

Aus der Klinik für Augenheilkunde  
(Prof. Dr. med. H. Hoerauf)

im Zentrum Augenheilkunde und Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

---

**Stellenwert der optischen Kohärenztomographie in der  
präoperativen Diagnostik funduskopisch unauffälliger  
Kataraktpatienten: Eine klinisch prospektive Studie.**

INAUGURAL – DISSERTATION  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizinischen Fakultät der  
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von  
Antonia Erdmann  
aus  
Berlin

Göttingen 2015

**Dekan:** Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

**I. Berichterstatter:** Prof. Dr. med. H. Hoerauf

**II. Berichterstatter:** Prof. Dr. med. Ch. O. Ritter

**III. Berichterstatter/in:**

**Tag der mündlichen Prüfung:** 01.12.2015

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1	Anatomie am hinteren Augenabschnitt	8
1.2	Augenhintergrund in der Funduskopie	10
1.3	Optische Kohärenztomographie	12
1.4	Normalbefund und Bildinterpretation eines OCT-Schnittbildes	13
1.4.1	Horizontaler Schnitt	14
1.4.2	Vertikaler Schnitt	17
1.5	Aktuelle Datenlage	18
1.6	Fragestellung	20
1.7	Zielsetzung	21
<b>2</b>	<b>Patienten und Methoden</b>	<b>22</b>
2.1	Ethikvotum	22
2.2	Studienplan und Patientenrekrutierung	22
2.2.1	Einschlusskriterien	23
2.2.2	Ausschlusskriterien	23
2.3	Untersuchungen	23
2.3.1	Präoperative Netzhautuntersuchung	23
2.3.2	Untersuchung der Makula mittels OCT	26
2.3.2.1	Aufbau und Funktionsweise der OCT	29
2.3.2.1.1	Aufbau und technische Grundlagen der SD-OCT	31
2.3.2.1.2	OCT – Auflösung	32
2.3.2.1.3	OCT – Einfluss der Wellenlänge	34
2.3.2.2	Verwendetes OCT-Gerät	35
2.4	Archivierung und Datenschutz	35
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>36</b>
3.1	Patientenrekrutierung und Studienverlauf	36
3.2	Patientengut	36
3.3	Auswertung der OCT-Schnittbilder	39
3.3.1	Patienten mit morphologisch unauffälligem OCT-Befund	41
3.3.2	Patienten mit morphologisch auffälligem OCT-Befund	42
3.3.2.1	Vitreoretinale Grenzflächenveränderungen in der OCT	42

3.3.2.1.1	Partielle hintere Glaskörper-Abhebung	43
3.3.2.1.2	Vitreomakuläre/ vitreofoveale Adhäsion	44
3.3.2.1.3	Peripapilläre Adhäsion	45
3.3.2.1.4	Vitreomakuläre Traktion	46
3.3.2.1.5	Zusammenfassende Darstellung der Glaskörper-Veränderungen in der OCT	47
3.3.3	Patienten mit Netzhautveränderungen in der OCT	49
3.3.3.1	Epiretinale Membran	49
3.3.3.2	Drusen	53
3.3.3.3	Weitere subretinale Veränderungen	55
3.3.3.4	Fovea plana	56
3.3.3.5	Zusammenfassende Darstellung der retinalen Veränderungen in der OCT	56
3.4	Klinische Konsequenzen der präoperativen OCT-Befunde	58
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>59</b>
4.1	OCT-Befunde im Literaturvergleich	59
4.1.1	Hintere Glaskörpergrenzmembran	59
4.1.2	Epiretinale Membran	60
4.1.3	Drusen	62
4.1.4	Fovea plana	63
4.2	Therapeutische Konsequenzen	64
4.2.1	Hintere Glaskörpergrenzmembran	64
4.2.2	Epiretinale Membran	66
4.2.3	Drusen	68
4.2.4	Fovea plana	69
4.3	Limitationen und mögliche Fehlerquellen der Studie	70
4.3.1	Studienablauf	70
4.3.2	Patientengut	72
4.4	Schlussfolgerungen	73
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>78</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>83</b>

## Abkürzungsverzeichnis:

AMD	altersbedingte Makuladegeneration
DMÖ	diabetisches Makulaödem
ERM	epiretinale Membran
FD	Fourier-Domänen
GK	Glaskörper
HD	High-Definition
HST	hintere Schalenrührung
KI	Konfidenzintervall
KT	Kernrührung
MLE	Membrana limitans externa
MLI	Membrana limitans interna
NPDR	nicht-proliferative diabetische Retinopathie
OCT	optische Kohärenztomographie
PPV	Pars plana-Vitrektomie
RPE	retinales Pigmentepithel
RT	Rindentrührung
SD	Spektral-Domänen
VMT	vitreomakuläre Traktion

## 1 Einleitung

Die deutsche Bevölkerung erreicht im Durchschnitt ein immer höheres Lebensalter und auch der Anteil an alten Menschen nimmt in Deutschland zu. Aufgrund dieser demografischen Entwicklung gewinnen „altersbedingte“ Erkrankungen wie die Katarakt (Grauer Star) immer mehr an Bedeutung (Prokofyeva et al. 2013).

Eine Trübung der Augenlinse kann viele Ursachen haben. Am häufigsten ist die senile Katarakt infolge einer altersbedingten Veränderung der Linse (Amstutz et al. 2010). Aber auch Traumata, okuläre Entzündungen, ein Diabetes mellitus oder die Einnahme von Kortikosteroiden können bei jungen Patienten zu einer Linsentrübung führen (Smeeth et al. 2003; Delcourt et al. 2000; McCarty et al. 1999).

Bei einer Katarakt unterscheidet man die Trübung der Linsenrinde (Cataracta corticalis) von einer Trübung im Linsenkern (Cataracta nuclearis), die einzeln oder als Mischform (Cataracta corticonuclearis) vorkommen kann. Des Weiteren kann es zu einer Eintrübung der hinteren Linsenschale (Cataracta subcapsularis posterior) kommen. Einen Zusammenhang zwischen Ätiologie und Lokalisation der Linsentrübung wird kontrovers diskutiert (McCarty et al. 1999).

Die Therapie der Katarakt liegt in der operativen Entfernung der trüben Augenlinse und dem Einsatz einer neuen Kunstlinse (Prokofyeva et al. 2013). Die Kataraktextraktion zählt zu den häufigsten Operationen weltweit und stellt mit ca. 700.000 Eingriffen pro Jahr in Deutschland eine Routineoperation dar (Gerste 2012). Durch die Entwicklung der Phakoemulsifikation kann mittels Mikroinzision die Operation besonders schonend durchgeführt werden. Dabei wird durch Ultraschall die Linse zerkleinert und gleichzeitig abgesaugt (Gerste 2012). Anschließend wird eine Kunstlinse eingesetzt, die auch vorhandene Refraktionsanomalien ausgleichen kann, sodass manche Patienten nach der Operation auf ihre Brille verzichten können. Die Kataraktextraktion ist ein risikoarmer Eingriff und erfordert nur eine geringe postoperative Rehabilitationszeit (Solomon und Donnenfeld 2003). Angesichts der signifikanten Visusverbesserung und eines komplikationsarmen Verlaufs kann die Indikation für eine operative Therapie auch noch im hohen Patientenalter gestellt werden. Die meisten Kataraktoperationen werden elektiv durchgeführt (Amstutz et al. 2010). Eine Indikation zur Kataraktextraktion hängt somit vordergründig vom Leidensdruck des Patienten ab. Netzhauterkrankungen können

die Prognose nach Kataraktoperation erheblich beeinflussen. Insofern kommt deren präoperativer Entdeckung eine wichtige Bedeutung zu.

Zu der präoperativen ophthalmologischen Routinediagnostik vor Kataraktextraktion gehören – neben Untersuchungen des vorderen und hinteren Augenabschnittes an der Spaltlampe – eine indirekte und direkte Fundusuntersuchung in Mydriasis, die Visusbestimmung und Augeninnendruckmessung durch die Applanationstonometrie. Geringe pathologische Veränderungen im zentralen Netzhautbereich können jedoch – im Rahmen dieser Untersuchungen gerade wegen der vorhandenen Linsentrübung – übersehen werden. Die optische Kohärenztomographie (OCT) stellt ein diagnostisches Verfahren dar, das pathologische Veränderungen im Bereich der zentralen Netzhaut präzise darstellen kann. Die vorliegende Studie soll den Stellenwert einer routinemäßig durchgeführten OCT-Untersuchung vor Kataraktoperation bei Patienten mit unauffälligem Augenhintergrund in der Funduskopie evaluieren, wobei Patienten mit wegweisenden und typischen subjektiven Symptomen für eine Makulaerkrankung in der Anamnese – wie z. B. Verzerrtsehen (Metamorphopsien) – nicht eingeschlossen werden.

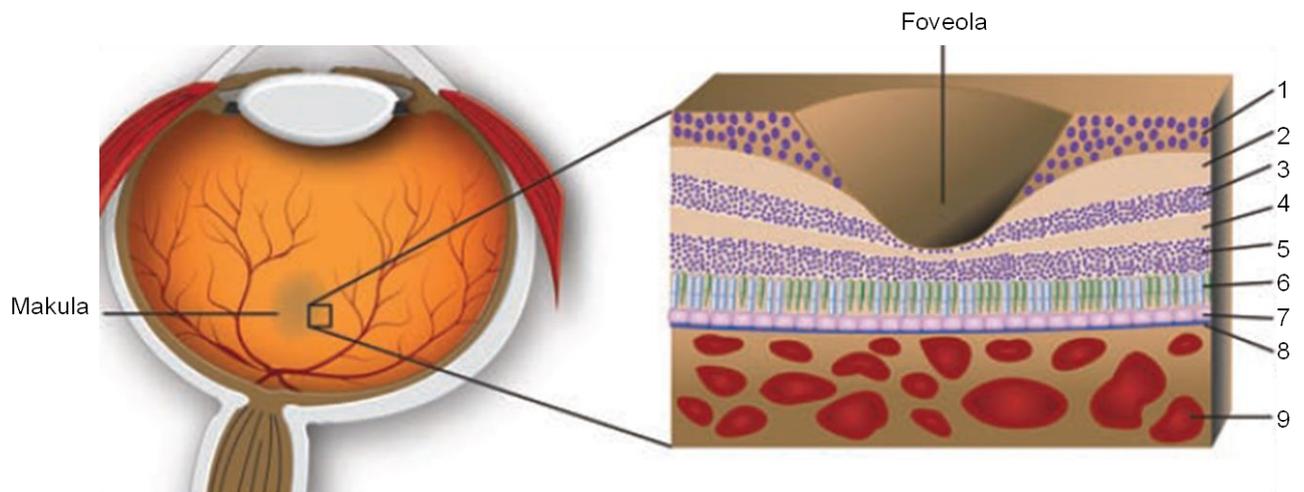
## 1.1 Anatomie am hinteren Augenabschnitt

Der hintere Augenabschnitt ist der Ort der visuellen Sinneswahrnehmung. Hier findet die Umwandlung des durch die Netzhaut (Retina) aufgenommenen Lichtreizes in einen elektrischen Impuls statt (Sachsenweger 2003). Die Netzhaut lässt sich in verschiedene Schichten einteilen (siehe Abbildung 1) und durch die dünne Membrana limitans interna (MLI) zum Glaskörper (GK) sowie das retinale Pigmentepithel (RPE, Abbildung 1 #7), welches der Bruch-Membran (Abbildung 1 #8) aufliegt, zur Aderhaut (Choroidea, Abbildung 1 #9) abgrenzen (Grehn 2008).

