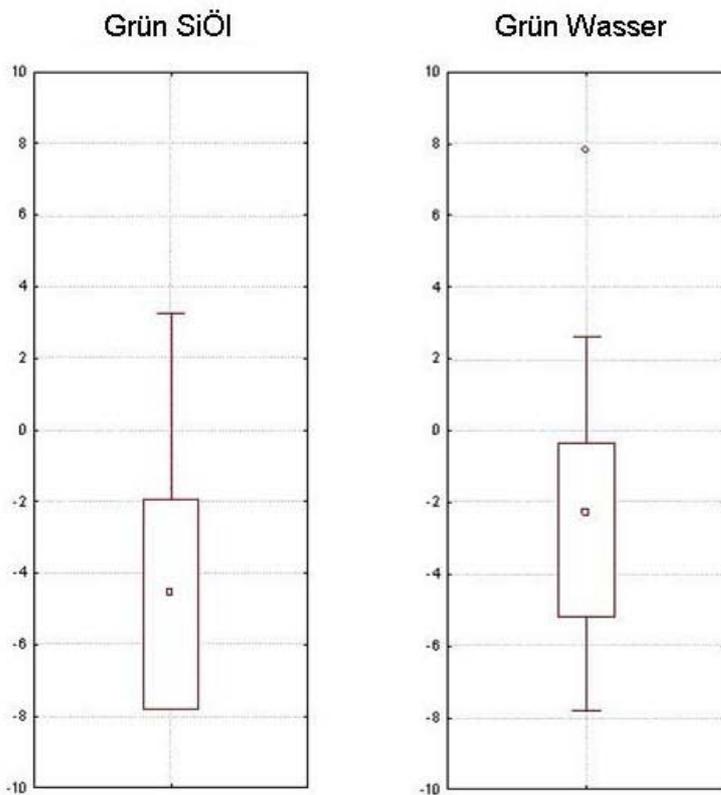
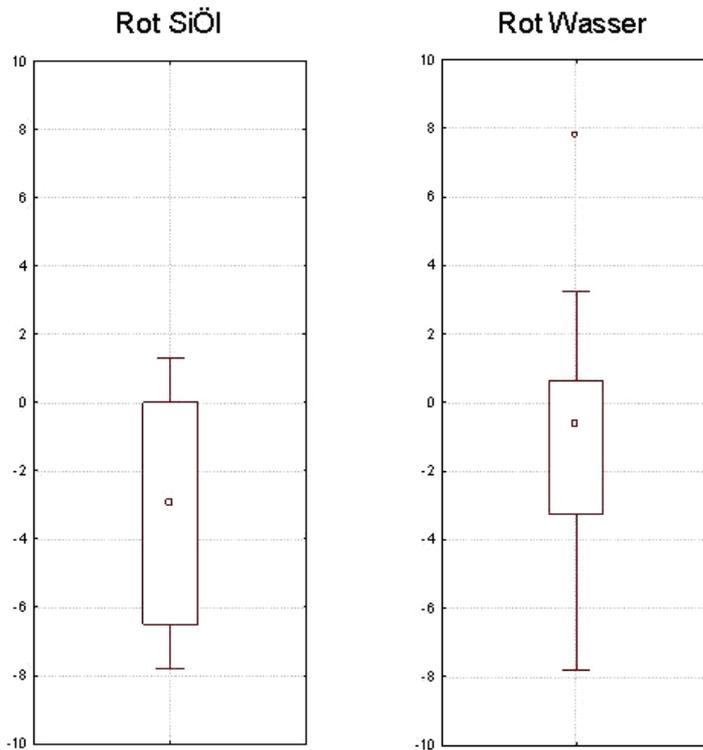


Diagramm 5. Box-Plot-Darstellung der Aniseikonie (in %); angegeben sind die Farbe des Glases vor dem operierten Auge und die Glaskörperfüllung.

Median
 25%-75%
 Bereich ohne Ausreißer
 Ausreißer

4.6. Intraoperative Daten

Phakoemulsifikation und Linsenimplantation erfolgten bei allen Patienten über einen corneo-skleralen Tunnel, der in 40 Augen zwischen 11 und 12 Uhr präpariert wurde. In einem Auge mit höherem Hornhaut-Astigmatismus wurde der Tunnel zur Astigmatismuskorrektur bei 9 Uhr angelegt.

Nach der Phakoemulsifikation fand in 38 Fällen eine Kapselpolitur statt, in einem Fall konnte diese aufgrund einer Kapselruptur nur unvollständig durchgeführt werden. In zwei Fällen enthält der Op-Bericht keine diesbezüglichen Angaben.

In 32 Augen (78%) gelang die Kapselsack-Implantation mit Kapselausschneidung und Knopflochaufhängung der Optik in der hinteren Kapsel unkompliziert. Bei einem Auge ließ sich die Linse zwar in den Kapselsack implantieren, der Operateur verzichtete aber aufgrund eines Anrisses der hinteren Kapsel auf die Knopflochaufhängung (Diagramm 6), um nicht eine Linsenluxation in den Glaskörperraum zu riskieren. In 8 Augen (20%) wurde die Kunstlinse aufgrund eines hinteren Kapselrisses in den Sulcus ciliaris implantiert. 7 dieser Linsen wurden unkompliziert in die vordere Kapsulorhexis eingehängt. Bei einem Auge riss auch die vordere Kapsel radiär nach außen auf (Patient Nr. 28). Da hier das Risiko einer Linsenluxation in den Glaskörperraum nicht einzuschätzen war, wurde zunächst ganz von einer Knopflochaufhängung abgesehen (Abbildung 12a), um die postoperative Verklebung der Kapselblätter abzuwarten.

Unter den 8 Fällen mit Kapselruptur war also bei 7 Augen die hintere Kapsel betroffen. Der Hinterkapselriss entstand in 5 Augen bei der Ausschneidung mit dem Vitrektomiegerät. Als Risikofaktoren erwiesen sich hier eine zu große Saugöffnung des Vitrektoms und mangelnde Schnittschärfe des Gerätes. Die beiden übrigen Einrisse der Hinterkapsel entstanden beim Durchstecken der IOL-Optik durch eine zu klein angelegte Kapselöffnung.

In beiden genannten Fällen ohne primäre Knopflochaufhängung wurde eine einwandfreie Zentrierung der Linse durch nachträgliche Aufhängung in den verklebten Kapselblättern bei der Silikonölenfernung (geplante Zweitoperation) erreicht (Abbildung 12b).

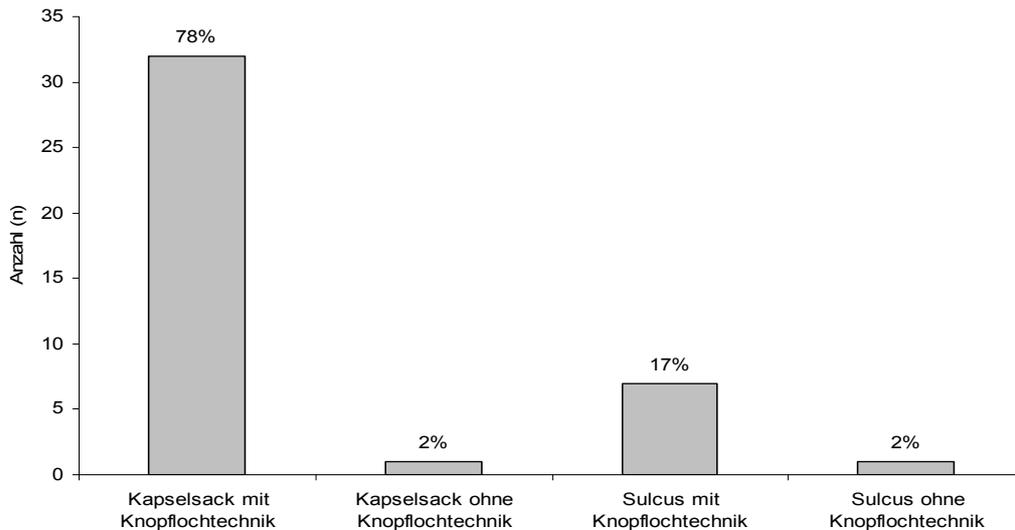


Diagramm 6. Häufigkeit des Implantationsortes der IOL mit/ohne Durchführung der Knopflochtechnik in der Erstoperation

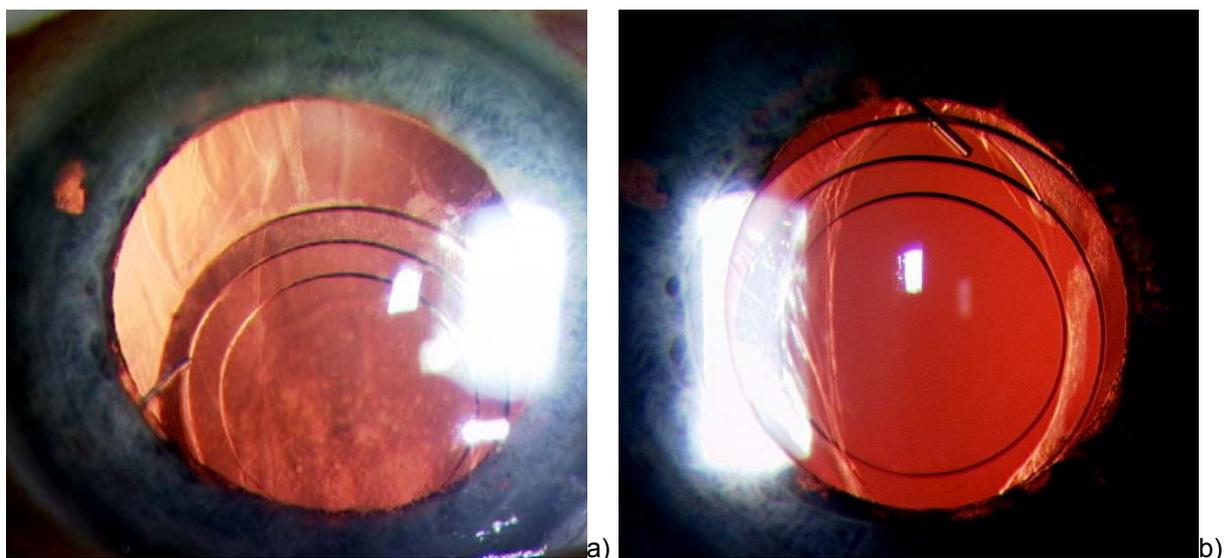


Abbildung 12. a) Nach unten subluzierte IOL nach der Erstoperation. b) Zentrierte IOL mit Knopfloch nach der Zweitoperation (ÖI-Explantation) im selben Auge.

Bei 13 Augen (32%) erwies sich der Glaskörper bei der Erstoperation als spontan vollständig abgehoben. Bei 27 Augen (66%) lag er noch an. Hier wurde die hintere Glaskörperabhebung chirurgisch herbeigeführt. Ein Auge (2%) war bereits früher vitrektomiert worden und hatte deshalb keinen Glaskörper mehr.

Insgesamt war bei 32 Augen (78%) eine epiretinale Membran erkennbar, die durch *membrane peeling* entfernt wurde. In 14 Fällen davon wurde die in diesem Zusammenhang angewandte Anfärbung mit ICG weiter benutzt, um zusätzlich die ILM abziehen. In einem Fall gelang das ILM-peeling nicht problemlos und wurde abgebrochen, da das Risiko einer Netzhautverletzung zu hoch erschien.

Während des ersten Eingriffs wurden in 5 Fällen (12%) periphere Netzhautforamina entdeckt, wovon drei mit Kryokoagulation und zwei mit Endolaser behandelt wurden.

4.7. Komplikationen

Intraoperativ kam es in 9 Fällen (22%) zum Hinterkapseleinriss (Einzelheiten und Ursache siehe 4.2.). In einem Fall war eine IOL-Subluxation die Folge (Pat. Nr. 28), die jedoch im Rahmen der Zweitoperation behoben werden konnte.

Am Ende der Vitrektomie wurde die Netzhautperipherie nach Foramina abgesucht, dabei wurden bei 5 Patienten Foramina festgestellt und in derselben Sitzung mit Kryokoagulation oder Endolaserkoagulation behandelt.