Das einfallende Licht trifft, nachdem es den GK durchdrungen hat, als erstes auf die Nervenschichten, die den neurosensorischen Anteil der Retina bilden. Sie bestehen sowohl aus Nervenfasern (Ganglienzellschicht sowie innere und äußere plexiforme Schicht, Abbildung 1 #1,2,4) als auch aus Zellkörpern (innere und äußere Körnerschicht, Abbildung 1 #3,5) der Bipolar-, Müller-, Amakrin- und Horizontalzellen, sowie den Photorezeptoren selbst (Swanson et al. 1993). In der Netzhautperipherie werden die Photorezeptoren vorwiegend durch Stäbchen sowie einige Zapfen gebildet. Ihre Zellkörper befinden sich in der äußeren Körnerschicht und sind durch die Membrana limitans externa (MLE) von den Innen- und Außensegmenten in der Photorezeptorschicht (Abbildung 1 #6) getrennt (Sachsenweger 2003).

Da Netzhautperipherie und Fovea centralis, der Ort des schärfsten Sehens, unterschiedliche Aufgaben erfüllen, bedarf es auch eines unterschiedlichen Aufbaus. Die oben genannte Schichtung ist nur der Netzhautperipherie vorbehalten, welche visuelle Sinneseindrücke, die nicht direkt fixiert werden, verarbeitet und damit der groben Orientierung dient. In der hochspezialisierten Fovea, die das Zentrum der Makula darstellt, zeigt sich ein anderer Aufbau. Durch das Verdrängen von Bipolar- und Ganglienzellen entsteht ein grubenförmig eingesenkter Bereich, der als Foveola bezeichnet wird (Grehn 2008). Um hier Bilder möglichst genau abbilden zu können, trifft das einfallende Licht direkt auf die Photorezeptoren, die in diesem Bereich der Netzhaut aus dicht aneinander liegenden Zapfen bestehen und eins zu eins mit nachfolgenden Bipolar- und Ganglienzellen verschaltet sind (Drexler et al. 2001). Dies ermöglicht eine hohe bildliche Auflösung von Objekten, die direkt fixiert werden. Durch die dicht liegenden Zapfen und damit die gehäufte Ansammlung an Abbauprodukten sind pathologische Veränderungen aufgrund einer gestörten

Interaktion zwischen Photorezeptoren und RPE im Bereich der Makula besonders häufig zu finden (Chen et al. 2007).



**Abbildung 1:** Schichten der Netzhaut im Bereich der Makula (modifiziert nach Chen et al. 2007, S. 2759)

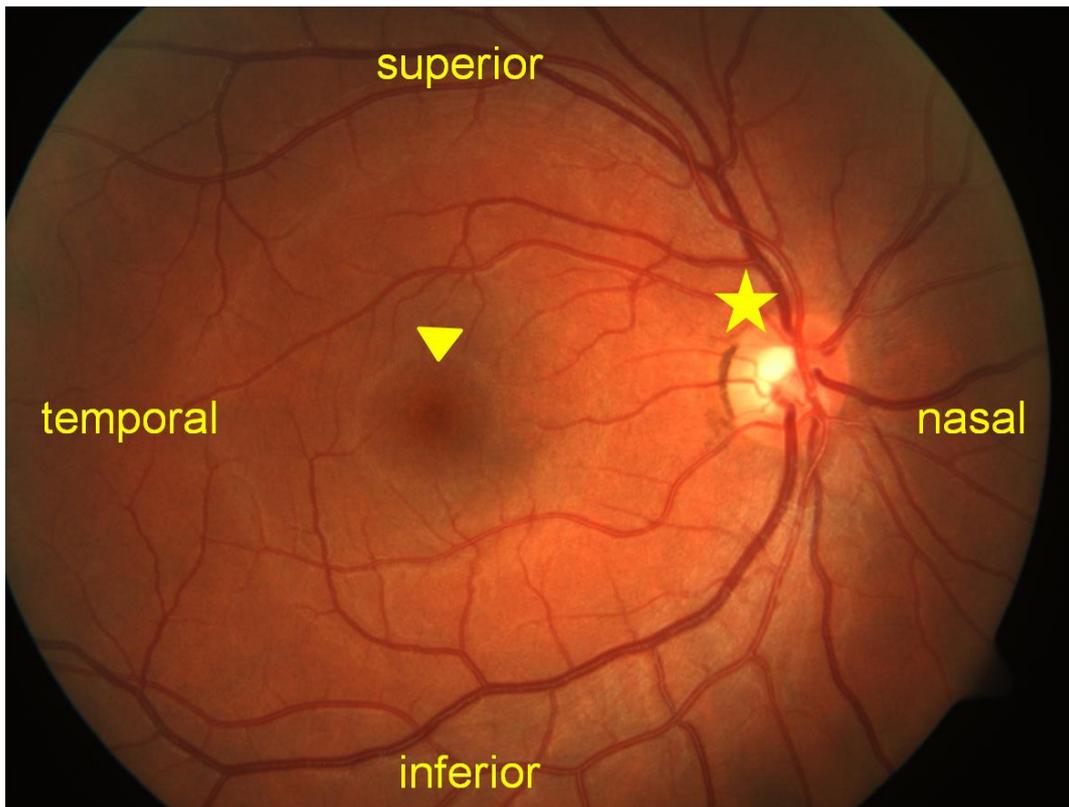
- 1 Ganglienzellschicht
- 2 innere plexiforme Schicht
- 3 innere Körnerschicht
- 4 äußere plexiforme Schicht
- 5 äußere Körnerschicht
- 6 Photorezeptorschicht
- 7 retinales Pigmentepithel
- 8 Bruch-Membran
- 9 Aderhaut

## 1.2 Augenhintergrund in der Funduskopie

Für die genaue Beurteilung des kompletten Augenhintergrundes (Fundus) ist eine dilatierte Pupille Grundvoraussetzung. Das Fundusbild eines Menschen wird durch den Pigmentgehalt, das Lebensalter und die Refraktion beeinflusst (Grehn 2008). Als sichtbare Strukturen sind in der Funduskopie eines physiologischen Augenhintergrundes nur die Netzhautgefäße, das RPE und die Aderhaut zu erkennen (siehe Abbildung 2). Die Rotfärbung des Fundus entsteht durch die gut durchblutete Choroidea, die durch das RPE durchschimmert (Grehn 2008).

Die Netzhaut ist nicht sichtbar, was für die visuelle Sinneswahrnehmung von großer Bedeutung ist. Einfallendes Licht muss, bevor es die Photorezeptoren als Sinneszellen erreicht, die komplette Netzhaut durchdringen. Wäre diese nicht transparent, so würden visuelle Reize zu den auf der Außenseite der Netzhaut lokalisierten Stäbchen und Zapfen nicht vordringen können. Um diese Lichtdurchlässigkeit zu ermöglichen, sind die Axone der Ganglienzellen im Bereich der Netzhaut nicht myelinisiert (Grehn 2008). Erst im Sehnerv, der im Fundus durch die Papille mit einem Durchmesser von ca. 1,7 mm (siehe Stern in Abbildung 2) sichtbar ist, bekommen die Nervenfasern eine Myelinscheide und erreichen dadurch eine höhere Leitungsgeschwindigkeit (Sachsenweger 2003).

Die im nasalen Fundusbereich gelegene Papille dient bei der Funduskopie der Orientierung am Augenhintergrund. Die Fundusgefäße ziehen von hier bogenförmig zur Netzhautperipherie und versorgen damit den kompletten Fundus. Temporal der Papille sieht man einen unscharf begrenzten dunkleren Bereich, die Makula (Pfeilspitze in Abbildung 2). Pathologische Veränderungen können in diesem Areal mittels Funduskopie aufgrund begrenzter Auflösung nicht immer zuverlässig erkannt oder ausgeschlossen werden (Do et al. 2006). Die OCT stellt in diesem Zusammenhang ein Verfahren dar, das eine detailliertere Beurteilung der Makula durch die Darstellung aller Netzhautschichten im Schnittbild ermöglicht.



**Abbildung 2:** Augenhintergrund (Fundus). Der gelbe Stern kennzeichnet die Papille, die gelbe Pfeilspitze zeigt auf die Makula.

### 1.3 Optische Kohärenztomographie

Die OCT-Technik der Kohärenzinterferometrie wurde erstmalig 1988 durch Fercher et al. als ophthalmologische Diagnostikmethode zur Untersuchung der Augensulbuslänge eingeführt (Fercher et al. 1988). Humphrey/Zeiss Meditec brachten im Jahr 1996 die ersten kommerziell verfügbaren OCT-Geräte für die Darstellung der Retina auf den Markt (Hüttmann et al. 2009).

In den letzten Jahren hat sich die OCT als Schnittbilddiagnostik des vorderen und hinteren Augenabschnittes etabliert. Neben der Begutachtung der Fundusoberfläche kann man durch sie nun auch Tiefenstrukturen und die Schichtung der Netzhaut identifizieren. Die OCT-Diagnostik ist dabei in der Lage, innerhalb weniger Sekunden mittels Laserlicht im Infrarotbereich in Histologie-ähnlicher Darstellung kleinste Veränderungen der Netzhaut sowie der vitreoretinalen Grenzfläche abzubilden (Jaffe und Caprioli 2004). Da das Auge mit seinen lichtdurchlässigen Medien eine hohe Eindringtiefe des Laserlichtes ermöglicht, ist die OCT-Diagnostik besonders für eine breite Anwendung in der Augenheilkunde geeignet (Wirbelauer et al. 2002). Die OCT-Untersuchung erfolgt ohne Kontakt zwischen Untersuchungsgerät und Patient, ist damit nicht-invasiv und stellt somit ein ideales diagnostisches Verfahren für die zentrale Netzhaut dar.

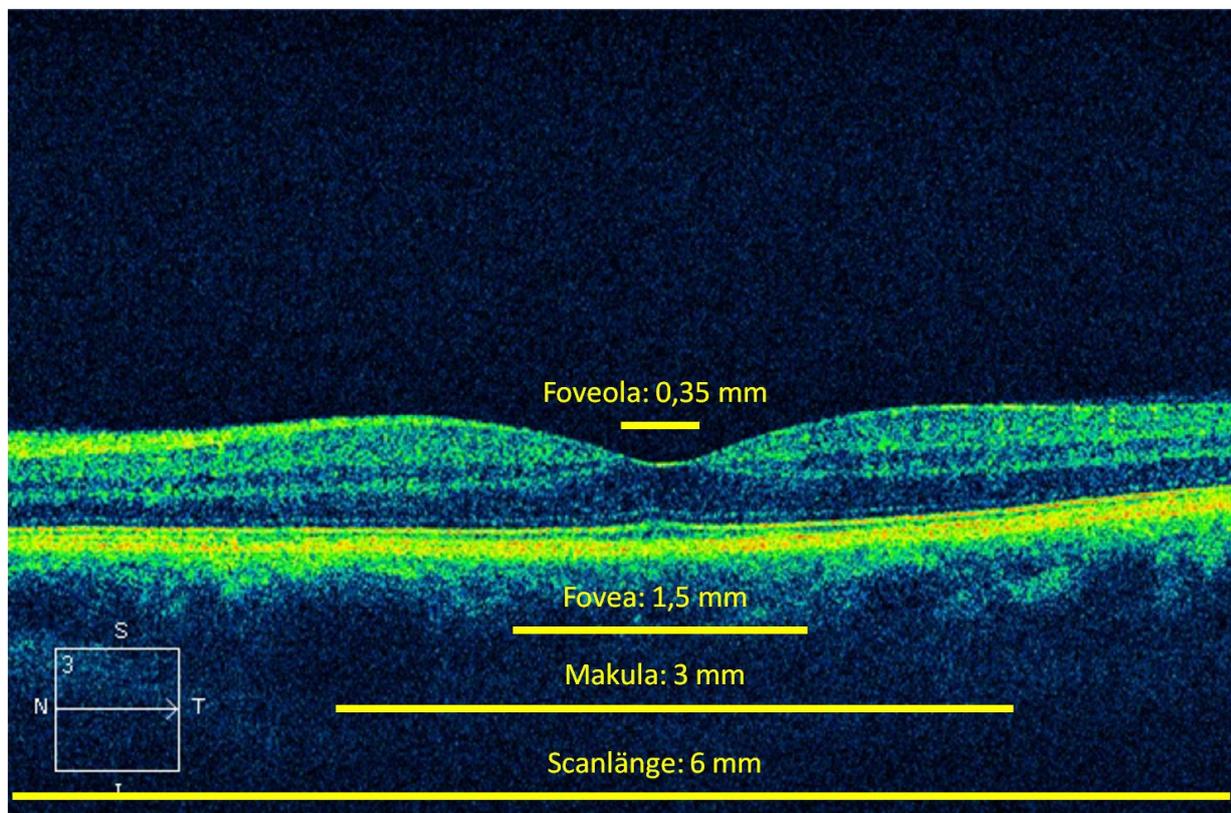
In der augenärztlichen Praxis kommen verschiedene Typen von OCT-Geräten zur Anwendung. Das Spektrum reicht von OP-Mikroskop-gebundenen OCT-Geräten (Geerling et al. 2005) über Spaltlampen-gekoppelte Systeme (Hoerauf et al. 2002a) bis zu der klassischen Funduskamera-basierten Form, die den weitaus größten Teil darstellt und auch der OCT-Diagnostik in dieser Studie diene.