Am Folgetag des Ersteingriffs fielen bei insgesamt 24 Augen (59%) intraretinale Blutungen (Abbildung 13) unterschiedlichen Ausmaßes auf von vereinzelt Punktblutungen bis zu ausgedehnten Fleckblutungen. In allen Fällen waren diese Blutungen bis zur Abschlussuntersuchung vollständig resorbiert. Da hauptsächlich die Netzhaut-Peripherie betroffen war, erscheint ein Zusammenhang mit einer iatrogenen hinteren Glaskörperabhebung möglich. Diese Hypothese wurde anhand einer Vier-Feldertafel mittels χ^2 -Test geprüft (Tabelle 8). Bei einem p-Wert von 0,90 ist kein Zusammenhang zwischen der Glaskörperabhebung und den Blutungen nachweisbar. Hinzu kam die Tatsache, dass bei dem bereits vitrektomierten Patienten Nr. 29 ebenfalls Punktblutungen auftraten.

Nach der Silikonöl-Implantation bei der Erstoperation waren dadurch verursachte Erhöhungen der Augeninnendrucke zu beobachten. Hier war in 6 Fällen (15%) eine Lokaltherapie bei Druckwerten von > 30mmHg bis zur Entlassung erforderlich. In weiteren 3 Fällen (7%) musste eine Lokaltherapie bis zur Silikonölenfernung verordnet werden. In allen Fällen senkte die Lokaltherapie den Augeninnendruck ausreichend. Nach der Silikonölenfernung war kein Sekundärglaukom zu beobachten.

Andere mit Vitrektomie oder Silikonöl assoziierte Komplikationen wie Keratopathie, Endophthalmitis, proliferative Vitreoretinopathie und Amotio retinae traten bis zur letzten Kontrolluntersuchung in keinem Fall auf.

	Keine Gk-Abhebung durchgeführt	Gk-Abhebung durchgeführt	Zeilen Gesamt
Keine Blutung			
Anzahl	6	11	17
Prozent von Gesamt	15%	27%	41%
Blutung			
Anzahl	8	16	24
Prozent von Gesamt	20%	39%	59%
Spalten Gesamt	14	27	41
Prozent von Gesamt	34%	66%	100%

Tabelle 8. Vier-Feldertafel zur Darstellung der Verteilung zwischen der Durchführung einer hinteren Glaskörpergrenzmembranabhebung und postoperativ auftretenden intraretinalen Blutungen.



Abbildung 13. Intraretinale Blutungen in der mittleren Peripherie der Netzhaut nach der Erstoperation.

4.8. Funktionelles und anatomisches Ergebnis

Visus

Der präoperative Visus betrug im Median 0,2. Im Rahmen der Kontrolluntersuchungen je ca. 6 Wochen nach der Erst- und Zweitoperation lag der Visus im Median bei 0,32 (Tabelle 9). Der Visus des Patienten Nr. 28 wurden nach der Erstoperation wegen der IOL-Subluxation und der Visus des Patienten Nr. 8 wegen des Makulaforamenrezidivs bei der postoperativen Untersuchung nach der Ölentfernung nicht berücksichtigt

Visus	n	Median	Minimum	Maximum
präoperativ	41	0,2	0,08	0,63
6 Wo nach Erstoperation	40	0,32	0,1	0,63
6 Wo nach Zweitoperation	40	0,32	0,1	0,8

Tabelle 9. Visusentwicklung nach Erst- und Zweitoperation.

Verschluss des Makulaforamens

Der primäre anatomische Verschluss des Makulaforamens wurde in 41 Fällen (100%) erreicht. Der Nachweis wurde sowohl funduskopisch als auch mittels OCT nach der Erst- und Zweitoperation geführt. Lediglich in einem Fall (Pat. Nr. 8) war eine Revisionsoperation 3 Wochen nach der Ölentfernung aufgrund eines Rezidivs notwendig.

Subjektive Beschwerden

In 18 Fällen (44%) nach der Erstoperation und 15 Fällen (37%) nach der Zweitoperation gaben Patienten intraokulare Lichtreflexionen an, die in Form von hellen Halbkreisen oder Sicheln vorwiegend bei Dämmerung wahrgenommen wurden (Diagramm 7). Sowohl unter Silikonöl als auch unter Wasser wurden in je 4 (10%) Fällen Halos um Punktlichtquellen beschrieben. Während bei Silikonöl 3 Fälle (7%) von Blendung vorkamen, reduzierte sich die Zahl nach der Ölentfernung auf null. Zu keinem Zeitpunkt wurden Doppelbilder oder Bildgrößenunterschiede angegeben.

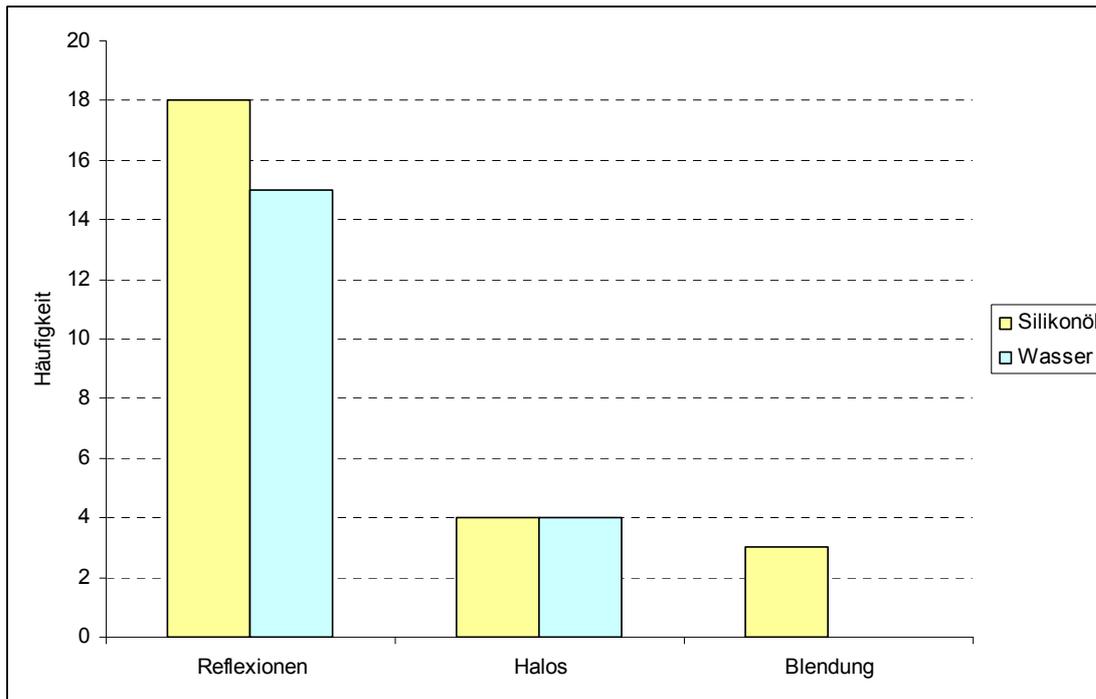


Diagramm 7. Subjektive Beschwerden: Reflexionen, Halos und Blendung bei n=40 unter Silikonöl- bzw. Wasserfüllung des Glaskörperaumes.

Sitz der Intraokularlinse

Bei der 6-Wochen-Kontrolluntersuchung nach der Erstopoperation befand sich die IOL in 33 Fällen im Kapselsack. Darunter lag in einem Fall keine Knopflochsituation vor. In einem weiteren Fall war die Linsenposition wegen schlecht erweiterbarer Pupille nicht sicher beurteilbar. In den übrigen 8 Fällen befand sich die IOL im Sulcus. Zwei Linsen waren nicht durch die vordere Kapselöffnung gesteckt, wobei eine Linse deutlich dezentriert war (Pat. Nr. 28).

Im Rahmen der Ölentfernung konnte die Knopflochtechnik in den fehlerhaften Fällen nachgeholt und die Subluxation bei Pat. Nr. 28 behoben werden, so dass schließlich 33 Linsen (80%) im Kapselsack und 8 Linsen (20%) im Sulcus saßen; alle mit Knopflochaufhängung und guter Zentrierung.

Linsenbeschläge

Im Rahmen der Kontrolluntersuchung während der Zeit der Silikonöltamponade fiel bei 4 Intraokularlinsen eine Betauung der Linsenrückfläche auf. Zwischen Linse und Silikonöl waren kleine Wassertröpfchen eingefangen (Abbildung 14a). Nach der Silikonölentfernung war in allen 4 Fällen keine Auffälligkeit an der Linsenrückfläche zu beobachten (Abbildung 14b). Allerdings traten bei einem dieser Patienten

vereinzelte Fremdkörperriesenzellen auf der Linsenvorderfläche auf, die auf einen protrahierten intraokularen Reizzustand zurückzuführen waren.

Nach Öl-Explantation wurden bei einem Patienten kleinste Silikonölbläschen auf der Linsenrückfläche festgestellt, die aber keine Beschwerden verursachten.

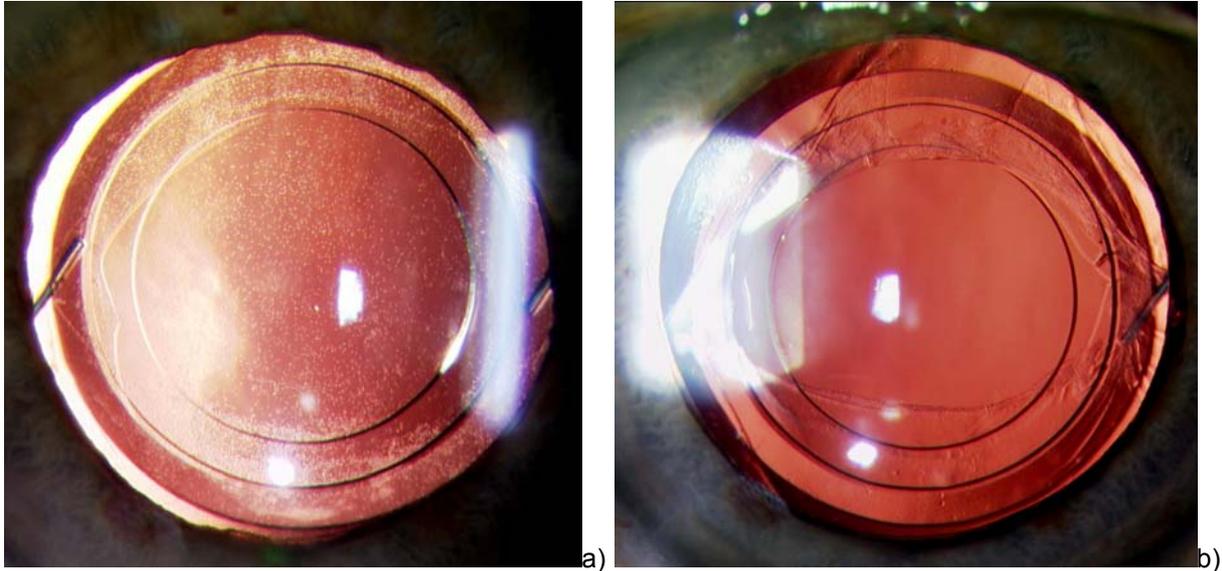


Abbildung 14. a) Betauung der Linsenrückfläche, kleine Wassertröpfchen zwischen IOL und Silikonöl. b) Saubere Linsenrückfläche nach der Silikonölentfernung bei derselben IOL.

Silikonölfüllung und Ölkontakt

Inwieweit das Ziel der 100%igen Füllung des Glaskörperaumes mit Silikonöl erreicht wurde, konnte anhand des sichtbaren Wassermeniskus bei der Funduskopie abgeschätzt werden. In 22% der Fälle (9 Augen) konnte eine 100%ige Silikonölfüllung aufgrund eines fehlenden Wassermeniskus angenommen werden. In 73% der Fälle konnte ein Wassermeniskus festgestellt werden; unter diesen wurden in 60% der Fälle Newton-Ringe gesehen. Insgesamt wurden bei 23 Augen (56%) Newton-Ringe beobachtet. Die Qualität der Skiaskopie-Reflexe wurde in 20 Fällen (49%) als gut und in 14 Fällen (34%) als schlecht angegeben. Bei 7 Fällen (17%) konnte keine eindeutige Zuordnung erfolgen. Die genaue Verteilung der Newton-Ringe und der guten Qualität der Skiaskopie-Reflexe bei unterschiedlichem Füllungsgrad der Augen mit Silikonöl ist im Diagramm 8 dargestellt.

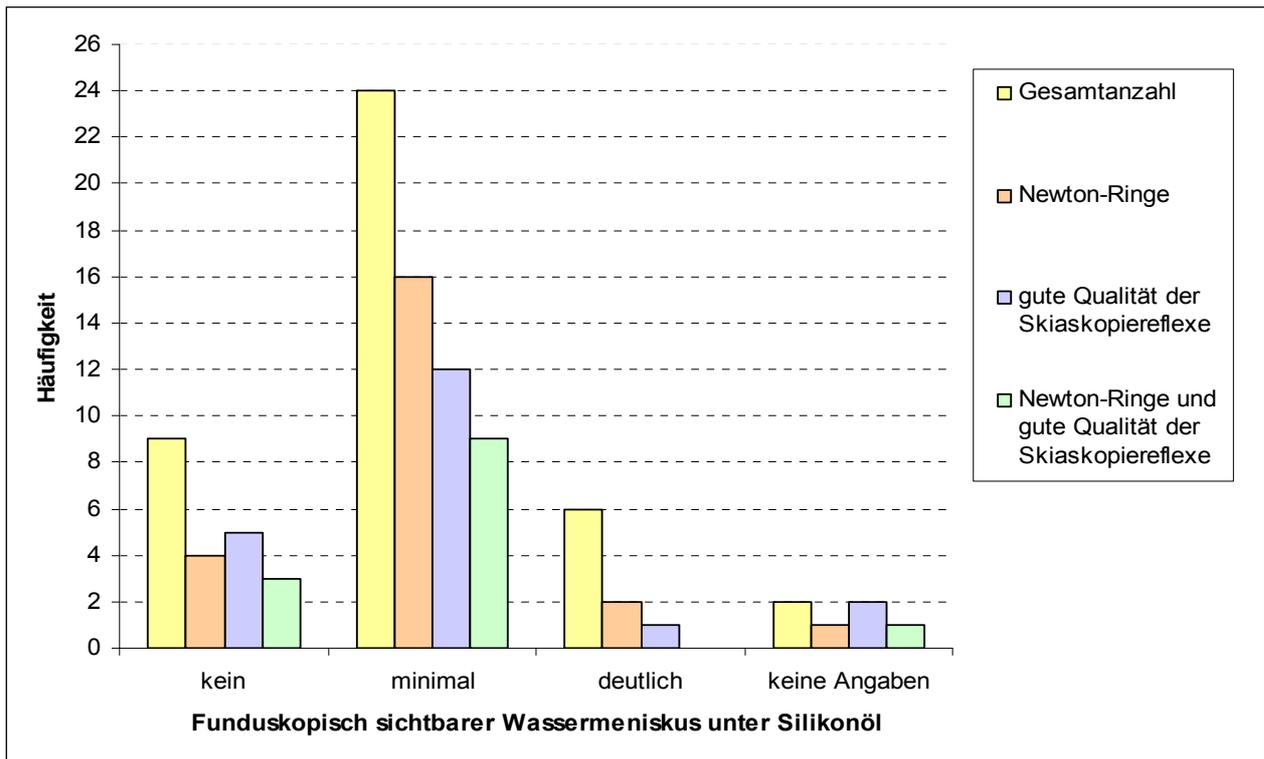


Diagramm 8. Häufigkeiten der Beobachtung von Newton-Ringen und guter Qualität der Skiaskopiereflexe bei unterschiedlichem Silikonölfüllungsgrad (als funduskopisch unterschiedlich sichtbarer Wassermeniskus angegeben).

5. Diskussion

5.1. Patientenkollektiv

Die Geschlechterverteilung der in diese Studie aufgenommenen Patienten (55% Frauen und 45% Männer) ist leicht asymmetrisch zugunsten der Frauen. In der Literatur wird mit einem Frauenanteil von ca. 70% eine stärkere Asymmetrie beschrieben (The Eye Disease Case-Control Study Group 1994), wobei die Ursache des höheren Makulaforamen-Risikos der Frauen bisher noch ungeklärt ist.

Das Risiko, am Partnerauge innerhalb von 5 Jahren ebenfalls zu erkranken, liegt laut einer Metaanalyse der Literatur im Bereich von 5-10% (Ezra 2001). Der mittlere Nachbeobachtungszeitraum der vorliegenden Studie betrug etwa vier Monate; ein zu kurzer Zeitraum um diesbezüglich eine Aussage zu treffen. Allerdings waren 8% der Patienten bei der Erstvorstellung bereits an beiden Augen erkrankt. Aaberg und Mitarbeiter berichteten mit 7% über einen ähnlichen Anteil beiderseits betroffener Patienten bei der Erstvorstellung (Aaberg et al. 1970).

Während das Makulaforamen im Alter von unter 55 Jahren selten auftritt, liegt das Haupterkrankungsalter zwischen 65 und 74 Jahren, was unseren Daten (zwischen 57 und 80 Jahren) entspricht (The Eye Disease Case-Control Study Group 1994).

5.2. Refraktion

Die vorliegende Arbeit und klinische Anwendung der IOL Acri. Lyc 59 RET® erfüllt die Erwartung der oben ausgeführten theoretischen Überlegungen, dass die untersuchte IOL dieselbe Brechkraft in Kontakt mit Wasser und Silikonöl aufweist. Der tatsächlich gemessene Refraktionsunterschied von 0,22dpt zwischen Wasser und Silikonöl bei einer Pseudophakie mit Acri. Lyc 59 RET® ist klinisch nicht relevant. Die sonst zu erwartende Myopisierung von 5 bis 6dpt nach Silikonölentfernung bleibt aus. Es liegen bisher weder Veröffentlichungen zur Acri. Lyc 59 RET® noch zu einer anderen IOL vor, die o.g. Erwartung erfüllt.

Die Hyperopisierung nach Silikonöltamponade bzw. Myopisierung nach Silikonölentfernung entweder in phaken Augen oder in mit üblichen IOL pseudophaken Augen ist bereits beschrieben (Hotta & Sugitani 2005, Stefansson et al. 1988). Dabei sind Refraktionsänderungen um 6dpt je nach Krümmung der Linsenrückfläche zu erwarten. Acri. Lyc 59 RET® ist die erste Intraokularlinse, die eine stabile Refraktion trotz Silikonöltamponade ermöglicht.

Die systematische Abweichung der Refraktion unter Wasser von der berechneten Zielrefraktion wird unter 5.4 diskutiert.

5.3. Vorderkammertiefe

Um eine bestimmte Refraktion nach IOL-Implantation zu erreichen, muss zunächst mittels statistischer oder geometrisch-optischer Formeln die Brechkraft der zu implantierende IOL berechnet werden. Während statistische Formeln die A-Konstante (für jede IOL vom Hersteller angegeben) nutzen, stützen sich geometrisch-optische Formeln auf die präoperative Schätzung der postoperativen pseudophaken Vorderkammertiefe. Da die hier untersuchte IOL erstmalig zum Einsatz kam, lagen weder A-Konstante noch Erfahrungswerte für die postoperative Vorderkammertiefe vor.

Genée (Genée 2004) zeigte für die Intraokularlinse Acrysof® der Fa. Alcon in seiner Arbeit, dass mit der sog. „1/3-Formel“ (pseudophake Vorderkammertiefe $C = \text{präop. Vorderkammertiefe} + 1/3 \text{ Linsendicke}$) kombiniert mit der Binkhorst-Formel der geringste Fehler für die Linsenberechnung auftrat. Also wurde für die Acri. Lyc 59 RET® dieselbe Berechnungsmethode gewählt, um einen Anhalt für die zu implantierende Linsenstärke zu haben.

Mit der 1/3-Formel wurde die postoperative Vorderkammer um 0,22mm signifikant tiefer geschätzt, als tatsächlich gemessen. Inwieweit dies Einfluss auf die Refraktion hat und welche A-Konstante sich ableiten lässt, wird unter 5.4 diskutiert.

Wie tief die IOL sitzt, hängt u. a. von der Geometrie der Linse ab. Was zusätzlich beachtet werden muss ist, dass hier die IOL nicht wie üblich nur in den Kapselsack implantiert wurde, sondern zusätzlich die Optik durch die hintere Kapsulorhexis gesteckt wurde. Bisherige Arbeiten zeigen, dass kapselsackgestützte Kunstlinsen mit Knopflochaufhängung um ca. 0,7mm weiter posterior sitzen als Kunstlinsen ohne Knopflochaufhängung (Menapace 2008, Stifter et al. 2008). D.h. man würde bei reiner kapselsackgestützter Implantation der Acri. Lyc 59 RET® ohne Knopfloch eine noch flacherere Vorderkammertiefe erwarten, als in dieser Arbeit postoperativ gemessen.

Normalerweise flacht die VK nach kapselsack-gestützter IOL-Implantation ohne Knopflochtechnik innerhalb der ersten vier Wochen aufgrund einer Kapselschrumpfung ab. Je nach IOL-Typ ist auch eine Verschiebung nach posterior möglich.

Neueste Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Knopflochtechnik die Vorderkammertiefe sich postoperativ kaum (etwa 0,1mm nach posterior in den ersten vier Wochen) ändert (Stifter et al. 2008). Deshalb ist davon auszugehen, dass der Unterschied der Vorderkammertiefen zwischen Öl- bzw. Wasser-gefüllten Augen nicht auf Kapselsack-bedingte Veränderungen beruht. Vermutlich wird durch den Auftrieb der Silikonölblase (Petersen 1989) die IOL nach anterior gedrückt und damit die Vorderkammer etwas abflacht. Nach Silikonölenfernung entfällt der Druck von posterior und die Vorderkammer vertieft sich wieder. Im Mittel wurde eine Vertiefung der Vorderkammer von 0,24mm nach Silikonölenfernung gemessen. Der Einfluss dieser Verschiebung auf die Refraktion wird unter 5.4 diskutiert.

5.4. Einflussfaktoren auf die Refraktion

Refraktionsabweichung von der Zielrefraktion

Bei dem untersuchten Patientenkollektiv war die gemessene postoperative Refraktion unter Wasser im Mittel 1,61dpt myoper als die Zielrefraktion. Wie unter 4.4 erläutert können die postoperative Änderung der Hornhautbrechkraft und der Schätzfehler der postoperativen Vorderkammer gemeinsam eine Myopie von 0,65dpt erklären. Die restliche Refraktionsabweichung von 0,96dpt bleibt noch ungeklärt.

Ursache der fehlerhaften Refraktionsvorhersage ist die Meniskusform der IOL Acri. Lyc 59 RET®. Die sog. 1/3-Formel zur Abschätzung der postoperativen Vorderkammertiefe wurde für die symmetrisch bikonvexe Acrysof® als gültig befunden. VK-Tiefe bedeutet jedoch in den geometrisch-optischen Formeln genau den Abstand zwischen Hornhaut und Hauptebene der Kunstlinse. Dieser ist aber verschieden von der Ultraschalltiefe, die jeweils nur bis zu Linsenvorderfläche reicht. Bei Bikonvexlinsen liegen die Hauptebenen in der Linsenmitte, bei Meniskuslinse aber an der Linsenvorderfläche. Die Linsendicke der Acri. Lyc 59 RET® ist abhängig von der Linsenbrechkraft und liegt im mittleren Bereich bei etwa 1mm, d.h. dass die Distanz zwischen der Linsenvorderfläche und Linsenmitte etwa 0,5mm beträgt.

Wie unter 4.4 dargestellt bedeutet eine Verschiebung einer IOL um 1mm eine Veränderung der Refraktion um 9% ihrer Brechkraft. In der vorliegenden Studie lag der Mittelwert der implantierten IOL bei 21dpt. Da sich die Hauptebene bei der Meniskuslinse um etwa 0,5mm weiter anterior befindet, würde dies bei unserem Patientenkollektiv eine Myopie von 0,95dpt ($0,5 \cdot 0,09 \cdot 21$ dpt) erklären. Dies entspricht

genau der noch zu erklärenden myopen Abweichung von der Zielrefraktion von 0,96dpt (Diagramm 4).

Berechnungsformel für Acri. Lyc 59 RET®

Nun muss auf Basis der Messergebnisse und theoretischen Überlegungen die Formel für die Abschätzung der postoperativen Vorderkammertiefe und damit auch die Berechnung der zu implantierenden IOL-Brechkraft angepasst werden.

Die Firma Acri.Tec, die die Acri. Lyc 59 RET® vertreibt, gibt eine ACD-Konstante von 5,14mm bzw. A-Konstante von 118,3 an. Dieser Wert ist anhand unserer Ergebnisse zu überprüfen.