Weitere Anwendungsgebiete der OCT finden sich in der Kardiologie, wobei durch eine kathetergebundene intravasale OCT-Diagnostik eine bessere Untersuchung für atherosklerotisch bedingte Plaques erreicht wird (Tearney et al. 2008). Auch die Diagnostik am Ösophagus oder an den Bronchien kann mittels OCT-Technik erweitert werden (Hariri et al. 2012).

#### 1.4 Normalbefund und Bildinterpretation eines OCT-Schnittbildes

Um Unterschiede zwischen Pathologien und einem physiologischen OCT-Schnittbild erkennen zu können, soll im Folgenden zunächst auf die anatomische Einteilung sowie die Merkmale eines physiologischen OCT-Schnittbildes eingegangen werden.

Analog zur Anatomie des hinteren Augenabschnittes im Bereich der Makula (siehe Abbildung 1) lässt sich auf dem OCT-Schnittbild eine Differenzierung in Makula, Fovea und Foveola vornehmen (siehe Abbildung 3). Inmitten der Makula befindet sich, mit einem Durchmesser von ca. 1,5 mm, die Fovea, welche gefäßfrei und grubenförmig eingesenkt ist (Grehn 2008). Die im Durchmesser 0,35 mm große Grube in der Fovea ist die Foveola und enthält als Photorezeptoren dicht liegende Zapfen (Sachsenweger 2003). Im klinischen Alltag werden die Begrifflichkeiten häufig anders verwendet. Die Fovea wird fälschlicherweise oft als Makula und die Foveola als Fovea bezeichnet.



**Abbildung 3:** Anatomische Einteilung des horizontalen OCT-Schnittbildes mittels Cirrus-OCT (Zeiss) im Bereich der Makula

### 1.4.1 Horizontaler Schnitt

In Abbildung 4 ist ein horizontales OCT-Schnittbild des linken Auges durch den physiologischen hinteren Augenabschnitt im Bereich der Makula abgebildet. Die untere Abbildung stellt dabei eine Vergrößerung des rot markierten Bereiches in der oberen Abbildung dar.

Mit der verwendeten OCT-Technik können bis zu 10 Schichten voneinander abgegrenzt werden. Nachdem das Laserlicht den vorderen Augenabschnitt passiert hat, trifft es auf den im OCT-Bild dunkel erscheinenden Glaskörperraum. Der GK besitzt aufgrund seines hohen Wasseranteils geringe reflektierende Eigenschaften. Die hintere GK-Grenzmembran ist – ähnlich wie prämakuläre GK-Trübungen – in Einzelfällen präretinal darstellbar. Die MLI, die den GK von der Nervenfaserschicht trennt, ist in der OCT nicht sichtbar (Drexler et al. 2001).

Nach dem hyporeflektiven GK erscheint die Nervenfaserschicht als erstes starkes Signal (Abbildung 4 #1). Nasal der Fovea, zum Sehnerven hin, erscheint diese Struktur physiologisch verdickt (siehe gelber Pfeil in Abbildung 4). Dies ist durch den zusammenführenden Verlauf von Nervenfasern im Sehnerv begründet. Bei der Darstellung des linken Auges führt dies im horizontalen Schnittbild zu einem verstärkten Signal im linken Bereich des OCT-Bildes. Durch das Fehlen der Nervenfaserschicht im Bereich der Makula ist diese dort auch nicht erkennbar.

Direkt unter der stark reflektierenden Nervenfaserschicht folgt die hyporeflektive Ganglienzellschicht. Sie wird mit zunehmender Dicke der Nervenfaserschicht schmaler, kann jedoch im OCT-Schnittbild meist nicht von der Nervenfaserschicht unterschieden werden.

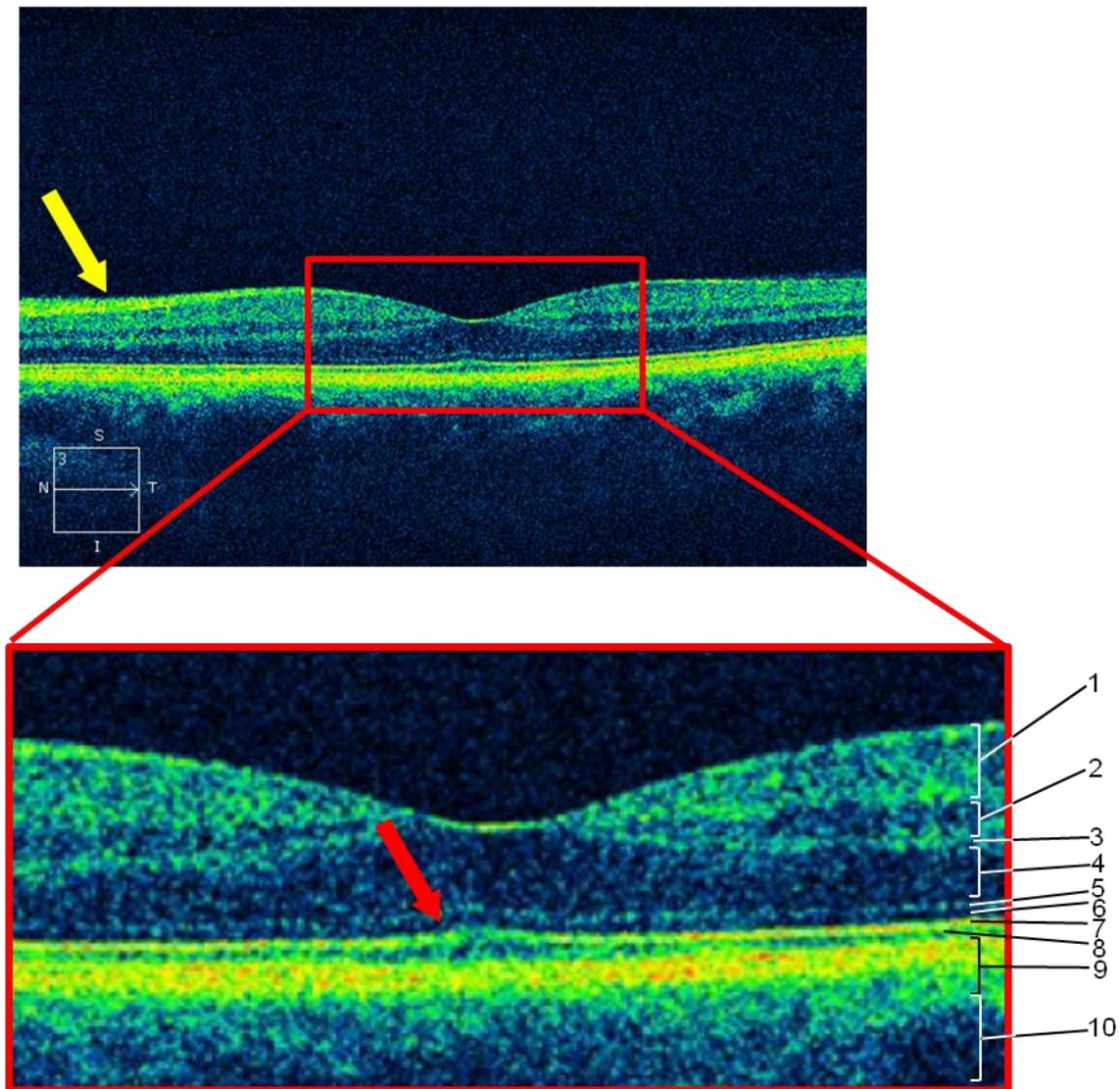
Anschließend folgen im Wechsel hyper- und hyporeflektive Schichten, die durch die innere plexiforme Schicht, innere Körnerschicht, äußere plexiforme Schicht und die äußere Körnerschicht gebildet werden (Abbildung 4). Plexiforme Schichten stellen sich hyperreflektiv dar, während intraretinale nukleäre Schichten eher hyporeflektiv erscheinen. Die innere plexiforme Schicht kann aufgrund ihrer hyperreflektiven Eigenschaft im OCT-Schnittbild nicht von der Nervenfaserschicht unterschieden werden. Daher wird nach der hyperreflektiven Nervenfaserschicht erst die hyporeflektive innere Körnerschicht im OCT-Schnittbild differenziert (Abbildung 4 #2). Die unterschiedlichen Reflexionseigenschaften im OCT-Schnittbild sind durch den

unterschiedlichen Lipidgehalt in den verschiedenen Schichten zu begründen. Die innere oder äußere plexiforme Schicht bestehen aus Nervenfasern und enthalten entsprechend viel Lipid, was zu einem höheren refraktiven Index führt und damit ein stärkeres Signal im OCT-Schnittbild erzeugt (Gloesmann et al. 2003). Im Gegensatz dazu besteht die innere und äußere Körnerschicht aus den Zellkernen der Bipolar-, Müller-, Horizontal- und Amakrinzellen bzw. der Stäbchen und Zapfen. Damit befindet sich in diesen Schichten wenig Lipid, was den geringeren refraktiven Index erklärt (Gloesmann et al. 2003).

Nach der breiten äußeren Körnerschicht, in der die Zellkerne der Stäbchen und Zapfen zu finden sind (Abbildung 4 #4), schließt sich die dünne reflektive äußere Grenzmembran (MLE, Abbildung 4 #5) an, gefolgt von inneren und äußeren Photorezeptorsegmenten, die sich mit einer geringen Reflexionseigenschaft darstellen (Abbildung 4 #6,8). Die Abgrenzung zwischen inneren und äußeren Photorezeptorsegmenten lässt sich durch eine dazwischen liegende reflektierende Schicht veranschaulichen (Abbildung 4 #7). Dabei handelt es sich um keine histologische Schicht, sondern eher um eine Verbindung zwischen glialen Müller- und Photorezeptorzellen (Drexler et al. 2001).

Innere und äußere Photorezeptorsegmente lassen sich in der Fovea besser voneinander abgrenzen, da durch die fehlende Nervenfaserschicht keine Abschwächung des diagnostischen Laserlichtes erfolgt. Im Bereich der Fovea kommt es zusätzlich zu einer Zunahme der äußeren Zapfensegmentlänge (Drexler et al. 2003). Daher nimmt auch der Abstand zwischen RPE (Abbildung 4 #9) und der reflektierenden Abgrenzung zwischen inneren und äußeren Zapfensegmenten im Bereich der Fovea zu (siehe roter Pfeil in Abbildung 4).

Das darauffolgende RPE weist aufgrund seines Melaningehaltes eine starke Reflektivität auf. Seine hohe Absorption von Licht erschwert jedoch auch die OCT-Diagnostik tiefer liegenden Schichten wie der Choroidea. Die 2,0 - 4,7  $\mu\text{m}$  dicke Bruch-Membran, auf der das RPE aufliegt, ist bei einer axialen Auflösung von 5  $\mu\text{m}$  nicht darstellbar (Ramrattan et al. 1994). Unter dem RPE befinden sich die Choriokapillaris und die Aderhaut (Abbildung 4 #10). Bei der verwendeten Wellenlänge des diagnostischen Laserlichtes schattet ein intaktes RPE diese Aderhautstrukturen weitgehend ab (Hrynychak und Simpson 2000). Eine visuelle Abgrenzung ist daher meist nicht möglich.