Die Umrechnungsformel zwischen ACD- und A-Konstante lautet (Retzlaff et al. 1990): $A\text{-Konstante} = (ACD + 68,747) / 0,62467$

In unserem Patientenkollektiv betrug die postoperativ gemessene US-Vorderkammertiefe 4,47mm, das ergibt eine A-Konstante von 117,2. Dieser Wert entspricht aber nicht der Realität, denn die tatsächlich postoperativ erzielte Refraktion war zu myop. D.h. die VKT-Abschätzungsformel muss angepasst werden:

1/3-Formel (gültig für Acysof®-IOL): $VKT_{\text{postop}} = VKT_{\text{präop}} + 1/3 \text{ Linsendicke}$

Der Faktor 1/3 für die Linsendicke ist IOL-spezifisch und muss für die Acri. Lyc 59 RET® angepasst werden. Da die Hauptebene der Meniskuslinse etwa 0,5mm vor der Hauptebene der bikonvexen IOL liegt, wird dieser Betrag ebenfalls abgezogen. Daraus ergibt sich zunächst folgende Formel:

Acri. Lyc 59 RET®-Formel: $VKT_{\text{postop}} = VKT_{\text{präop}} + X * \text{Linsendicke} - 0,5\text{mm}$

Nun gilt es, den Faktor X zu bestimmen. Dazu werden verschiedene Werte für X eingesetzt (z.B. 0,25; 0,2 usw.) und die postoperative VKT für jeden Patienten neu berechnet. Anschließend wird über die Binkhorst-Formel (Binkhorst 1979) mit der neu berechneten Vorderkammer die erwartete Refraktion mit der tatsächlich implantierten IOL-Brechkraft berechnet und mit der realen postoperativen Refraktion verglichen. Demnach kann mit folgender Formel die reale postoperative Refraktion am besten vorhergesagt werden:

Acri. Lyc 59 RET®-Formel: $VKT_{\text{postop}} = VKT_{\text{präop}} + 1/5 * \text{Linsendicke} - 0,5\text{mm}$

Mit dieser Formel liegt die Abweichung zwischen erwarteter und realer postoperativer Refraktion bei 0,02dpt +/- 1,05dpt. Die präoperativ abgeschätzte pseudophake VKT beträgt im Mittel 3,55mm +/- 0,33mm. Daraus ergibt sich eine A-Konstante von 115,7.

Es sei noch erwähnt, dass statistische Formeln obsolet und geometrisch-optische Formeln deutlich überlegen sind. Dennoch wird aus historischen Gründen die A-Konstante vom Linsenhersteller noch angegeben.

Refraktionsänderung nach Öl-Entfernung

Eine Verschiebung der IOL um einen mm nach posterior würde eine Hyperopisierung um 9% der implantierten IOL-Brechkraft bedeuten. Der Mittelwert der in dieser Studie implantierten IOL betrug 21,0dpt, d.h., man würde hier im Mittel eine Hyperopisierung von 0,45dpt nach Silikonölenentfernung erwarten. Zusammen mit der postoperativen Brechkraftzunahme der Hornhaut, d.h. Myopisierung von ca. 0,21dpt, wäre eine Gesamthyperopisierung von 0,24dpt zu erwarten, was der tatsächlich gemessenen Hyperopisierung von 0,22dpt etwa entspricht. Die Hyperopisierung ist aber mit einem p-Wert von 0,07 gerade nicht signifikant und aus praktisch-klinischer Warte nicht relevant.

5.5. Aniseikonie

Verschiedene Faktoren können eine Aniseikonie verursachen, dazu zählen u. a. die Refraktion, Bulbuslänge, der Abstand der Korrektur zum Auge, Linsensitz und -design, die Glaskörpertamponade und die Farbe der vorgesetzten Gläser bei der Messung der Aniseikonie.

Im Folgenden wird die Rolle einiger der o. g. Faktoren bei der Entstehung der Aniseikonie, die im Rahmen dieser Untersuchungen gemessen wurden (siehe 4.5, S. 45ff), soweit theoretisch möglich analysiert. Hierbei handelt es sich um eine semiquantitative Analyse der gemessenen Aniseikonie.

Anisometropie-Effekt

Die Linsenberechnungen zielten im Mittel auf Isometropie, d.h. gleiche Refraktion an beiden Augen. Das operierte Auge hatte aber tatsächlich im Mittel eine Myopie von 1,62dpt unter Öl bzw. 1,40dpt unter Wasser. Der Mittelwert der Refraktion am Partner-Auge betrug +0,11dpt, also eine diskrete Hyperopie.

Der Abstand des Brillenglases zum Auge bzw. Hornhaut wird auch Hornhaut-Scheitelabstand (HHS) genannt und liegt in der Regel zwischen 14 und 16mm. In der folgenden Berechnung wird ein HHS von 15mm zugrunde gelegt.

Um zu berechnen, welchen Vergrößerung bzw. Verkleinerungseffekt eine Brille im Abstand von 15mm zum Auge verursacht, wird das Prinzip des Galilei-Fernrohrs herangezogen, welches aus einer Sammell- und einer Streulinse besteht.

Berechnung für OP-Auge mit Silikonöl

Der Mittelwert der Brillenstärke für die operierten Augen mit Silikonöltamponade betrug -1,62dpt. Die erste Überlegung ist nun: Mit welcher Kontaktlinse kann man an einem emmetropen Auge eine Brillenrefraktion von -1,62dpt produzieren? Mit folgender Formel wird zunächst die Brillenrefraktion in die Refraktion auf Hornhautebene (Kontaktlinse) umgerechnet: $P_2 = 1 / (1/P_1 - HHS)$

$P_1 = \text{Brillenstärke} = -1,62\text{dpt}$

$HHS = \text{Hornhaut-Scheitelabstand} = 0,015\text{m}$

$P_2 = \text{Kontaktlinsenstärke}$

$$P_2 = 1 / (1/P_1 - HHS) = 1 / (1/-1,62 - 0,015) = - 1,58\text{dpt}$$

Die Brille von -1,62dpt kann durch eine Kontaktlinse von -1,58dpt ersetzt werden.

Umgekehrt bedeutet dies aber auch, dass am emmetropen Auge durch eine „überzählige“ Kontaktlinse auf der Hornhaut von +1,58dpt eine Myopie simulierbar ist, die durch ein Brillenglas von -1,62dpt 15mm vor dem Auge exakt korrigiert wird. Durch die Sammellinse auf der Hornhaut und Streulinse in der Brille entsteht eine Galilei-Fernrohr mit der Vergrößerung von:

$$V = P_2 / P_1 = 0,975$$

Dies entspricht einer Mikropsie von 2,5%. Mit anderen Worten, eine Brille von -1,62 dpt mit einem HHS von 15mm verursacht eine Mikropsie von 2,5%. Die pseudophaken Silikonöl-gefüllten Augen zeigten mit -3,9% (Mittelwert zwischen Rot- und Grünlas) eine stärkere Mikropsie als allein durch die myope Refraktion erwartet.

Berechnung für OP-Auge mit Wasser

Die Myopie der pseudophaken Wasser-gefüllten Augen lag im Mittel bei -1,40dpt.

Die Berechnung der Bildverkleinerung verursacht durch diese Myopie wird wie oben bereits dargestellt durchgeführt:

$$P_2 = 1 / (1/P_1 - HHS) = 1 / (1/-1,40 - 0,015) = - 1,37 \text{ dpt}$$

$$V = P_2 / P_1 = 0,979$$

Die Brillenstärke von -1,40dpt erklärt eine Mikropsie von 2,1%. Hier ist eine gute Übereinstimmung zum gemessenen Wert von 1,8% (Aniseikonie-Mittelwert der pseudophaken Wasser-gefüllten Augen mit Rot- und Grünglas), so ist davon auszugehen, dass die Mikropsie in den Wasser-gefüllten Augen hauptsächlich durch die Fehlrefraktion bedingt ist.

Berechnung für nicht operiertes Partner-Auge

Die durchschnittliche Refraktion des nicht operierten Partner-Auges lag bei +0,11dpt.

$$P_2 = 1 / (1/P_1 - HHS) = 1 / (1/ 0,11 - 0,015) = 0,11\text{dpt}$$

$$V = P_2 / P_1 = 1,0$$

Demnach führt eine vernachlässigbare Hyperopie von 0,11dpt auch zu keinerlei Makropsie. Damit ist die Refraktion des nicht operierten Auges für die Bewertung der Aniseikonie irrelevant.

Berechnung Silikonöl-Wasser-Effekt

Wie unter 1.3.5 (S. 21f) erläutert wird bei Acri. Lyc 59 RET®-pseudophaken Augen theoretisch eine Mikropsie von 4,7% unter Silikonöl im Vergleich zu Wasser erwartet. Der tatsächlich gemessene Bildgrößenunterschied (Tabelle 7) zwischen Silikonöl und Wasser gemittelt über beide Gläser (Rot- und Grünglas) betrug jedoch nur 2,1%.

$$[(2,38 + 1,87) / 2] = 2,1\% \text{ Mikropsie}$$

Das ist erfreulicherweise deutlich geringer als erwartet. Es ist jedoch nicht allein durch die geringe Refraktionsverschiebung zwischen Silikonöl und Wasser von 0,22dpt zu erklären.

Berechnung Rot-Grün-Effekt

Der Brechungsindex im Auge variiert mit der Wellenlänge und ist für Rot bzw. Grün leicht verschieden (Dispersion). In Ermangelung genauer Werte für die Wellenlängen

der benutzten Filter bzw. der Dispersionswerte für die Augenmedien ist nur eine Plausibilitätsabschätzung möglich.

Rot hat die längere Wellenlänge als Grün, der Brechungsindex für Rot ist geringer als der für Grün (sogenannte normale Dispersion). Daher ist das rote Bild auf der Netzhaut größer (geringere Makropsie) als das Grüne. Dies wird qualitativ in den Messungen bestätigt:

$$\text{Rot}_{\text{SiÖI}} - \text{Grün}_{\text{SiÖI}} = -3,38\% - (-4,47\%) = 1,09\%$$

$$\text{Rot}_{\text{Wasser}} - \text{Grün}_{\text{Wasser}} = -1,01\% - (-2,6\%) = 1,59\%$$

Zur semiquantitativen Auswertung:

Aus der Literatur sind folgende Werte bekannt, um die Makropsie von Rot zu Grün unter Wasser abzuschätzen (Weast 1983-84):

Brechungsindex von Wasser gegen Luft bei 30°C:

$$\lambda_{\text{Grün}} = 546 \text{ nm} \quad n_{\text{Grün}} = 1,3334$$

$$\lambda_{\text{Rot}} = 656 \text{ nm} \quad n_{\text{Rot}} = 1,3301$$

λ = Wellenlänge

n = Brechungsindex

$$\text{Daraus folgt ein Vergrößerungsfaktor von } V = n_{\text{Rot}} / n_{\text{Grün}} = 1,3301 / 1,3334 = 0,9975$$

Damit ist eine Makropsie von 0,25% von Rot zu Grün unter Wasser zu erwarten. Gemessen wurde allerdings mit 1,59% unter Wasser ein deutlich größerer Bildgrößenunterschied zwischen Rot und Grün. Möglicherweise spielen hier noch die retinale und zentrale Verarbeitung unterschiedlicher Farben und die Dispersion der Intraokularlinse eine größere Rolle. Wegen fehlender Werte der Brechungsindices der IOL bei verschiedenen Wellenlängen kann letztere nicht abgeschätzt werden.

Limitation der Aniseikonie-Ergebnisse

Es sei nochmals erwähnt, dass die hier gewählte Aniseikonie-Messmethode keine sehr sichere Methode ist und größeren Schwankungen unterlegen. Aus diesem Grund konnten bei nur 32 Patienten verwertbare Werte erhoben werden. Durch die reduzierte Sehschärfe der Patienten aufgrund ihrer Erkrankung war die Fixation des für die Untersuchung und Fusion wichtigen zentralen Punktes nicht immer sicher gegeben. Doch selbst bei Probanden mit guter zentraler Sehschärfe kommen große intraindividuelle Schwankungen bei Aniseikonie-Messungen vor (Antona et al. 2006). Zusätzlich ist in der Literatur beschrieben, dass mit dem „Rot-Grün-Messverfahren“

die Aniseikonie eher unterschätzt wird (Antona et al. 2006, McCormack et al. 1992). Die Aniseikonie wird nicht nur durch geometrisch-optische Gegebenheiten verursacht, sondern auch durch die Rezeptorverteilung auf der Netzhaut und die zentrale Weiterverarbeitung der Netzhautbilder. Dementsprechend ist sie schwierig zu messen und zu quantifizieren. Dies ist vermutlich einer der Gründe, warum die erwartete Aniseikonie bei Anisometropie von der subjektiv wahrgenommenen Aniseikonie deutlich abweichen kann (Heider & Jürgens 1984).

Betrachtet man die hier erhobenen Ergebnisse und die subjektiven Beschwerden (keine spontan angegebenen asthenopischen Beschwerden, keine Übelkeit, keine Doppelbilder) der Patienten, so lässt sich schlussfolgern, dass keine für den Alltag relevante Aniseikonie durch die Acri. Lyc 59 RET® verursacht wird. Die in der Literatur angegebenen Aniseikonie-Werte bei einseitiger Pseudophakie liegen wie in dieser Studie unter 5% (Heider & Jürgens 1984, Menne & Trinkmann 1986); allerdings wie auch in unserer Studie mit großer Streubreite. Bei Aniseikonie-Werten von unter 4% und einseitiger Pseudophakie konnte auch keine Korrelation zwischen dem Ausmaß der Aniseikonie und der Ausprägung des Stereosehens festgestellt werden (Katsumi et al. 1992).

Unter Aniseikonietoleranz wird in der Regel die Schwelle für Diplopie verstanden, wobei sich Aniseikonieprobleme auch dezenter z.B. in Form von asthenopischen Beschwerden äußern können. Vertikale Aniseikonie wird schlechter als horizontale Aniseikonie toleriert (Crone & Leuridan 1973). Die Aniseikonietoleranz wird meist um 5% aber auch sogar bis 13% (Crone & Leuridan 1973) angegeben. Dabei spielt es laut Crone und Leuridan eine große Rolle, ob die Diplopie im peripheren oder zentralen Gesichtsfeld untersucht wird. Die Peripherie weist eine geringere Aniseikonietoleranz auf.

5.6. Operation

Die Implantation der Intraokularlinse Acri. Lyc 59 RET® ist vor allem für Augen mit Silikonöltamponade vorgesehen. Hier ist eine Knopflochsituation für eine saubere Abbildung notwendig, d.h., dass die Optik der Kunstlinse durch die ausgeschnittene hintere Linsenkapsel nach posterior durchgesteckt wird. So lässt sich ein enger Kontakt zwischen Silikonöl und der hinteren Kunstlinsenrückfläche herstellen.

Zu diskutieren ist, inwieweit diese Operationsmethode durchführbar und sicher ist.

In der vorliegenden Studie ließ sich die Implantation der Kunstlinse in den Kapselsack und die Knopflochtechnik in 78% der Fälle problemlos durchführen. In

den übrigen Fällen (22%) änderten die Operateure aufgrund einer Kapselruptur ihre geplante Vorgehensweise. Die Häufigkeit der Kapselruptur im Rahmen einer Kataraktextraktion mittels Phakoemulsifikation ohne weitere geplante Eingriffe wie z.B. Vitrektomie, hintere Kapselausschneidung oder Knopflochtechnik beträgt je nach Erfahrung des Operateurs und Anästhesieform zwischen 0,45% und 7% (Wu & Bhandari 2008). Dass weitere Manipulationen wie hintere Kapselausschneidung oder Knopflochtechnik zur Erhöhung der Kapselrupturhäufigkeit führen, war zu erwarten. Dementsprechend kam es nicht während der Phakoemulsifikation oder IOL-Implantation, sondern bei der Ausschneidung der hinteren Kapsel mit dem Vitrektom oder beim Durchstecken der Optik durch die hintere Kapsel zur Kapselruptur. Die Operateure gaben eine zu große Saugöffnung des Vitrektoms oder mangelnde Schnittschärfe des Gerätes als Risikofaktoren an. Die unkontrollierte Ausschneidung der hinteren Kapsel resultierte in einen irregulären Rhexisrand mit Einkerbungen und infolge dessen eine Kapselruptur. Dennoch bestand im Falle einer Kapselruptur die Möglichkeit der IOL-Implantation in den Sulcus ciliaris und/oder der Knopflochtechnik durch die vordere Kapsulorhexis.

Selbst bei Verzicht auf die Knopflochtechnik aufgrund einer unsicheren intraoperativen Kapselsituation konnte im Rahmen der Zweitoperation diese nachgeholt werden, nachdem beide Kapselblätter verklebt und die gerissene Kapsel stabilisiert waren. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in 95% der Fälle primär und spätestens mit der Zweitoperation in 100% der Fälle die Durchführung der Knopflochtechnik erfolgreich war.

Die Knopflochtechnik selbst ist keine neue Methode und wurde früher schon bei der Operation der congenitalen Katarakt eingesetzt (Gimbel 1997). Jedoch beschrieb der Autor eine andere Methode zur Eröffnung der hinteren Kapsel. Nach der Phakoemulsifikation wurde mittels einer Kanüle die hintere Kapsel vorsichtig dreieckförmig angerissen und durch diese kleine Öffnung Healon als Viskoelastikum zwischen der hinteren Linsenkapsel und Glaskörper appliziert, um so den Glaskörper nach hinten zu drängen und vor einer Inkarceration zu schützen. Anschließend wurde die Lefze der hinteren Kapsel mit einer Rhexispinzette gefasst und wie bei einer vorderen Kapsulorhexis vorsichtig kontinuierlich kreisrund eröffnet; auch als *posterior continuous curvilinear capsulorhexis* (PCCC) bezeichnet. Der Vorteil dieser Technik ist, dass der Operateur eine bessere Kontrolle über die Größe der Öffnung hat und dass ein glatter Rhexisrand entsteht. Ein glatter Rand ist unabdinglich für die

Stabilität der wesentlich dünneren hinteren Kapsel, wie es auch experimentell nachgewiesen wurde (Castaneda et al. 1992). Menapace stellte 2008 eine große Studie mit 1000 Fällen vor, bei denen eine Kataraktextraktion, hintere Kapsulorhexis (PCCC), IOL-Implantation und Knopflochtechnik durchgeführt wurden. In nur 4 von 1000 Fällen war die hintere Kapsulorhexis zu groß geraten. Er stellte die Methode als sehr sicher dar, wobei er als erfahrener Operateur die ersten 150 Augen noch zur Lernkurve zählte. Gleich welche Methode gewählt wird, die Knopflochtechnik kann für fortgeschrittene Operateure nach einer mehr oder minder langen Lernkurve als durchführbar und sicher bezeichnet werden.

5.7. Komplikationen

Die Komplikationen müssen unter mehreren Gesichtspunkten betrachtet werden. Diese können durch die einzelnen Operationsschritte, i. e. Kataraktoperation, Vitrektomie und Knopflochtechnik, als auch durch deren Kombination verursacht werden. Zusätzlich trägt das Silikonöl zu postoperativen Komplikationen bei.

Die typische Entwicklung einer Linsentrübung innerhalb von einigen Monaten nach Vitrektomie und Silikonöltamponade (Dimopoulos & Heimann 1986) entfiel wegen der bereits in der Erstoperation durchgeführten Kataraktextraktion.

Kurzfristige Augeninnendruckerhöhungen direkt postoperativ können sowohl nach Kataraktoperationen als auch nach Vitrektomien auftreten, während persistente Sekundärglaukome auf die Silikonöltamponade (Petersen & Ritzau-Tondrow 1988), lokale Steroidtherapie oder Grunderkrankung am Auge (Jonas et al. 2001) zurückzuführen sind. Die in 7% der Fälle beobachteten persistenten, aber medikamentös gut beherrschbaren Sekundärglaukome in dieser Studie waren eindeutig durch das Silikonöl hervorgerufen, da sich der Augeninnendruck in allen Fällen nach der Silikonölenfernung normalisierte. Dies deckt sich mit den Angaben in der Literatur, wonach sich die Mehrzahl der Sekundärglaukome nach der Ölenfernung zurückbildete (Kampik et al. 1992, Jonas et al. 2001).

In 12% der Augen wurden Netzhautforamina während der Erstoperation behandelt. Diese Foramina könnten bereits präoperativ bestanden haben oder durch die Vitrektomie entstanden sein. Während der gesamten Beobachtungszeit sind keine weiteren Operations-bedingten Komplikationen wie Endophthalmitis, Amotio retinae oder proliferative Vitreoretinopathie aufgetreten. Vergleichbare Komplikationsraten bei Makulalochchirurgie mit Silikonöltamponade sind in der Literatur beschrieben, wobei es keine Rolle spielt, ob die Kataraktextraktion mit der Erstoperation

kombiniert (Kim SH et al. 2004) oder erst zusammen mit der Silikonölenfernung (Joeres 2005) durchgeführt wurde. Überhaupt scheint die Kombination der Kataraktoperation und der Vitrektomie –mit oder ohne Tamponade– keine besonderen Komplikationen und auch keine erhöhten Komplikationsraten aufzuweisen (Müller et al. 2004, Lahey et al. 2002, Treumer et al. 2006).

Die von uns beobachteten intraretinalen Blutungen nach der Erstoperation wurden in der Literatur weder nach Knopflochtechnik noch nach Kombinationsoperationen (Kataraktoperation und Vitrektomie) erwähnt. Da die Blutungen hauptsächlich in der mittleren Netzhautperipherie auftraten, vermuteten wir die chirurgische hintere Glaskörperabhebung als Ursache der Blutungen. Im χ^2 -Test ließ sich ein solcher Zusammenhang jedoch nicht beweisen.

Ungeklärt bleiben bislang Ursache und Entstehungsmechanismus dieser Blutungen. Weder bei der alleinigen Kataraktextraktion, noch bei der alleinigen Vitrektomie mit Silikonöltamponade durch dieselben Operateure unserer Klinik traten bisher solche Blutungen auf. Deshalb liegt es nahe, dass ein Schritt, der durch die Kombination beider Operationen notwendig wurde, die Ursache für die Blutungen ist. Vermutlich war es der Zeitpunkt der IOL-Implantation, an dem die Glaskörperinfusion abgestellt wurde, um den Druck gegen die Kunstlinse Richtung Hornhaut zu verhindern. Zu diesem Zeitpunkt war der Bulbus hypoton, da die Flüssigkeit aus dem vitrektomierten Glaskörperraum den Bulbus durch die Sklerotomien leicht verlassen konnte.

Es gibt zwei mögliche Reihenfolgen der Operation:

1. Kataraktextraktion, Vitrektomie, IOL-Implantation, Silikonöltamponade
2. Kataraktextraktion, IOL-Implantation, Vitrektomie, Silikonöltamponade

Bei der zweiten Möglichkeit wirkt sich der IOL-Optikrand während der Vitrektomie nachteilig auf den peripheren Funduseinblick aus. Aus diesem Grund bevorzugen Netzhautchirurgen die erste Möglichkeit (Koenig et al. 1992, Soheilian et al. 2008), bei der während der Vitrektomie freie Sicht auf die Peripherie besteht. Koenig verschloss die Sklerotomien temporär, um die Bulbusstabilität zu erhalten und die IOL zu implantieren. Beide Autoren machten jedoch keine Angaben bezüglich der Glaskörperinfusion während der IOL-Implantation.

Möglicherweise ist eine kurzzeitige Bulbushypotonie während der IOL-Implantation die Ursache der Blutungen; es handelt sich aber um eine reine Hypothese.

5.8. Funktionelles und anatomisches Ergebnis

Visus

Es ist nur begrenzt möglich, die Visusergebnisse dieser Studie mit den Angaben der Literatur zu vergleichen, da zum einen unterschiedliche Operationsmethoden gewählt wurden, und zum anderen der Nachbeobachtungszeitraum von im Mittel ca. 4 Monaten viel zu kurz ist. Die funktionelle Erholung der Netzhaut nach Makulalochchirurgie dauert über 2 Jahre an (Scott et al. 2003). Bei einer Nachbeobachtungszeit von über 4 Jahren werden in der Literatur Visusergebnisse von 0,6 (Median) bei einem Ausgangsvisus von 0,2 (Median) angegeben (Scott et al. 2003, Reiniger et al. 2006).

Der beste Vergleich ist mit einer Arbeit aus unserer Klinik möglich (Joeres 2005), in der ebenfalls eine Tamponade mit SiÖl durchgeführt wurde und die Patienten allerdings erst bei der Silikonölenfernung die Kataraktoperation erhielten. Bei identischem Ausgangsvisus von 0,2 im Median wurde in der Arbeit von Joeres ein Visus von 0,25 (Median) 6 Monate postoperativ erreicht. In der vorliegenden Studie war das Visusergebnis mit 0,3 (Median) ca. 4 Monate postoperativ geringfügig besser. Demnach sind mit der Acri. Lyc 59 RET®, mit der kombinierten Operationsmethode und der Knopflochtechnik funktionell vergleichbar gute Ergebnisse zu erzielen.

Verschluss des Makulaforamens

Der Lochverschluss und das Rezidiv werden in der Literatur unterschiedlich definiert. In der vorliegenden Arbeit ist der Lochverschluss als ein ophthalmoskopisch sichtbarer und in der OCT nachweisbarer Verschluss des Foramens nach der Silikonölenfernung und das Rezidiv als ein persistierendes oder erneut auftretendes Foramen definiert.