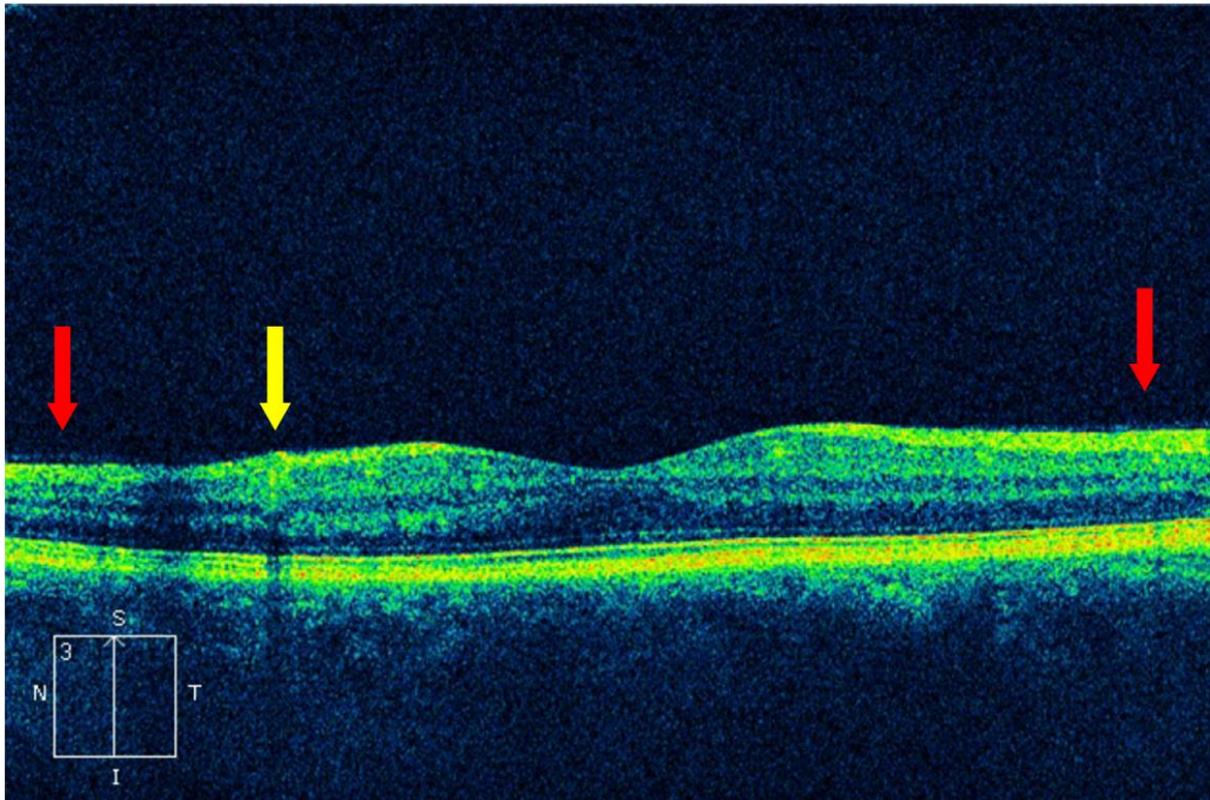


**Abbildung 4:** Horizontales OCT-Schnittbild der zentralen Netzhaut (oben) sowie die Vergrößerung der Makula (unten). Verdickte Nervenfaserschicht (gelber Pfeil). Die äußeren Zapfensegmente nehmen an Länge zu (roter Pfeil)

- 1 Nervenfaserschicht mit Ganglienzellschicht
- 2 innere Körnerschicht
- 3 äußere plexiforme Schicht
- 4 äußere Körnerschicht
- 5 Membrana limitans externa
- 6 innere Segmente der Stäbchen und Zapfen
- 7 Verbindung zwischen Müller- und Photorezeptorzellen
- 8 äußere Segmente der Stäbchen und Zapfen
- 9 retinales Pigmentepithel
- 10 Choriokapillaris und Aderhaut

### 1.4.2 Vertikaler Schnitt

Die Abbildung 5 zeigt die Schichtanordnung in der vertikalen OCT-Schnittbildaufnahme, welche identisch zum horizontalen Schnittbild ist. Im vertikalen Scan werden im Schnittbild jedoch häufig die retinalen Gefäße dargestellt, die von der Papille kommend, bogenförmig in den Fundus ziehen. Der gelbe Pfeil in Abbildung 5 zeigt auf diese stark reflektierende Struktur in den oberflächlichen Abschnitten der Netzhaut, welche zu einem Maskierungseffekt von tiefer liegenden Strukturen führt. Im Gegensatz zum horizontalen Schnittbild zeigt sich die Nervenfaserschicht superior und inferior der Makula gleich breit (siehe rote Pfeile in Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Vertikales OCT-Schnittbild einer physiologischen Netzhaut. Nervenfaserschicht ist superior und inferior der Makula gleich breit (rote Pfeile). Retinales Gefäß (gelber Pfeil)

## 1.5 Aktuelle Datenlage

Obwohl sich die OCT zunehmend zu einem anerkannten diagnostischen Verfahren bei diversen ophthalmologischen Pathologien entwickelt hat (Figurska et al. 2010; Do et al. 2006; Puliafito et al. 1995), wurde eine vergleichbare Fragestellung bisher nur von wenigen Studien aufgegriffen (Creese et al. 2012; Milani et al. 2012; Contreras et al. 2008). 2012 untersuchten Creese et al. 218 Patientenaugen (Durchschnittsalter 73 Jahre; mittlerer Dezimal-Visus 1,0 bis Fingerzählen, Mittelwert 0,67) vor geplanter Kataraktextraktion mit der Diagnose einer Katarakt ohne vorhandene Makulopathie. Ein minimaler Dezimal-Visus als Einschlusskriterium wurde nicht festgelegt. Bei einem präoperativ unauffälligen Fundusbefund wurde ein OCT-Schnittbild mittels eines Spektral-Domänen(SD)-OCT-Gerätes angefertigt. Funduskopie und OCT-Diagnostik erfolgten nicht am gleichen Tag, sondern in einem zeitlichen Abstand bis zu 302 Tagen (im Mittel 102 Tage). Anhand der Beurteilung des OCT-Schnittbildes durch einen Augenarzt erfolgte anschließend eine erneute Evaluierung der Operationsindikation (Creese et al. 2012).

10 Augen zeigten im OCT-Schnittbild Pathologien, die in der vorherigen Funduskopie nicht ersichtlich waren. Davon führten 5 Pathologien zu einer Änderung der therapeutischen Strategie. Dabei wurde durch die Diagnostik von 3 Augen die Indikation der Kataraktextraktion aufgehoben und bei 2 Augen die Kataraktoperation verschoben. Bei weiteren 5 Patientenaugen erfolgte aufgrund des OCT-Befundes eine Neueinschätzung des erreichbaren postoperativen Visus, was eine Änderung der präoperativen Patienteninformation erforderte (Creese et al. 2012). Die Tabelle 1 fasst die Patientenbefunde der 10 pathologischen OCT-Schnittbilder sowie deren klinische Konsequenz zusammen.

**Tabelle 1:** Patientenbefunde sowie die klinische Konsequenz der pathologischen OCT-Schnittbilder in der Studie von Creese et al. 2012

Patient	Visus	Fundusbefund	OCT-Befund	Klinische Konsequenz
1	0,25	unauffällig	feuchte AMD	OP verschoben, intravitreale Injektionen
2	0,67	unauffällig	feuchte AMD	OP aufgehoben, intravitreale Injektionen
3	0,5	unauffällig	Makulaloch	OP aufgehoben, PPV geplant
4	0,67	unauffällig, leichte NPDR	DMÖ	OP verschoben, fokale Laserbehandlung
5	1	unauffällig, leichte NPDR	ERM	OP aufgehoben
6	0,5	unauffällig	ERM	Einverständniserklärung geändert
7	0,67	unauffällig	Drusen	Einverständniserklärung geändert
8	0,67	unauffällig	ERM, leichtes Makulaödem	Einverständniserklärung geändert
9	0,67	unauffällig	ERM	Einverständniserklärung geändert
10	0,67	unauffällig	ERM	Einverständniserklärung geändert

AMD: altersbedingte Makuladegeneration; PPV: Pars plana-Vitrektomie; DMÖ: diabetisches Makulaödem; NPDR: nicht-proliferative diabetische Retinopathie; ERM: epiretinale Membran

## 1.6 Fragestellung

Die hochauflösende OCT hat sich in den letzten Jahren für die Diagnostik von Makulaerkrankungen etabliert. Aufgrund der hohen Auflösung und der Darstellung im Histologie-ähnlichen Schnittbild ist sie in der Diagnostik feiner intra-, sub- oder epiretinaler Veränderungen oder Pathologien der vitreoretinalen Grenzfläche der Funduskopie deutlich überlegen. Eine alleinig durchgeführte Ophthalmoskopie könnte in der präoperativen Katarakt Diagnostik aufgrund eines reduzierten Einblickes und daraus resultierend nicht entdeckter Pathologien am hinteren Augenabschnitt zu operativen Fehlentscheidungen führen und die Prognose über den postoperativen Visusverlauf verfälschen.

Durch die Entwicklung neuer Intraokularlinsen, die Refraktionsanomalien ausgleichen können, sind die Erwartungen der Patienten an den postoperativen Visusverlauf gestiegen (Abbott 2009). Kirwan et al. zeigten, dass ein bedeutsamer Anteil von 5,2 % der Kataraktpatienten mit dem postoperativen Visus unzufrieden war (Kirwan et al. 2015). Um den gegenwärtigen Anforderungen an die operativen Ergebnisse entsprechen zu können und den postoperativen Visusverlauf möglichst genau abschätzen zu können, ist eine präzise präoperative Diagnostik erforderlich.

Die OCT-Untersuchung ist als nicht-invasives bildgebendes Verfahren in der Lage, die klinische Beurteilung der Fovea zu präzisieren und damit die präoperative Diagnostik vor Kataraktoperation zu erweitern. Schlussfolgernd stellt sich die Frage, ob der Stellenwert der OCT-Diagnostik so hoch anzusehen ist, dass man sie routinemäßig in die präoperative Kataraktuntersuchung von funduskopisch unauffälligen Patienten einbeziehen sollte.

## **1.7 Zielsetzung**

Um diese Fragestellung beantworten zu können, wird die präoperative Kataraktdiagnostik bei Patienten mit einem Grauen Star (Mindestanzahl: 100 Patienten), die sich für eine Kataraktextraktion im Universitätsklinikum Göttingen vorstellen und die neben der kataraktbedingten visuellen Einschränkung keine visuellen Symptome angeben sowie in der Funduskopie keine Pathologien aufweisen, durch eine hochauflösende OCT-Untersuchung erweitert. Dabei gilt es, Pathologien im OCT-Schnittbild zu erkennen, die mittels Funduskopie nicht sichtbar sind.

Die Ergebnisse der Fundusuntersuchung und die OCT-Untersuchung werden unter der Fragestellung verglichen und bewertet, ob daraus Konsequenzen hinsichtlich der geplanten Kataraktoperation bzw. des weiteren Vorgehens resultieren, um damit den Stellenwert der OCT-Untersuchung in der präoperativen Kataraktdiagnostik einzuschätzen.

Diese Studie soll aufzeigen, ob durch eine routinemäßig durchgeführte präoperative OCT-Untersuchung die Qualität der Indikationsstellung für eine Kataraktoperation verbessert wird.

## 2 Patienten und Methoden

### 2.1 Ethikvotum

Die Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Universitätsmedizin Göttingen bestätigte den Antrag 11/12/12 durch ein positives Votum. Es wurden keine ethischen oder rechtlichen Bedenken gegen den Antrag geäußert.