In der ersten Arbeit über die Makulalochchirurgie wurde eine Erfolgsquote von 58% angegeben (Kelly & Wendel 1991). Durch die Weiterentwicklung der Operationstechnik beträgt die primäre Verschlussrate der Makulaforamina mittlerweile 95% (Haritoglou et al. 2006) bis 100% (Brooks 2000). Mit einer primären Verschlussrate von 100% liegen unsere Ergebnisse auf dem gleichen Niveau.

Innerhalb der kurzen Nachbeobachtungszeit von 4 Monaten trat ein Rezidiv nach der Silikonölenfernung auf (2%). Die Rezidivrate wird in der Literatur mit 0% (Haritoglou et al. 2006) bis 12% (Scott et al. 2003) innerhalb von etwa 5 Jahren angegeben. Zu

erwähnen sei, dass in der Arbeit von Haritoglou und Mitarbeiter (2006) in 5% der Fälle kein Lochverschluss nach der ersten Operation erreicht wurde. Somit liegt die Rezidivrate seiner Arbeit nach unserer Definition bei 5% und nicht 0%. Der Autor führte die fehlenden Rezidive auf die konsequente Durchführung des ILM-peeling und damit Entlastung von Traktionen zurück. Im Rezidiv-Auge der vorliegenden Studie wurde ein ILM-peeling durchgeführt, so dass Haritoglous These fraglich ist. Noch werden Nutzen und Schaden des ILM-peeling in der Literatur kontrovers diskutiert. Es bleibt abzuwarten, ob in näherer Zukunft weitere Studien die Sachlage eindeutig klären werden.

Subjektive Beschwerden

Arnold beschrieb 1994 erstmals unerwünschte optische Phänomene nach Kataraktextraktion. Darunter fallen Phänomene wie Halos, Blendung, helle oder dunkle Bögen usw. Tester (Tester et al. 2000) prägte die Bezeichnung Dysphotopsie für die o.g. Phänomene. Die Häufigkeit von Dysphotopsien nach Kataraktextraktion und IOL-Implantation wird mit 20% (Arnold 1994) bis 50% (Tester et al. 2000) und abnehmender Tendenz im Laufe der Zeit (Bournas et al. 2007) angegeben. Die großen Unterschiede in den Häufigkeitsangaben ergeben sich u.a. aus der Selektion und Befragungsart der Patienten. Oft sind diese Phänomene sehr mild ausgeprägt, so dass die Patienten sie spontan nicht angeben, aber nach expliziter Befragung diese bejahen. In der vorliegenden Studie waren Lichtreflexionen in Form von Halbkreisen oder Sicheln bei Dämmerung mit 44% nach der Erstoperation und 37% nach der Zweitoperation unter den Dysphotopsien am häufigsten vertreten. Vermutlich wird dieses Phänomen u.a. durch die Fresnel-Stufen der IOL-Optik verursacht. Denn Coroneo und Mitarbeiter (Coroneo et al. 2003) konnten nachweisen, dass schräg zur Sehachse einfallendes Licht durch die IOL-Optikkante stark fokussiert wird und dass bis zu drei sekundäre Bilder entstehen. Die Acri. Lyc 59 RET® bietet zusammen mit den Fresnel-Stufen drei Kanten zur Entstehung solcher Phänomene. Es ist nachvollziehbar, dass eine weite Pupille z.B. bei Dämmerung und Dunkelheit die Entstehung von Dysphotopsien begünstigt, da unter diesen Umständen schräg einfallendes Licht die Optikkante eher erreicht. Ob und inwieweit die Größe oder Design der IOL eine Rolle spielt, wird noch kontrovers diskutiert (Arnold 1994, Bournas et al. 2007). Zumindest scheint nach jetzigem Stand

der Literatur keine Korrelation zwischen dem postoperativen Visus und den Dysphotopsien (Aslam et al. 2007) zu bestehen.

Sitz der Intraokularlinse

Die Häufigkeit der Kapselruptur und der damit verbundene Implantationsort der IOL sind unter 5.6. bereits näher erörtert.

In der vorliegenden Studie war in einem Fall die IOL nach der Erstoperation deutlich dezentriert. Dies war Folge einer vorderen Kapselruptur und Implantation der IOL in den Sulcus ciliaris ohne Knopflochtechnik. In einer experimentellen Studie (Legler et al. 1992) wurde der Einfluss verschiedener Faktoren auf die unmittelbar postoperative Zentrierung der IOL untersucht. Es stellte sich heraus, dass die IOL-Dezentrierung bei einer Ruptur der vorderen Kapsel und Sulcus-/Kapselsackimplantation (d.h. eine Haptik im Sulcus ciliaris und die anderen im Kapselsack) am stärksten ausgeprägt war, während der Optik- und Haptikdurchmesser kaum eine Rolle spielten. In der Zweitoperation nach der Verklebung beider Kapselblätter konnte im o.g. Fall unserer Studie die Dezentrierung der IOL durch die Knopflochtechnik behoben werden. Um bei einer radiär eingerissenen Kapsel oder Implantation der IOL in den Sulcus ciliaris eine IOL-Dezentrierung zu vermeiden bietet sich die Knopflochtechnik durch die jeweils andere Kapsel an (Gimbel et al. 2001). Menapace (Menapace et al. 2008) zeigte, dass selbst bei einer nicht optimal zentrierten Kapsulorhexis, die IOL nach der Knopflochaufhängung gut zentriert. Damit bietet sich die Knopflochtechnik als eine gute Möglichkeit, eine IOL-Dezentrierung zu beheben oder zu vermeiden.

Linsenbeschläge

Mittlerweile ist die Adhäsion von Silikonöl an verschiedenen Linsenmaterialien eingehend untersucht. Man fand heraus, dass nach einer Inkubationszeit von mindestens 3 Monaten sowohl in vitro (Dick et al. 1997 b) als auch in vivo (Khawly et al. 1998) die stärkste Adhäsion zwischen Silikonöl und Silikon-IOL besteht. Je hydrophiler das Material, desto geringer ist die Adhäsion und desto einfacher lässt sich das Silikonöl von der Linsenoberfläche mechanisch entfernen. Für eine Silikonöltamponade eignen sich Kunstlinsen aus hydrophilem oder hydrophobem Acrylat am besten, gleich ob es sich um Silikonöl mit einer Viskosität von 1000 mPa s oder 5000 mPa s handelt (Öner et al. 2003). Dies entspricht den Erfahrungen der

vorliegenden Studie. Bei der Acri. Lyc 59 RET® handelt es sich um eine IOL mit einer hydrophoben Oberfläche. In 4 Fällen kam es zur Adhäsion zwischen IOL und Silikonöl, die in Form einer Betauung zu sehen war. Es stellte sich die Frage, warum eine Betauung und keine homogene Adhäsion zwischen IOL und Silikonöl entstanden war. Folgender Mechanismus könnte eine Erklärung hierfür bieten: Zunächst besteht ein schmaler Wasserfilm zwischen der großen Silikonölblase im Glaskörperraum und der IOL. Durch verschiedene Bestandteile in der wässrigen Phase, z.B. Lipoproteine, verringert sich die Oberflächenspannung der Silikonölblase (Savion et al. 1996). Die Öltamponade erreicht durch den Auftrieb ihre höchste Effektivität am Apex der Ölblase. Spätestens in Rückenlage drückt die Ölblase gegen die IOL-Rückfläche, verdrängt den Wasserfilm und finden den Anschluss zur IOL-Rückfläche. Wenn dieser Prozess z.B. durch Augenbewegungen an mehreren Stellen gleichzeitig stattfindet, verliert der Wasserfilm zwischen Silikonöl und IOL den Anschluss zum Restwasser im Glaskörperraum, wird in Form von kleinen Wassertröpfchen zwischen dem Silikonöl und der IOL eingeschlossen und erscheint wie eine Betauung der Linsenrückfläche.

Trotz der Adhäsion konnte, wie oben bereits erklärt, das Silikonöl in allen Fällen durch Spülung und Absaugung ohne Rückstand von der IOL-Rückfläche entfernt werden.

In einem weiteren Fall wurden nach der Ölentfernung kleinste Silikonölbläschen auf der IOL-Rückfläche beobachtet, obwohl intraoperativ die IOL-Rückfläche keine Silikonölreste aufwies. Deshalb ist davon auszugehen, dass es sich um bereits präoperativ emulsifiziertes Silikonöl handelt. Diese Silikonölbläschen lassen sich trotz mehrfachem Flüssigkeit-Luft-Austausch nicht komplett entfernen und finden im Laufe der Zeit den Kontakt zur Linse. Sollten diese Bläschen zu optischen Störungen führen, besteht die Möglichkeit die IOL-Rückfläche operativ zu säubern, was bei dem o.g. Patienten bisher nicht erforderlich war.

Silikonölfüllung und Ölkontakt

Um eine saubere und stabile optische Abbildung bei Silikonölfüllung zu erreichen, sollte eine 100%ige Silikonölfüllung des Glaskörperraumes angestrebt werden. Andernfalls verursachen Bewegungen und Verformungen der Ölblase lageabhängige Refraktionsschwankungen (Petersen 1989, Dick et al. 1997 a). Es ist jedoch recht schwierig, eine 100%ige Silikonölfüllung zu erreichen, da zum einen ein operativ

verursachtes Netzhaut- oder Aderhautödem sich erst postoperativ zurückbildet und der so entstandene Raum mit Kammerwasser aufgefüllt wird und zum anderen der Glaskörper nicht komplett bis an die Netzhautperipherie aufgrund eines erhöhten Foramenrisikos eingekürzt wird, und die Glaskörperreste so ein Flüssigkeitsdepot darstellen. Aus diesem Grund konnte in der vorliegenden Studie in mindestens 73% der Fälle keine 100%ige Silikonölfüllung erreicht werden. In den übrigen Fällen, in denen kein Wassermeniskus nachgewiesen wurde, könnte trotzdem die Silikonölfüllung geringer als 100% sein, da bei nicht maximal erweiterbarer Pupille und mangelnder Kooperation des Patienten ein Wassermeniskus übersehen werden kann.

In 60% aller Fälle, in denen mit Sicherheit ein Wassermeniskus im Glaskörperraum zu sehen war, wurden Newton-Ringe gesehen. Das bedeutet, dass trotz unvollständiger Silikonölfüllung ein enger Kontakt zwischen der IOL und der Ölblase in aufrechter Position bestand. Dies lässt sich z. T. durch den Auftrieb der Ölblase erklären, der nicht nur einen Druck nach oben, sondern auch seitwärts, d.h. gegen die IOL erzeugt.

6. Zusammenfassung

Vor über 40 Jahren kam Silikonöl erstmals in der Glaskörperchirurgie als Endotamponade zum Einsatz. Seither haben sich die Operationstechniken in großen Schritten weiterentwickelt, und früher infauste Erkrankungen wie z.B. traktive Netzhautablösungen und fortgeschrittene diabetische Retinopathie sind so behandelbar geworden. Doch ein großer Nachteil der Silikonöltamponade konnte bisher nicht behoben werden, und zwar die starke Refraktionsverschiebung um ca. 6dpt Richtung Hyperopie sowohl bei phaken als auch bei pseudophaken Augen. Dies liegt am hohen Brechungsindex des Silikonöls und an der konvexen Rückfläche der körpereigenen Linse bzw. herkömmlichen Kunstlinse. Große Refraktionsunterschiede zwischen beiden Augen führen zur massiven Beeinträchtigung des beidäugigen Sehens aufgrund unterschiedlich großer Bilder auf der Netzhaut.

Die Intraokularlinse Acri. Lyc 59 RET® wurde eigens dafür entwickelt, o. g. Refraktionsproblem bei Silikonöltamponaden zu beheben. Mit der Verlagerung der gesamten Strahlenablenkung auf die Vorderfläche der IOL und der speziellen konkaven Formgebung der Rückfläche treffen die Strahlen senkrecht auf die IOL-Rückfläche, werden nicht abgelenkt und fokussieren in der Fovea. Die Refraktion ändert sich nicht, gleichgültig welche Substanz sich im Glaskörperraum befindet. So bleiben Refraktion und Binokularität selbst bei Wechsel oder Entfernung der Tamponade erhalten.

Voraussetzung für eine gute Abbildung ist der enge Kontakt zwischen IOL und Endotamponade. Dies wird durch die Knopflochtechnik gewährleistet, bei der nach Kapselsackimplantation der IOL und Ausschneidung der hinteren Kapsel die IOL-Optik durch die Öffnung Richtung Glaskörperraum durchgesteckt wird.

Obwohl Diabetiker den größten Vorteil durch die IOL hätten, wurden Patienten mit idiopathischem Makulaforamen für diese prospektive Studie gewählt, da Zeitpunkt und Abfolge der Eingriffe sich bei diesen Patienten nach einem festen Schema planen lassen. Insgesamt wurden 41 betroffene Augen kataraktextrahiert, vitrektomiert und nach Implantation der IOL mit Knopflochtechnik der Glaskörperraum mit Silikonöl gefüllt. Nach etwa elf Wochen erfolgte die Silikonölenfernung. Acht Wochen nach dem Ersteingriff und sechs Wochen nach dem Zweiteingriff fanden die Nachuntersuchung statt.

Die Erwartung der Refraktionsstabilität trotz unterschiedlicher Endotamponaden erfüllte die IOL Acri. Lyc 59 RET® in dieser Studie. Der Refraktionsunterschied

zwischen Wasser- und Silikonöl-gefüllten Augen von nur 0,22dpt war klinisch nicht relevant. Allerdings wurde die präoperativ berechnete Zielrefraktion auf Grundlage einer geometrisch-optischen Formel um 1,83dpt unter Silikonöl bzw. um 1,61dpt unter Wasser Richtung Myopie verfehlt. Mit Hilfe der postoperativen Daten konnte dann eine korrigierte Berechnungsformel für die zu implantierende IOL-Stärke hergeleitet werden, um die postoperative Refraktion genauer vorhersagen zu können.

Die unter Silikonöl erwartete Mikropsie hat sich bestätigt, jedoch in einem geringeren Maße und nicht von klinischer Relevanz.

Die Knopflochtechnik ist eine sichere, gut durchführbare Methode. Sie stellt für den erfahrenen Operateur keine besondere Herausforderung dar.

Bezüglich des Makulaforamens waren sowohl die postoperative Sehschärfe als auch das anatomische Ergebnis mit anderen Studien und Standard-OP-Techniken vergleichbar.

Abgesehen von peripheren retinalen Blutungen bei einem Teil der Patienten, deren Mechanismus noch unklar und sicher nicht auf die IOL zurückzuführen ist, konnten keine weiteren relevanten Komplikationen festgestellt werden.

Acri. Lyc 59 RET® ist die erste IOL weltweit, die das Problem der Refraktionsverschiebung durch Silikonöltamponade löst. Sie stellt damit die ideale IOL für Diabetiker und Patienten mit Augenerkrankungen dar, die früher oder später eine Silikonöltamponade benötigen werden.

7. Anhang: Studienprotokoll

Linsentyp: Acri. Lyc 59 RET®

Aufkleber

Präop-Datum: _____

Präoperativ	Rechtes Auge	Linkes Auge
Diagnose:	_____	_____
Vorhand. Brille:	____ sph ____ cyl A ____ °	____ sph ____ cyl A ____ °
Zeiss:	____ dpt Meridian ____ °	____ dpt Meridian ____ °
	____ dpt Meridian ____ °	____ dpt Meridian ____ °
Skiaskopie:	____ dpt Meridian ____ °	____ dpt Meridian ____ °
	____ dpt Meridian ____ °	____ dpt Meridian ____ °
Autorefraktor:	____ sph ____ cyl A ____ °	____ sph ____ cyl A ____ °
Subj. Refraktion:	____ sph ____ cyl A ____ °	____ sph ____ cyl A ____ °
Visus c.c.:	_____	_____
HH-Befund:	_____	_____
Linsen-Befund:	_____	_____
Seitendiff. Befunde:	_____	_____
US-ACD:	_____ mm ± _____ mm	_____ mm ± _____ mm
US-LENS:	_____ mm ± _____ mm	_____ mm ± _____ mm
US-AXL:	_____ mm ± _____ mm	_____ mm ± _____ mm

Intraoperativ: Datum: _____ OP-Auge: _____ Operateur: _____

VK-Zugangsart: _____ bei Uhrzeit: _____ Breite: _____ mm

Rhexis-Durchm.: _____ Besonderheit: _____

Pupillenweite: _____ Überschaubarkeit des Kapselsacks: _____

Entfernung Li-Epithel: _____ IOL-power: _____ Implant-Ort: _____

Knopfloch: _____ Besonderheit: _____

VK-Tiefe am OP-Ende: _____

Entlassungsbefund

6-Wochen-Befund (mit Öl)

Datum:	_____	_____
Verlauf:	_____	_____
Zeiss:	_____ dpt Meridian _____ °	_____ dpt Meridian _____ °
	_____ dpt Meridian _____ °	_____ dpt Meridian _____ °
Skiaskopie:	_____ dpt Meridian _____ °	_____ dpt Meridian _____ °
	_____ dpt Meridian _____ °	_____ dpt Meridian _____ °
Skia-Qualität:	_____	_____
Autorefraktor:	_____ sph _____ cyl A _____ °	_____ sph _____ cyl A _____ °
Subj. Refraktion:	_____ sph _____ cyl A _____ °	_____ sph _____ cyl A _____ °
Visus c.c.:	_____	_____
Aniseikonie:	_____	_____
Subj. Störung?	_____	_____
Reflexionen?	_____	_____
IOL-Sitz:	_____	_____
Dezentrierung:	_____ mm Richtung _____	_____ mm Richtung _____
Besonderheiten:	_____	_____
Newton-Ringe:	_____	_____
Öl-Füllung in GK:	_____	_____
US-ACD:	_____ mm ± _____ mm	_____ mm ± _____ mm
Foto im Rotlicht:	_____	_____

Silikonöl-Entfernung: Datum: _____ Besonderes: _____

6 Wochen nach Öl-Ex

Spätbefund nach Öl-Ex

Datum:	_____	_____
Verlauf:	_____	_____
Zeiss:	_____ dpt Meridian _____ °	_____ dpt Meridian _____ °
	_____ dpt Meridian _____ °	_____ dpt Meridian _____ °
Skiaskopie:	_____ dpt Meridian _____ °	_____ dpt Meridian _____ °
	_____ dpt Meridian _____ °	_____ dpt Meridian _____ °
Skia-Qualität:	_____	_____
Autorefraktor:	_____ sph _____ cyl A _____ °	_____ sph _____ cyl A _____ °
Subj. Refraktion:	_____ sph _____ cyl A _____ °	_____ sph _____ cyl A _____ °
Visus c.c.:	_____	_____
Aniseikonie:	_____	_____
Subj. Störung?	_____	_____
Reflexionen?	_____	_____
IOL-Sitz:	_____	_____
Dezentrierung:	_____ mm Richtung _____	_____ mm Richtung _____
Besonderheiten:	_____	_____
US-ACD:	_____ mm ± _____ mm	_____ mm ± _____ mm
Foto im Rotlicht:	_____	_____

8. Literaturverzeichnis

Aaberg TM, Blair CJ, Gass JD (1970): Macular holes. Am J Ophthalmol; 69(4):555-562.

Antona B, Barra F, Barrio A, Gonzalez E, Sanchez I (2006): The Validity and Repeatability of the New Aniseikonia Test. Optom Visc Sci; 83: 903-909.

Arnold PN (1994): Photic phenomena after phacoemulsification and posterior chamber lens implantation of various optic sizes. J Cataract Refract Surg; 20(4):446-450.

Aslam TM, Gupta M, Gilmour D, Patton N, Dhillon B (2007): Long-term prevalence of pseudophakic photic phenomena. Am J Ophthalmol; 143(3):522-524.

Azen SP, Scott IU, Flynn HW, Jr., Lai MY, Topping TM, Benati L, Trask DK, Rogus LA (1998): Silicone oil in the repair of complex retinal detachments. A prospective observational multicenter study. Ophthalmology; 105:1587-1597.

Bartz-Schmidt KU, Thumann G, Psichias A, Kriegelstein GK, Heimann K (1999): Pars plana vitrectomy, endolaser coagulation of the retina and the ciliary body combined with silicone oil endotamponade in the treatment of uncontrolled neovascular glaucoma. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol; 237: 969-975.

Beekhuis WH, Ando F, Zivojnovic R, Mertens DA, Peperkamp E (1987): Basal iridectomy at 6 o'clock in the aphakic eye treated with silicone oil: prevention of keratopathy and secondary glaucoma. Br J Ophthalmol; 71(3):197-200.

Benson WE, Cruickshanks KC, Fong DS, Williams GA, Bloome MA, Frambach DA, Kreiger AE, Murphy RP (2001): Surgical management of macular holes: a report by the American Academy of Ophthalmology. Ophthalmology; 108(7):1328-1335.

Binkhorst RD (1979): Intraocular lens power calculation. Int Ophthalmol Clin; 19: 237-252.

Blodi FC (1971): Injection and impregnation of liquid silicone into ocular tissues. Am J Ophthalmol; 71:1044-1051.

Bournas P, Drazinos S, Kanellas D, Arvanitis M, Vaikoussis E (2007): Dysphotopsie after cataract surgery: comparison of four different intraocular lenses. Ophthalmologica; 221(6):378-383.

Brooks HL Jr. (2000): Macular hole surgery with and without internal limiting membrane peeling. Ophthalmology; 107(10):1939-1949.

Brüggemann A, Hoerauf H (2008): Atypical macular holes. *Klin Monatsbl Augenheilkd*; 225(4):281-285.

Castaneda VE, Legler UFC, Tsai JC, Hoggatt JP, Assia EI, Hogan C, Apple DJ (1992): Posterior continuous curvilinear capsulorhexis. An experimental study with clinical application. *Ophthalmology*; 99:45-50.

Cibis PA, Becker B, Okun E, Canaan S (1962): The use of liquid silicone in retinal detachment surgery. *Arch Ophthalmol*; 68:590-599.

Coroneo MT, Pham T, Kwok LS (2003): Off-axis edge glare in pseudophakic dysphotopsia. *J Cataract Refract Surg*; 29(10):1969-1973.

Crone RA, Leuridan OMA (1973): Tolerance for Aniseikonia. Diplopia Thresholds in the Vertical and Horizontal Meridians of the Visual Field. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*; 188:1-16.

Daviel J (1753): Sur une nouvelle méthode de guérir la cataract par l'extraction du cristalin. extrait des Mémoire de l'Académie de chirurgie, tome II:337-352.

de Bustros S (1990): Intraoperative control of hemorrhage in penetrating ocular injuries. *Retina*; 10 Suppl 1: 555-558.

de Bustros S (1994): Vitrectomy for prevention of macular holes. Results of a randomized multicenter clinical trial. Vitrectomy for Prevention of Macular Hole Study Group. *Ophthalmology*; 101(6): 1055-1059.

Dick B, Schwenn L, Pavlovic S, Jacobi FK, Pfeiffer N (1997 a): Effect of head position on refraction in aphakic and phakic silicone-filled eyes. *Retina*; 17(5): 397- 402.

Dick B, Stoffelns B, Pavlovic S, Schwenn O, Pfeiffer N (1997 b): Interaktion von Silikonöl mit verschiedenen Intraokularlinsen. Eine licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchung. *Klin Monatsbl Augenheilkd*; 211:192-206.

Dimopoulos S, Heimann K (1986): Spätkomplikationen nach Silikonölinjektion. *Klin Monatsbl Augenheilkd*; 189(3):223-227.

Ezra E (2001): Idiopathic full thickness macular hole: natural history and pathogenesis. *Br J Ophthalmol*; 85(1):102-108.

Gass JD (1988): Idiopathic senile macular hole. Its early stages and pathogenesis. *Arch Ophthalmol*; 106:629-639.

Gass JD (1995 a): Age-dependent idiopathic macular foramen. Current concepts of the pathogenesis, diagnosis, and treatment. *Ophthalmologie*; 92(5):617-625.

Gass JD (1995 b): Reappraisal of biomicroscopic classification of stages of development of a macular hole. *Am J Ophthalmol*; 119(6):752-759.

Gaudric A, Haouchine B, Massin P, Paques M, Blain P, Erginay A (1999): Macular hole formation: new data provided by optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*; 117(6):744-751.

Genée D: Fehlerevaluation der präoperativen Kunstlinsenberechnung vor der Kataraktoperation. Med. Diss. Göttingen 2004.

Gernet H, Ostholt H, Werner H: Die praeoperative Berechnung intraocularer Binkhorst-Linsen. In: 122. Versammlung der Vereinigung Rheinisch-Westfälischer Augenärzte, Verlag Zimmermann, Balve 1970, 54-55.

Gimbel HV (1997): Posterior continuous curvilinear capsulorhexis and optic capture of the intraocular lens to prevent secondary opacification in pediatric cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*; 23(Suppl 1):652-656.