### 2.2 Studienplan und Patientenrekrutierung

Für die Studie war eine Mindestanzahl von 100 Patienten vorgesehen, die mit der Frage zur Indikationsstellung einer Kataraktextraktion von ihren niedergelassenen Augenärzten/-innen in der Augenklinik der Universitätsmedizin Göttingen vorgestellt wurden.

Die Patientenrekrutierung erfolgte prospektiv aus den Patientenkollektiven der Poliklinik, der stationären Versorgung und der ambulanten operativen Versorgung der Universitätsaugenklinik Göttingen.

Bei allen Studienpatienten erfolgte nach schriftlicher Einwilligung zur Teilnahme an der Studie die OCT-Untersuchung im Diagnostik-Labor der Poliklinik. Nur OCT-Bilder, die ein vollständiges Schnittbild veranschaulichten und dadurch aussagekräftig in die Auswertung eingehen konnten, wurden in die Studie aufgenommen.

Patienten, deren Kataraktoperation *stationär* durchgeführt wurde, erhielten im Rahmen der stationären Aufnahme einen Tag vor ihrer geplanten Operation in der Klinik eine Visusbestimmung, eine Applanationstonometrie und eine Untersuchung an der Spaltlampe sowie eine indirekte Funduskopie.

Patienten, bei denen die Kataraktextraktion *ambulant* durchgeführt wurde, wurden ein bis zwei Tage vor der Operation telefonisch über die Studie unterrichtet und bei mündlicher Einwilligung zur Teilnahme an der Studie um ein zeitigeres Erscheinen am Operationstag gebeten. Bei ihnen wurde die präoperative Routinediagnostik und Fundusbeurteilung bereits einige Tage oder Wochen vor dem Operationstermin in der Poliklinik durchgeführt. Da eine OCT-Untersuchung auch bei enger Pupille

möglich ist, musste bei diesen Patienten die OCT-Untersuchung nicht in vollständiger Mydriasis durchgeführt werden.

### **2.2.1 Einschlusskriterien**

Alle Patienten, die sich mit einer vom Assistenz- und Oberarzt/-ärztin diagnostizierten Katarakt und indizierter Kataraktoperation in der Augenklinik der Universitätsmedizin Göttingen im Zeitraum von Februar 2013 - Mai 2013 vorstellten und bei denen ein unauffälliger Fundus in der Ophthalmoskopie dokumentiert war, konnten an der Studie teilnehmen. Des Weiteren mussten sie mindestens 18 Jahre alt sein und nach einhergehender Aufklärung über die Studie die schriftliche Einverständniserklärung unterschrieben haben.

### **2.2.2 Ausschlusskriterien**

Patienten, die vorbeschriebene oder in der Poliklinik-Untersuchung funduskopisch diagnostizierte Pathologien der Netzhaut oder der Makula aufwiesen, wurden nicht in die Studie aufgenommen. Auch typisch retinal bedingte, subjektive klinische Symptome oder vorangegangene ophthalmologische Operationen am hinteren Augenabschnitt sowie vorausgegangene intraokulare Medikamenteninjektionen bildeten weitere Ausschlusskriterien. Des Weiteren wurden Patienten mit einem Dezimal-Visus  $< 0,2$  aufgrund fortgeschrittener Katarakt ausgeschlossen, da die optische Qualität durch die Medientrübung nicht ausreichend gut für eine präzise OCT-Darstellung der Netzhaut und Interpretation des OCT-Befundes wäre.

## **2.3 Untersuchungen**

### **2.3.1 Präoperative Netzhautuntersuchung**

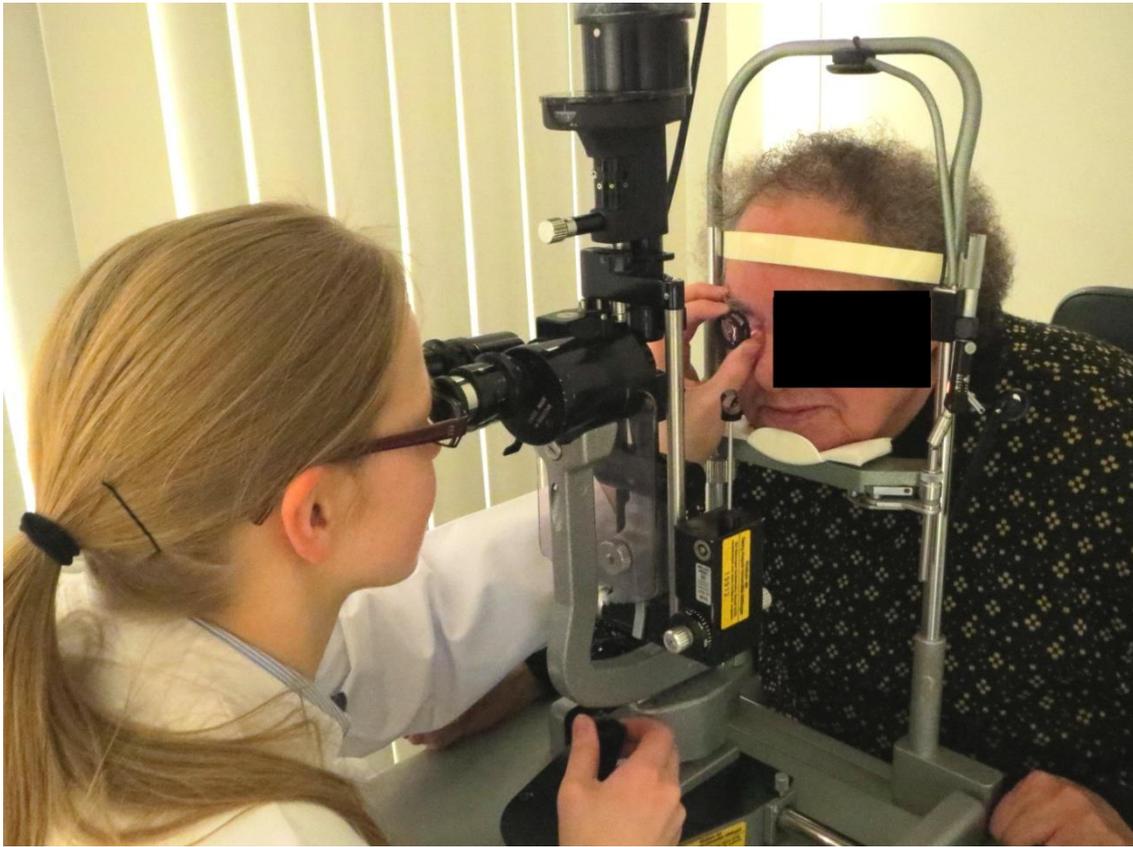
Bei der Anamnese wurden alle Patienten nach deren Beschwerden, aktueller Augenmedikation, eventuellen Vorerkrankungen am Auge und systemischen

Erkrankungen befragt. Die präoperative Diagnostik enthielt zunächst eine vollständige ophthalmologische Untersuchung durch einen Assistenzarzt/-ärztin der Augenklinik. Diese bestand aus Visusbestimmung, Applanationstonometrie, Spaltlampenuntersuchung in Miosis und Mydriasis sowie einer Funduskopie der zentralen und peripheren Netzhaut. Um eine möglichst unvoreingenommene präoperative Diagnostik zu sichern erfolgte vor Erhebung des ophthalmologischen Status durch den Assistenzarzt keine studieninterne Kennzeichnung der Patientenakten.

Waren die Untersuchungen an enger Pupille erfolgt und dokumentiert, erhielt der Patient, wenn keine Kontraindikation bestand, pupillenerweiternde Augentropfen in Form von Mischtropfen, die Tropicamid und Phenylephrin enthalten. Diese Tropfen wurden dreimal im Abstand von 10 Minuten in den Bindehautsack getropft und ermöglichten nach 30 Minuten eine Funduskopie in Mydriasis.

Am mydriatischen Auge folgte die Inspektion des hinteren Augenabschnittes. Abbildung 6 zeigt die Durchführung einer Spaltlampenbiomikroskopie mittels einer 78-Dioptrien-Lupe, welche die Bewertung der Makula und Papille in Vergrößerung ermöglicht. Bei der folgenden indirekten Funduskopie, die in Abbildung 7 dargestellt ist, wurde unter Zuhilfenahme einer 20-Dioptrien-Lupe die periphere Netzhaut beurteilt und beschrieben.

Wurde der Fundus im Bereich der Makula sowohl vom untersuchenden Assistenzarzt/-ärztin als auch vom zuständigen Oberarzt/-ärztin als unauffällig oder altersentsprechend beschrieben, so wurde der Patient über die Studie informiert. Begleitend dazu erhielt er die Patienteninformation zur Studie (siehe Anhang). Der Patient hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen und wurde über die mit der Teilnahme an der Studie verbundenen Konsequenzen und den möglichen Nutzen unterrichtet. Weiterhin wurde jeder Patient darauf hingewiesen, dass sich seine Ablehnung an der Studienteilnahme nicht nachteilig auf die spätere Behandlung auswirken wird. Zur Vervollständigung erhielt der Patient Informationen darüber wie seine Daten in der Studie erhoben, gespeichert und verarbeitet werden. Bei anschließender Einwilligung unterschrieb der Patient die Einverständniserklärung (siehe Anhang), erhielt bei Bedarf eine Kopie der Einverständniserklärung und die OCT-Untersuchung wurde unmittelbar durchgeführt.



**Abbildung 6:** Spaltlampenbiomikroskopie der zentralen Netzhaut



**Abbildung 7:** Indirekte Funduskopie der peripheren Netzhaut

### 2.3.2 Untersuchung der Makula mittels OCT

Nach Eingabe der Patientendaten und der Desinfektion von Kinn- und Kopfstützen erfolgte die Positionierung des Patienten vor dem OCT-Gerät. Hierfür nahm der Patient eine aufrechte Sitzposition ein. Die Abbildung 8 zeigt die geeignete Position des Patientenkopfes vor der Bilderfassungsapertur, welche mittels beweglicher Kinn- und Kopfstütze eingestellt wurde. Zeitgleich konnte durch das Verstellen der Untersuchungshöhe eine angenehme Sitzposition für den Patienten gewährleistet werden. Nach der orientierenden Einstellung des Auges folgte eine Feinjustierung der Schnittbildebene im Bereich der Makula. Durch das Vor- und Zurückbewegen des Patientenkopfes mit Hilfe der Kinn- und Kopfstütze war es möglich eine scharfe Abbildung der Makula auf dem Infrarotbild zu erhalten. Dieses Positionieren des Kopfes ist notwendig, um neben der OCT-Schnittbildaufnahme auch den korrespondierenden Scan am Augenhintergrund mittels Infrarot-Fundusaufnahme darstellen zu können.



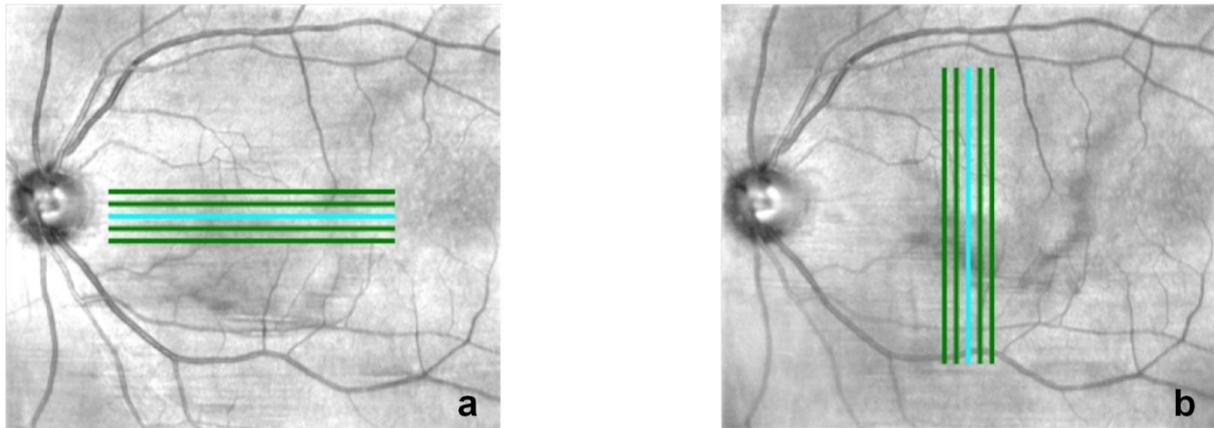
**Abbildung 8:** Patient in Untersuchungsposition am OCT-Gerät (Cirrus High-Definition(HD)-OCT, Carl Zeiss Meditec, Jena, Deutschland) von der Untersucherposition aus betrachtet. Externe Fixierhilfe (Pfeil)

Für eine optimale Augenposition und deren Erhalt während der OCT-Untersuchung erscheint im OCT-Gerät für den Patienten ein Fixierungspunkt in Form eines grünen Sterns auf schwarzem Hintergrund. Untersucht wurde immer nur das Auge, mit dem auch der Stern fixiert wurde. War eine Fixierung des zu untersuchenden Auges nicht möglich, so diente eine externe Lichtquelle, auf die der Pfeil in Abbildung 8 zeigt, als Fixierungspunkt für das andere Auge.

Während der Scannerfassung musste der Patient ohne zwischenzeitliches Blinzeln in die Bilderfassungsoptik blicken. In diesen zwei Sekunden änderte sich der für den Patient sichtbare schwarze Hintergrund in eine leicht hellrot flimmernde Fläche.

Um die Patienten während der Untersuchung zu entlasten und eine bestmögliche OCT-Bildqualität zu erreichen, wurden die Patienten zwischen den Untersuchungen gebeten, durch regelmäßigen Lidschluss die Hornhaut zu befeuchten.

Bei jedem Studienauge wurden 5 horizontale Scans mit einem Scanwinkel von  $0^\circ$  und 5 vertikale Scans mit einem Scanwinkel von  $90^\circ$  erstellt. Sie hatten jeweils einen Abstand von 0,25 mm zueinander und eine Länge von 6 mm. Die Abbildungen 9a und 9b zeigen die Schnittführung der horizontalen und vertikalen Scans an Infrarotbildern der zentralen Netzhaut. Diese Schnittbildfolge wurde gewählt, da dies der üblichen Routineuntersuchung entspricht und die vorliegende Arbeit die OCT-Diagnostik mit diesem Datensatz auf ihre Zweckmäßigkeit als Standarduntersuchung analysieren sollte. Es handelt sich um eine modifizierte Untersuchung, die den zeitlichen Aufwand möglichst gering hält und trotzdem diagnostisch den Zustand der zentralen Netzhaut präzise veranschaulicht. Dreidimensionale Aufnahmen der Makula sind demgegenüber mit einem erheblichen zeitlichen Mehraufwand verbunden und stellen keine Routinediagnostik dar.



**Abbildung 9:** Infrarotbilder der zentralen Netzhaut mit dem Cirrus-OCT (Zeiss). Die Linien zeigen die Lage der Scans an. **a:** bei horizontaler, **b:** bei vertikaler Schnitfführung

Ausgenommen an Patienten, bei denen am gleichen Tag die ambulante Kataraktoperation durchgeführt wurde, entstanden die OCT-Bilder immer an dilatierter Pupille. Dies ermöglichte bei unregelmäßig getrübt Linse das leichtere Durchdringen des Laserlichtes an Stellen der Linse, die nicht so stark getrübt waren.

Gespeichert und ausgedruckt wurden nur Scans, bei denen keine störenden Bewegungsartefakte aufgetreten sind und damit vollständige Schnittbilder erfasst werden konnten.

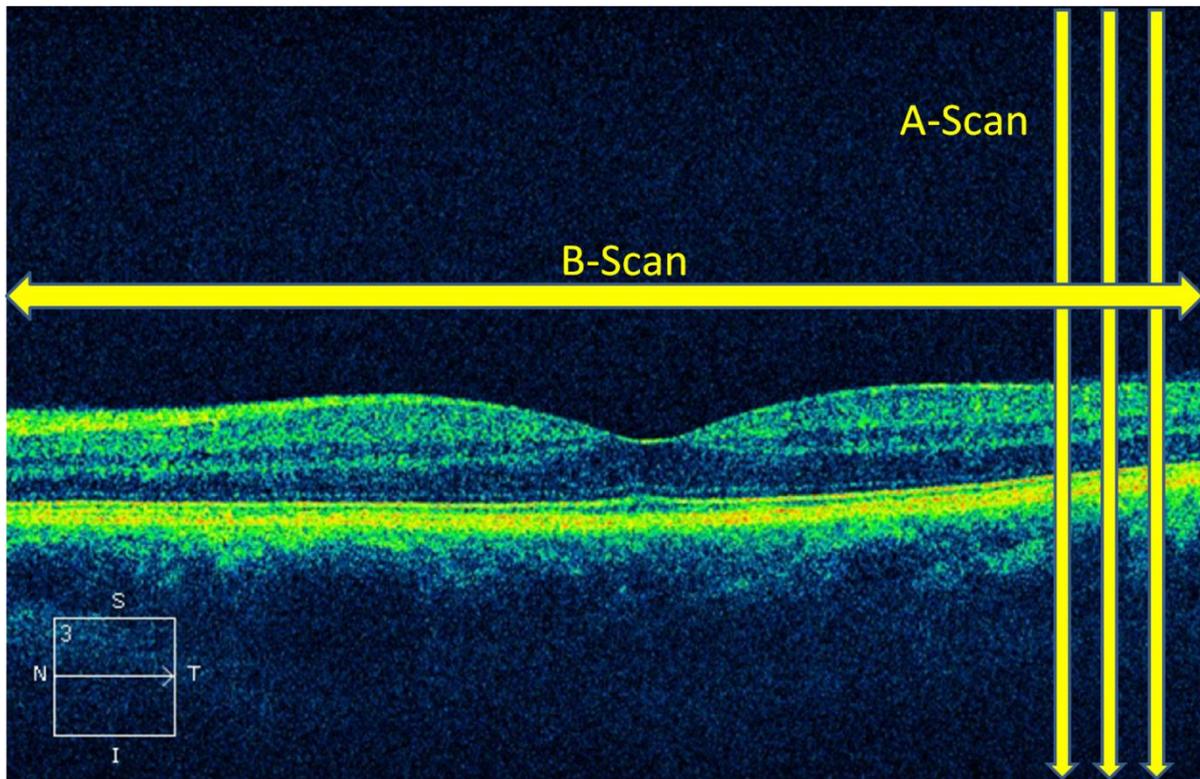
Nach einer studienvorbereitenden Einarbeitungsphase mit Anleitung durch drei ausgebildete Fotografinnen des Augen-Diagnostik-Labors der Universitätsklinik wurden die OCT-Untersuchungen von der Doktorandin unter Supervision und anschließend selbstständig durchgeführt.

Die qualitative Auswertung der OCT-Bilder erfolgte initial unter Anleitung eines Facharztes für Augenheilkunde mit langjähriger Erfahrung auf dem Gebiet der OCT-Diagnostik. Danach wurden die Schnittbildaufnahmen der Netzhaut zunächst durch die Doktorandin evaluiert und bei unerwarteten Befunden ein Augenarzt/ärztin der Klinik hinzugezogen.

### 2.3.2.1 Aufbau und Funktionsweise der OCT

OCT ist eine Abkürzung für *optical coherence tomography* und basiert auf den Grundprinzipien der Michelson-Interferometrie (Hrynchak und Simpson 2000). Diese Methode beinhaltet eine optische Messtechnik, welche erstmals 1730 von Sir Isaac Newton beschrieben wurde (Fujimoto et al. 1995). Sie erhielt den Namen *low coherence interferometry* oder *white light interferometry* (Fujimoto et al. 1995). Bei dieser nicht-invasiven Untersuchungsmethode wird die Reflexion von kurzkohärentem Laserlicht im Infrarotbereich beim Auftreffen auf ein Gewebe genutzt, um mit Hilfe eines Interferometers Informationen über den Schichtaufbau der Gewebsstruktur zu erhalten (Huang et al. 1991).

Dabei sendet eine Lichtquelle, bestehend aus einer Superlumineszenz-Diode, Laserlicht nahe des Infrarotbereiches mit einer geringen Kohärenzlänge aus (Jaffe und Caprioli 2004). Dieses Laserlicht gelangt durch einen semitransparenten Spiegel jeweils zu einem Referenzarm, der den Bezugsweg des Interferometers darstellt, und zum zu untersuchenden Gewebe (siehe Abbildung 11) (Hee et al. 1995). Der Referenzarm beinhaltet meist einen Spiegel (McLellan und Rasmussen 2012). Das vom Referenzspiegel und dem untersuchten Gewebe reflektierte Laserlicht wird anschließend in einem Detektor überlagert (McLellan und Rasmussen 2012). Dabei reflektieren die verschiedenen Gewebsschichten der Netzhaut das Licht in unterschiedlicher Weise und spezifischer zeitlicher Verzögerung. Die dadurch entstehenden Interferenzmuster werden von einer Fotodiode detektiert und als Signal elektronisch ausgewertet. Sie enthalten Informationen über Lokalisation und Reflexionseigenschaften der untersuchten Gewebsschicht und bilden ein tiefenauflösendes Reflexionsprofil (McLellan und Rasmussen 2012). Dieses Reflexionsprofil entspricht einem senkrecht zur Gewebsoberfläche laufenden Tiefenscan (axialer Tiefenscan, optischer A-Scan). Mehrere A-Bilder werden mehrfach dicht nebeneinander gescannt und ergeben dadurch ein zweidimensionales Schnittbild, ein sog. OCT-Tomogramm oder auch B-Scan genannt (Drexler 2004), wie es in der Abbildung 10 dargestellt wird. Dies ermöglicht die Rekonstruktion eines Histologie-ähnlichen Schnittbildes des untersuchten Gewebes (Puliafito et al. 1995). Die Scanrichtung wird durch das Piktogramm links unten im OCT-Schnittbild angegeben. Dabei wurde der Scan in Abbildung 10 von nasal nach temporal durchgeführt.