Gimbel HV, Sun R, Ferensowicz M, Anderson PE, Kamal A (2001): Intraoperative management of posterior capsule tears in phacoemulsification and intraocular lens implantation. *Ophthalmology*; 108(12): 2186-2192.

Haouchine B, Massin P, Gaudric A (2001): Foveal pseudocyst as the first step in macular hole formation: a prospective study by optical coherence tomography. *Ophthalmology*; 108:15-22.

Haritoglou C, Gass CA, Schaumberger M, Gandorfer A, Ulbig MW, Kampik A (2002): Long-term follow-up after macular hole surgery with internal limiting membrane peeling. *Am J Ophthalmol*; 134(5):661-666.

Haritoglou C, Reiniger IW, Schaumberger M, Gass CA, Priglinger SG, Kampik A (2006): Five-year follow-up of macular hole surgery with peeling of the internal limiting membrane: update of a prospective study. *Retina*; 26(6):618-622.

Hassenstein A, Scholz F, Richard G (2004): OCT bei Makulaforamen. *Ophthalmologie*; 101:777-784.

Haut J, Chatellier P, Cedah A, Robert P, Van Effenterre G (1979): Vitrectomy on eyes with good vision. *Bull Soc Ophthalmol Fr*; 79:805-806.

Heider W, Jürgens K (1984): Aniseikonie bei einseitiger Pseudophakie. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 185:515-517.

Hoerauf H, Roider J, Bopp S, Lucke K, Laqua H (1995): Endotamponade with silicone oil in severe proliferative retinopathy with attached retina. *Ophthalmologie*; 92(5): 657-662.

Hoffer KJ (1994): Ultrasound velocities for axial eye length measurement. *J Cataract Refract Surg*; 20(5):554-562.

Hotta K, Sugitani A (2005): Refractive changes in silicone oil-filled pseudophakic eyes. *Retina*; 25(5):167-170.

Jonas JB, Knorr HL, Rank RM, Budde WM (2001): Intraocular pressure and silicone oil endotamponade. *J Glaucoma*; 10(2):102-108.

Joeres S: Makulaforamenchirurgie mit Silikonöltamponade. Med. Diss. Göttingen 2005.

Kampik A, Hoing C, Heidenkummer HP (1992): Problem and timing in the removal of silicone oil. *Retina*; 12:511-516.

Katsumi O, Miyajima H, Ogawa T, Hirose T (1992). Aniseikonia and Stereoacuity in Pseudophakic Patients. Unilateral and Bilateral Cases. *Ophthalmology*; 99: 1270-1277.

Kaufmann H : Strabismus. 3. Auflage; Georg-Thieme Verlag, Stuttgart, New York 2004:22.

Kelly NE, Wendel RT (1991): Vitreous surgery for idiopathic macular holes. Results of a pilot study. *Arch Ophthalmol*, 109(5):654-659.

Khawly JA, Lambert RJ, Jaffe GJ (1998): Intraocular lens changes after short- and long-term exposure to intraocular silicone oil. An in vivo study. *Ophthalmology*; 105(7):1227-1233.

Kim JW, Freeman WR, Azen SP, el-Haig W, Klein DJ, Bailey IL (1996): Prospective randomized trial of vitrectomy or observation for stage 2 macular holes. Vitrectomy for Macular Hole Study Group. *Am J Ophthalmol*; 121(6):605-614.

Kim SH, Chung JW, Chung H, Yu HG (2004): Phacoemulsification and foldable intraocular lens implantation combined with vitrectomy and silicone oil tamponade for severe proliferative diabetic retinopathy. *J Cataract Refract Surg*; 30:1721-1726.

Kirchhof B, Tavakolian U, Paulmann H, Heimann K (1986): Histopathological findings in eyes after silicone oil injection. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*; 224:34-37.

Knapp H (1869): Über isolierte Zerreiung der Aderhaut als Folge von Traumen auf den Augapfel. Arch Augenheilkd; 1869:6-29.

Koenig SB, Mieler WF, Han DP, Abrams GW (1992): Combined phacoemulsification, pars plana vitrectomy and posterior chamber intraocular lens insertion. Arch Ophthalmol; 110: 1101-1104.

Labelle P, Okun E (1972): Ocular tolerance to liquid silicone. An experimental study. Can J Ophthalmol; 7:199-204.

Legler UF, Assia EI, Castaneda VE, Hoggatt JP, Apple DJ (1992): Prospective experimental study of factors related to posterior chamber intraocular lens decentration. J Cataract Refract Surg; 18(5): 449-455.

Lemmen KD, Heimann K (1988): Early vitrectomy with primary silicone oil injection in very severely injured eyes. Klin Monatsbl Augenheilkd; 193:594-601.

Margherio RR, Margherio AR, Williams GA, Chow DR, Banach MJ (2000): Effect of perifoveal tissue dissection in the management of acute idiopathic full-thickness macular holes. Arch Ophthalmol; 118(4): 495-498.

McCormack G, Peli E, Stone P (1992): Differences in Test with Aniseikonia. Invest Ophthalmol Vis Sci 33: 2063-2067.

Menapace R (2008): Posterior capsulorhexis combined with optic buttonholing: an alternative to standard in-the-bag implantation of sharp-edged intraocular lenses? A critical analysis of 1000 consecutive cases. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol; 246(6):787-801.

Menne K, Trinkmann (1986): Funktionelle Aniseikonie nach Implantation einer Hinterkammer-Linse in der frhen postoperativen Phase. Klin Monatsbl Augenheilkd; 188: 60-61.

Meschede D : Gerthsen Physik. 21. vllig neubearbeitete Auflage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2001:485.

Mester V, Kuhn F (2000): Internal limiting membrane removal in the management of full-thickness macular holes. Am J Ophthalmol; 129:769-777.

Minihan M, Goggin M, Cleary PE (1997): Surgical management of macular holes: results using gas tamponade alone, or in combination with autologous platelet concentrate, or transforming growth factor beta 2. Br J Ophthalmol; 81(12):1073-1079.

Müller AJ, Klinger K, Tribus C, Kampik A (2004): Kombiniert Vorder- und Hinterabschnittschirurgie. *Ophthalmologe*; 101: 667-674.

Öner FH, Saatci OA, Sarioglu S, Durak I, Kaynak S, Cabuk M (2003): Interaction of intraocular lenses with various concentrations of silicone oil: an experimental study. *Ophthalmologica*; 217(2):124-128.

Petersen J (1987): The physical and surgical aspect of silicone oil in the vitreous cavity. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*; 225:452-456.

Petersen, J: Die Brechkraft intraokularer Linsen im Kontakt mit Silikonöl. In: Tagungsberichte 2. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Intraokularlinsenimplantation. Hrsg.: G.K. Lang, et al. Ferdinand-Enke Verlag, Stuttgart; 1989: 93-97.

Petersen J, Ritzau-Tondrow U (1988): Chronic glaucoma following silicone oil implantation: a comparison of 2 oils of differing viscosity. *Fortschr Ophthalmol*; 85(6): 632-634.

Reiniger IW, Gass CA, Schaumberger M, Kampik A, Haritoglou C (2006): Funktionelle Langzeitergebnisse nach Makulaforamenchirurgie. Ergebnisse einer Langzeitstudie. *Ophthalmologe* 103:501-505

Retzlaff JA, Sander DR, Kraff MC (1990): Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. *J Cataract Refract Surg*; 16(3): 330-340.

Savion N, Alhalel A, Treister G, Bartov E (1996): Role of blood components in ocular silicone oil emulsification. Studies on an in vitro model. *Invest Ophthalmol Vis Sci*; 37: 2694-2699.

Scott IU, Moraczewski AL, Smiddy WE, Flynn HW, Jr., Feuer WJ (2003): Long-term anatomic and visual acuity outcomes after initial anatomic success with macular hole surgery. *Am J Ophthalmol*; 135(5):633-640

Silicone Study Report 1 (1992): Vitrectomy with silicone oil or sulfur hexafluoride gas in eyes with severe proliferative vitreoretinopathy: results of a randomized clinical trial. *Arch Ophthalmol*; 110:770-779.

Silicone Study Report 2 (1992): Vitrectomy with silicone oil or perfluoropropane gas in eyes with severe proliferative vitreoretinopathy: Results of a randomized clinical trial. *Arch Ophthalmol*; 110:780-792.

Smiddy WE, Feuer W, Cordahi G (2001): Internal limiting membrane peeling in macular hole surgery. *Ophthalmology*; 108(8):1471-1476.

Soheilian M, Mirdehghan SA, Peyman GA (2008): Suturless combined 25-Gauge vitrectomy, phacoemulsification, an posterior chamber intraocular lens implantation for management of uveitic cataract associated with posterior segment disease. *Retina*; 28:941-946.

Stefánsson E, Anderson MM Jr, Landers MB 3rd, Tiedeman JS, McCuen BW 2nd (1988): Refractive changes from use of silicone oil in vitreous surgery. *Retina*; 8(1):20-23.

Steffe JF: *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Second edition; Freeman Press East Lansing, MI, USA 1996:85

Sternberg P, Jr., Hatchell DL, Foulks GN, Landers MB (1985): The effect of silicone oil on the cornea. *Arch Ophthalmol*; 103:90-94.

Stifter E, Menapace R, Luksch A, Neumayer T, Sacu S (2008): Anterior chamber depth and change in axial intraocular lens position after cataract surgery with primary posterior capsulorhexis and posterior optic buttonholing. *J Cataract Refract Surg*; 34(5): 749-754.

Tester R, Pace NL, Samore M, Olson RJ (2000): Dysphotopsia in phakic and pseudophakic patients: incidence and relation to intraocular lens type (2). *J Cataract Refract Surg*; 26(6) :810-816.

The Eye Disease Case-Control Study Group (1994): Risk factors for idiopathic macular holes. *Am J Ophthalmol*; 118(6):754-761.

Treumer F, Bunse A, Rudolf M, Roider J (2006): Pars-plana vitrectomy, phacoemulsification and intraocular lens implantation. Comparison of clinical complications versus in a combined versus two-step surgical approach. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*; 244: 808-815.

Weast : *Handbook of Chemistry and Physics*, 64th Edition, CRC Press, Boca Raton 1983-84.

Wu MC, Bhandari A (2008): Managing the broken capsule. *Curr Opin Ophthalmol*; 19: 36-41.

Yoshizumi MO, Dunn B, Ligh JK, Allman RM (1985): Physical properties of vitamine E oil and silicone oil. *Retina*; 5: 63-167.

Zivojnovic R, Mertens DA, Baarsma GS (1981): Fluid silicone in detachment for surgery. *Klin Monatsbl Augenheilkd*; 179(1):17-22.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mir mein Studium und die Vollendung meiner Promotion ermöglichten.

Mein größter Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. J. Petersen, der die Idee zu dieser Arbeit hatte und mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Studie durchzuführen und mich bei meiner wissenschaftlichen und klinischen Arbeit stets großzügig und besonders geduldig unterstützt und inspiriert hat.

Ihm und Frau Dr. U. Ritzau-Tondrow danke ich ganz herzlich für ihre hervorragende chirurgische Arbeit, die wesentlich zur Durchführung dieser Studie beigetragen hat. Beide werden mir stets ein Vorbild sein.

Curriculum vitae

Ich wurde am 17.10.1976 in Kabul/Afghanistan geboren und lebe seit 1986 in Deutschland. Nach Ablegen des Abiturs im Juni 1996 an der Wilhelm-Filchner-Schule in Wolfhagen nahm ich im Oktober 1996 das Studium der Humanmedizin an der Georg-August-Universität in Göttingen auf.

Die ärztliche Vorprüfung legte ich im September 1998, den ersten Abschnitt der ärztlichen Prüfung im September 1999 und den zweiten Abschnitt der ärztlichen Prüfung im April 2002 ab. Nach dem Praktischen Jahr mit dem Wahlfach Augenheilkunde beendete ich das Studium der Medizin erfolgreich im Mai 2003.

Seit Juli 2003 bin ich in der Abteilung Augenheilkunde der Universitätsmedizin Göttingen tätig, zunächst als Ärztin im Praktikum bis September 2004 unter der Leitung von Prof. Dr. med. M. Vogel und unter der kommissarischen Leitung von Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. J. Petersen. Die Approbation erlangte ich im Oktober 2004 und rotierte als Assistenzärztin im Rahmen der Weiterbildung für ein Jahr in die Abteilung für Strabologie und Neuroophthalmologie. Seit März 2009 bin ich als Fachärztin für Augenheilkunde unter der Leitung von Prof. Dr. med. H. Hoerauf an der Universitätsmedizin Göttingen tätig.