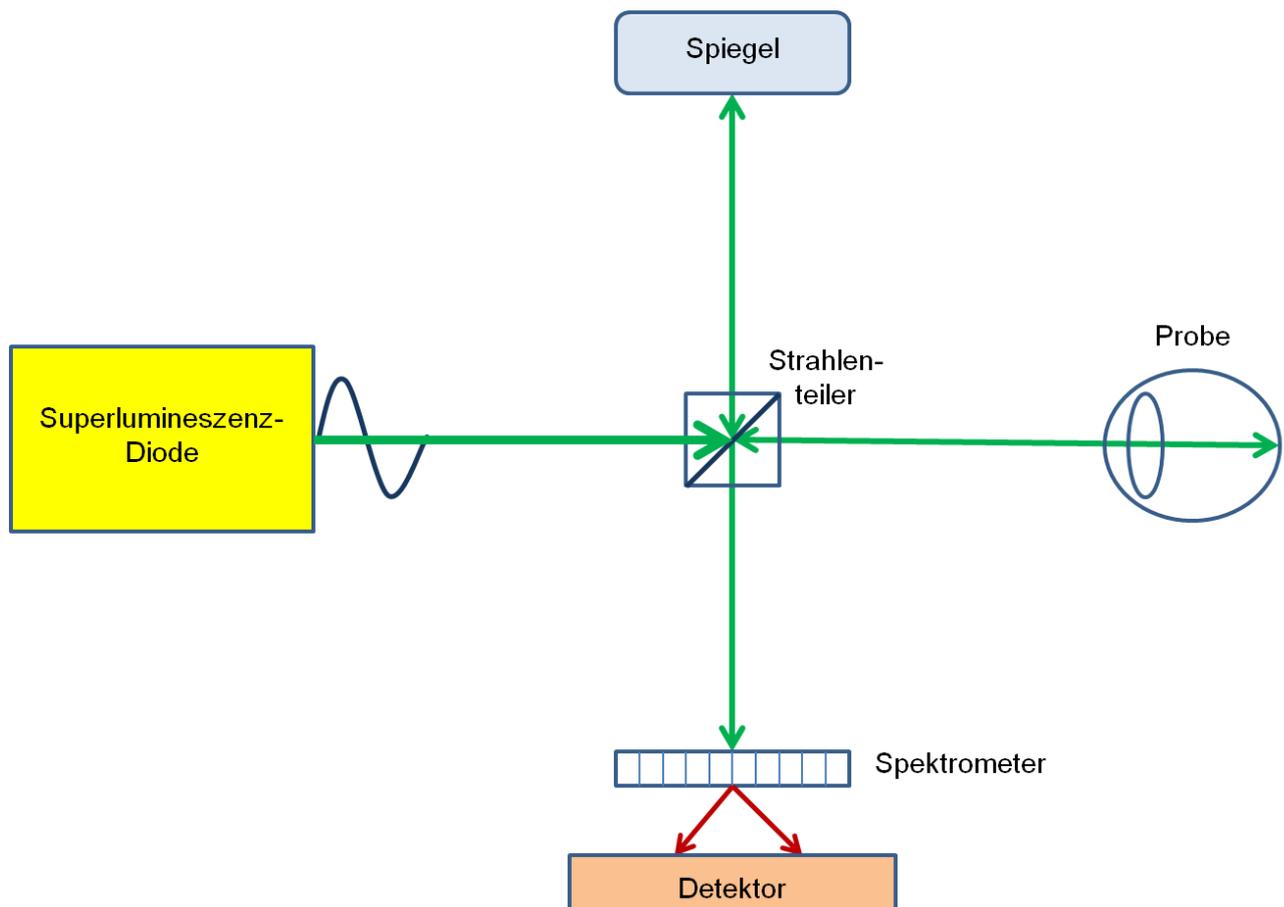
**Abbildung 10:** Horizontales OCT-Schnittbild. Mehrere aneinandergereihte A-Scans ergeben einen B-Scan

Das Schnittbild kann in Graustufen oder Falschfarben kodiert wiedergegeben werden (Drexler et al. 2001). Gebräuchlich ist die Kodierung mit Falschfarben, welche schwache Signale mit Farben niedriger Wellenlänge (schwarz bis grün) und hohe Reflektivität mit Farben höherer Wellenlänge (rot bis weiß) darstellt (Toth et al. 1997). Diese Art der Darstellung wurde auch in der vorliegenden Studie genutzt.

Durch eine unterschiedliche Reflektivität, Streuung und Brechkraft der gut zu differenzierenden retinalen Schichten können verschiedene Signale in der OCT aufgezeichnet werden (Gloesmann et al. 2003). Da jedoch ein OCT-Bild nur die optischen Eigenschaften einer untersuchten Struktur widerspiegelt, muss nicht unbedingt eine vollständige Übereinstimmung der Differenzierung – wie in den histologischen Gewebsschnitten – gegeben sein. Benachbarte Strukturen, die identische optische Eigenschaften aufweisen, machen eine Differenzierung im OCT-Schnittbild schwierig, sind jedoch histologisch möglicherweise eindeutig abzugrenzen.

### 2.3.2.1.1 Aufbau und technische Grundlagen der SD-OCT

Für die vorliegende Studie wurde ein OCT-Gerät mit sogenannter SD-Technik, auch Fourier-Domänen(FD)-Technik genannt, verwendet. Die Abbildung 11 veranschaulicht den Aufbau und die Funktionsweise dieser Methode. Bei dieser Technik wird das Interferenzmuster des reflektierten Lichtes durch ein Prisma oder optisches Gitter in seine unterschiedlichen Spektralfarben aufgeteilt und durch einen Detektor registriert. Damit können die spektralen Eigenschaften des reflektierten Lichtes und damit die Interferenz der einzelnen spektralen Komponenten erfasst werden. Spektrale Bereiche, die nicht zur Interferenz beitragen, werden nicht gemessen und daher messtechnisch unterdrückt. Folglich ist der Rauschanteil nicht genutzter Wellenlängen sehr gering und es kann mit einer hohen Sensitivität gemessen werden (Leitgeb et al. 2003). Dies führt zu einer axialen Bildauflösung zwischen 3 und 10  $\mu\text{m}$ , was zur Rekonstruktion von Bildern mit hoher Auflösung geeignet ist (Hüttmann et al. 2009).



**Abbildung 11:** Grafische Darstellung der SD-/FD-OCT-Methode (modifiziert nach Yasuno et al. 2006, S. 1010)

Die Spektren der eintreffenden Interferenzsignale werden anschließend durch eine Fouriertransformation (*Fourier analysis*) wellenlängenabhängig analysiert (Keane und Sadda 2010). Die verschiedenen Gewebstiefen werden dabei durch die Frequenzen des Spektrums bestimmt (McLellan und Rasmussen 2012). Dabei werden tiefer liegende Strukturen durch höhere Frequenzen des Interferenzsignales kodiert (Spaide et al. 2008). Da bei diesem Verfahren der Abstand des Referenzspiegels nicht verändert werden muss und Reflexionen aus allen Schichten eines A-Scans gleichzeitig registriert und analysiert werden können, ermöglicht diese Untersuchungstechnik eine 60- bis 110- mal höhere Untersuchungsgeschwindigkeit (5.000 - 52.000 A-Scans pro Sekunde) im Vergleich zur Time-Domänen(TD)-OCT-Technik (Schuman 2008). Dadurch wird die Anzahl an Artefakten, die auf Patientenbewegungen zurückzuführen sind, erheblich reduziert.

Die hohe Untersuchungsgeschwindigkeit ermöglicht durch das Aneinanderreihen mehrerer B-Scans weiterhin ein feineres Abtasten der Makula (Keane und Sadda 2010). Die Strukturen werden detaillierter erfasst und eine genauere Abgrenzung einzelner retinaler Schichten wird ermöglicht (Sakamoto et al. 2008). Durch die hohe Aufnahmegeschwindigkeit und das Aneinanderreihen mehrerer B-Scans kann mittels SD-OCT-Technik auch eine dreidimensionale Darstellung der Makula realisiert werden (Wojtkowski et al. 2005).

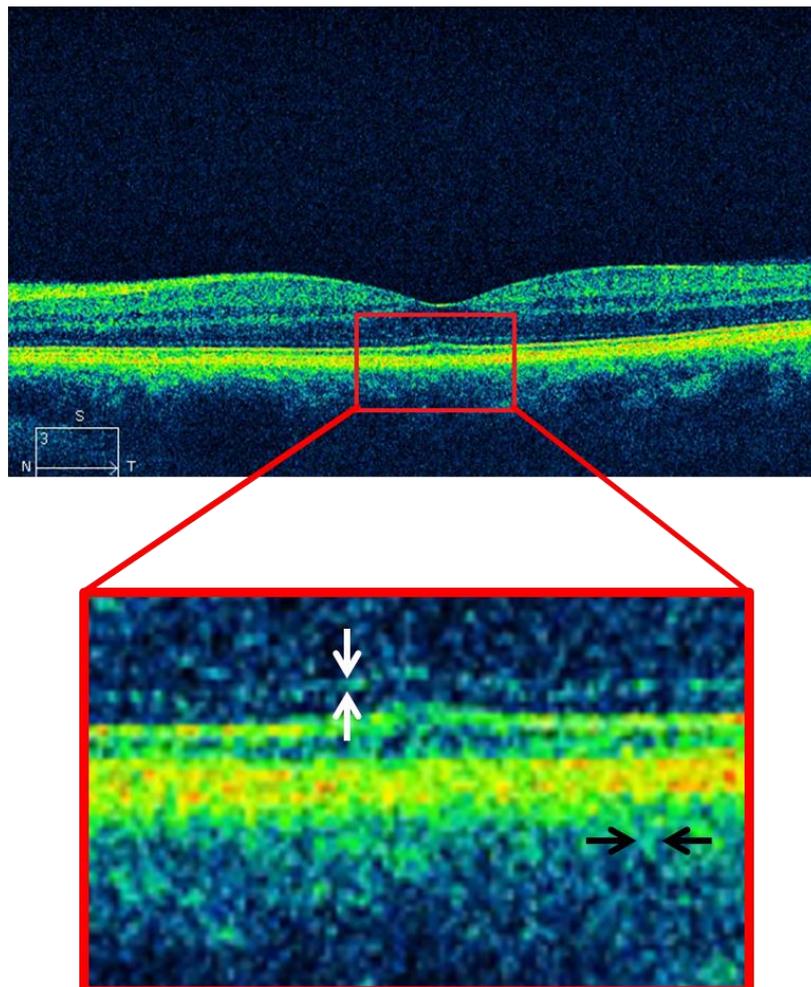
#### **2.3.2.1.2 OCT – Auflösung**

Analog zu den A- und B-Scans in Abbildung 10, wird in der OCT-Diagnostik zwischen axialer und lateraler bzw. transversaler Auflösung unterschieden. Diese sind bei der OCT – im Gegensatz zu anderen bildgebenden Verfahren wie der konventionellen oder konfokalen Mikroskopie – voneinander unabhängig (Drexler 2004).

Das axiale Auflösungsvermögen des OCT-Gerätes (Tiefenauflösung) gibt an, welche minimale Gewebsschichtstärke erfasst werden kann und darstellbar ist. Sie wird durch die weißen Pfeile in Abbildung 12 verdeutlicht. Je kleiner der Wert der Tiefenauflösung ist, desto höher ist die Auflösung und desto feinere Strukturen können aufgezeichnet werden. Die axiale Auflösung ist abhängig von der Bandbreite des verwendeten Laserlichtes und damit auch von dessen Kohärenzlänge (Drexler

2004). Die Kohärenzlänge bezeichnet den größtmöglichen optischen Weglängenunterschied zwischen untersuchtem Gewebe und Referenzspiegel bei dem am Detektor noch Interferenzen registriert werden können (Puliafita et al. 1995). Je größer die Bandbreite des Laserlichtes ist, desto kürzer ist die Kohärenzlänge und desto höher ist die axiale Auflösung (Drexler et al. 2001). Durch seine kurze Kohärenzlänge ermöglicht vor allem optisch breitbandiges (polychromatisches) Laserlicht eine hohe axiale (Tiefen-) Auflösung.

Die laterale bzw. transversale Auflösung (siehe schwarze Pfeile in Abbildung 12) ist von der numerischen Apertur des Auges abhängig (Keane und Sadda 2010). Sie wird durch die Beugung des Laserstrahles durch Hornhaut und Linse und dem dabei entstehenden Durchmesser des Laserstrahles auf der Retina bestimmt (Hee et al. 1995). Damit beläuft sie sich in fast allen OCT-Geräten im Mittel auf 15  $\mu\text{m}$  (Drexler et al. 2001).



**Abbildung 12:** Axiale (weiße Pfeile) und transversale (schwarze Pfeile) Auflösung im OCT-Schnittbild

### **2.3.2.1.3 OCT – Einfluss der Wellenlänge**

Die Wellenlänge einer Lichtquelle bestimmt deren Absorption und Streuung beim Auftreffen auf ein Gewebe. Die Eindringtiefe des Laserlichtes wird jedoch vor allem durch die Streuung, weniger durch die Absorption, limitiert (Fujimoto et al. 1995). Licht im nahen Infrarotbereich (780 - 1400 nm) wird wenig gestreut und absorbiert. Zusätzlich ist der Einsatz von langwelligem Infrarotlicht in der OCT-Diagnostik vorteilhaft, da der Patient das Scannen der Retina nicht wahrnimmt und dadurch Augenbewegungen reduziert werden (Srinivasan et al. 2008).

Die Auswahl der verwendeten Wellenlänge in der OCT richtet sich nach der Lokalisation der zu untersuchenden Augenstruktur. Werden Strukturen im vorderen Augenabschnitt wie die stark streuende Sklera untersucht, so eignen sich Lichtquellen mit einer sehr großen Wellenlänge (1060 - 1310 nm), die den Streueffekt der Sklera reduzieren (Hoerauf et al. 2002b; Radhakrishnan et al. 2001). Mit zunehmender Wellenlänge im Infrarotbereich nimmt die Streuung und Absorption durch das Gewebe ab, die Absorption durch Wasser reziprok deutlich zu. Da Wasser mit circa 90 % den Hauptbestandteil des im Durchschnitt 22 mm langen Auges ausmacht, kann hier langwelliges Licht im Bereich von 1300 nm nur schlecht eindringen (Unterhuber et al. 2005). 99 % der Lichtintensität bei einer Wellenlänge von 1300 nm gehen durch die hohe Wasserabsorption verloren (Povazay et al. 2003). Im Gegensatz dazu sind es nur 10 % Verlust bei einer Wellenlänge von 800 nm (Povazay et al. 2003). Dadurch gelangen bei der Verwendung von langwelligem Licht im Bereich von 1300 nm weniger Signale bei der Darstellung des hinteren Augenabschnittes zum Detektor.

Im Gegensatz zur neurosensorischen Retina, wo die Menge des auftreffenden Laserlichtes hauptsächlich durch die Wasserabsorption des GK reduziert wird, ist die Darstellung von Strukturen, die unter dem RPE liegen, durch die hohen Absorptionsraten des Pigmentepithels limitiert (Unterhuber et al. 2005). Langwelliges Licht kann bis zu einer bestimmten Wellenlänge aufgrund seiner geringen Reflexion und Absorption durch das melaninhaltige RPE tiefer in die Netzhaut eindringen und daher auch Gefäße und die Lamina cribrosa darstellen (Gabriele et al. 2011). Damit eignet sich langwelliges Licht von etwa 1050 nm für die Darstellung der tiefer liegenden Aderhaut (Povazay et al. 2003). Jedoch lässt sich auch bei dieser

Wellenlänge der zunehmende Verlust an Sensitivität und Auflösung in tieferen Schichten nicht vermeiden. Aktuelle *Enhanced-Depth-Imaging-OCT* haben einen geringeren Abstand zum Auge und erzeugen damit ein invertiertes Bild (Spaide et al. 2008). Durch eine höhere Tiefen-Sensitivität kann diese Methode Strukturen wie die Aderhaut besser darstellen (Margolis und Spaide 2009).

### **2.3.2.2 Verwendetes OCT-Gerät**

In der vorliegenden Studie wurde für die OCT-Untersuchungen ein Cirrus HD-OCT (Modell 4000, Carl Zeiss Meditec, Jena, Deutschland) benutzt. Die Messmethodik dieses Gerätes bedient sich der SD-OCT-Technik. Für die Untersuchung wurde Licht einer Superlumineszenz-Diode mit einer Wellenlänge von 840 nm genutzt, wobei 27.000 Scans pro Sekunde erstellt wurden. Die axiale Auflösung betrug 5 µm. Dieses HD-OCT-Gerät kann zur Diagnostik der vorderen Hornhaut und des Kammerwinkels sowie des hinteren Augenabschnittes einschließlich Retina, retinaler Nervenfaserschichten, Makula und Papille eingesetzt werden.

## **2.4 Archivierung und Datenschutz**

Die Aufnahmedaten und der Befund der präoperativen Diagnostik sind Bestandteile der Patientenakte und unterliegen dem Datenschutz. Patienten, die der Teilnahme an der Studie zustimmten, wurden durch eine dreistellige Ziffer pseudonymisiert. Die Zuordnung der Daten (außer Geburtsdatum, Alter und Geschlecht) war nur möglich, wenn der Schlüssel eingesetzt wurde, der der Pseudonymisierung der Daten diente. Die personenbezogenen Daten wurden dabei unter Datenschutzvorgaben getrennt von den pseudonymisierten Daten aufbewahrt. Eine Entschlüsselung war nur durch die verantwortlichen Ärzte möglich. Dritte erhielten keinen Einblick in Originalunterlagen. Für jeden Studienpatienten wurden die präoperative Diagnostik mit Visus, Fundusdiagnose, Art der Katarakt, Augeninnendruck und additive systemische oder ophthalmologische Erkrankungen sowie die OCT-Diagnostik dokumentiert. Die Bestimmungen des Datenschutzes reglementieren die Verwaltung der Unterlagen nach Studienabschluss und wurden berücksichtigt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Patientenrekrutierung und Studienverlauf

Im Studienzeitraum von Februar 2013 - Mai 2013 konnten 133 Patienten rekrutiert werden. Insgesamt wurden 174 Augen untersucht. 10 Patienten (12 Augen) konnten aufgrund einer reduzierten OCT-Bildqualität nicht in die Auswertung einbezogen werden (sog. Drop-outs). Die Tabelle 2 zeigt die Kataraktformen der Patientenaugen, bei denen aufgrund der ausgeprägten Linsentrübung die erreichte Bildqualität für eine adäquate Diagnostik nicht ausreichend war. Am häufigsten war bei diesen Patienten die Cataracta corticonuclearis vertreten.

**Tabelle 2:** Drop-outs

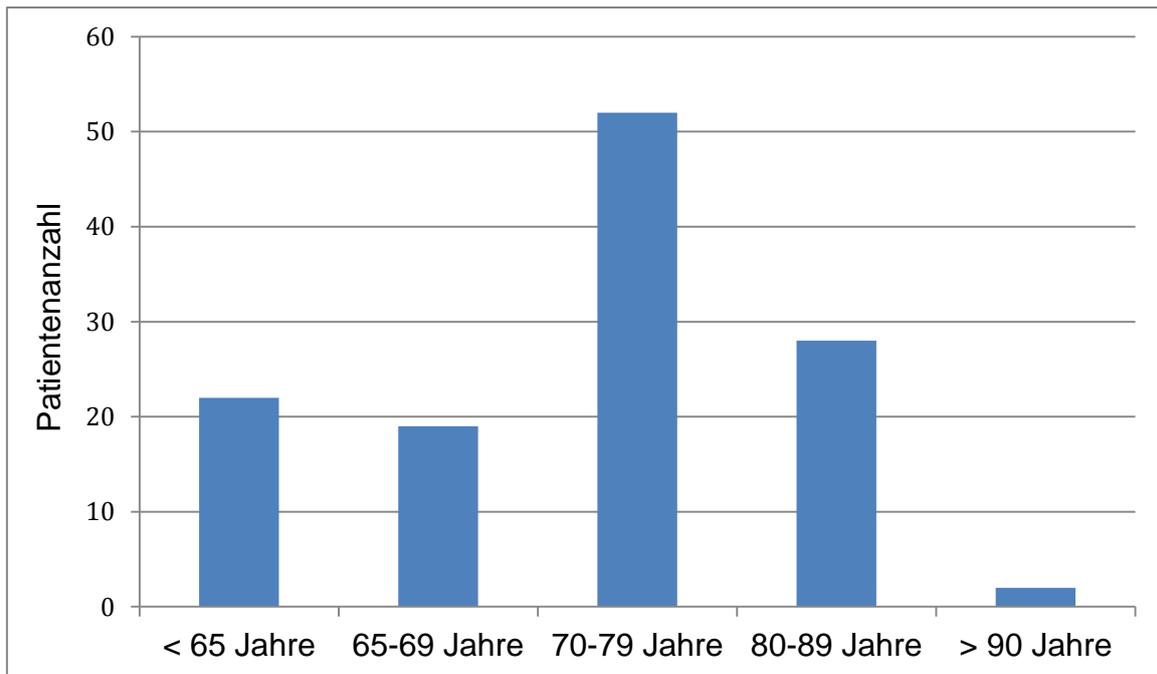
<b>Kataraktformen nach Lokalisation der Trübung</b>	
corticalis	1
nuclearis	1
corticonuclearis	7
subcapsularis posterior	1
nuclearis et subcapsularis posterior	1
corticonuclearis et subcapsularis posterior	1

#### 3.2 Patientengut

123 Patienten konnten in die Studie aufgenommen werden. Das Durchschnittsalter der Studienpatienten belief sich auf  $71,9 \pm 10,5$  Jahre (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung), Spannweite (38 bis 91 Jahre). 66 Teilnehmer (53,7 %) waren männlich und 57 (46,3 %) weiblich. Tabelle 3 listet den geschlechtsspezifischen Altersdurchschnitt der Studienpatienten auf. Die Abbildung 13 verdeutlicht grafisch die Altersverteilung der Studienpatienten.

**Tabelle 3:** Demografische Daten des Patientenkollektivs

	Patientenanzahl	Alter			
		Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabweichung
gesamt	123	71,9	38	91	10,5
männlich	66	70,4	40	88	10,3
weiblich	57	73,8	38	91	10,6



**Abbildung 13:** Altersverteilung der Studienpatienten in absoluten Zahlen

Tabelle 4 zeigt die absolute Anzahl an Patienten, die in den unterschiedlichen Bereichen der Augenklinik rekrutiert werden konnten sowie deren prozentualen Anteil am gesamten Studienkollektiv.

**Tabelle 4:** Anteile der Patientenrekrutierung in den verschiedenen Bereichen der Augenklinik (n=123)

Poliklinik	51 (41,5 %)
Station	46 (37,4 %)
ambulant	26 (21,1 %)

Entsprechend dem Studienprotokoll wurden die Funduskopie und die OCT-Untersuchung bei Patienten aus der Poliklinik und stationär operierten Patienten am gleichen Tag durchgeführt.

Bei 26 Patienten erfolgte die Kataraktoperation im ambulanten Rahmen. Bei dieser Patientengruppe wurde die Routinediagnostik mit der Fundusbeurteilung im Durchschnitt  $51 \pm 30$  Tage (Spannweite 3 - 114 Tage) vor der OCT-Untersuchung in der Poliklinik durchgeführt. Die OCT-Untersuchung erfolgte anschließend präoperativ am Tag der ambulanten Operation.

Bei 84 Patienten wurde die OCT-Untersuchung einseitig durchgeführt. Gründe waren hierfür ein einseitig bereits pseudophakes Auge (n= 37), eine einseitig stärkere Ausprägung der Linsentrübung mit einem Visus < 0,2 (n= 16), nur eine einseitige Katarakt (n= 15) oder ein einseitig auffälliger Fundus (Partnerauge) in der Funduskopie (n= 15). Ein Patient trug eine Augenprothese und konnte dadurch nur an einem Auge untersucht werden. 39 Patienten waren beidseits nicht voroperiert und hatten einen Dezimal-Visus  $\geq 0,2$ , sodass beide Augen für die Studie in Frage kamen. Somit wurde eine Gesamtanzahl von 162 Augen in die Studie einbezogen. Die Untersuchung wurde an 77 rechten Augen und an 85 linken Augen durchgeführt.

Der mittlere Dezimal-Visus aller Studienpatienten betrug  $0,5 \pm 0,2$ , der mittlere Augeninnendruck  $16,3 \pm 4$  mmHg. Bei 68/162 Studienaugen (41,97 %) zeigte sich eine Trübung der gesamten Linse in Form einer Cataracta corticonuclearis. 21 Studienpatienten/-innen (17,1 %) wiesen einen Diabetes mellitus auf, wobei 10 weiblich und 11 männlich waren. Als weitere relevante systemische und ophthalmologische Erkrankungen waren bei 8 Patienten (6,5 %) ein Glaukom, bei zwei Patienten (1,6 %) rezidivierende Uveitiden und bei ebenfalls zwei Patienten (1,6 %) ein Morbus Parkinson zu erheben. An einem Studienauge wurden zuvor bereits mehrfache Hornhauttransplantationen vorgenommen, welche jedoch nicht die optische Abbildungsqualität der OCT-Aufnahme beeinträchtigten.

Der Ablauf der OCT-Untersuchung dauerte üblicherweise 5 - 10 Minuten. Dies entsprach auch dem zeitlichen Mehraufwand der Patienten für die Studie. Aufgrund mangelnder Compliance oder erschwerter Fixation einzelner Patienten verlängerte sich die Untersuchungszeit auf maximal 15 Minuten.

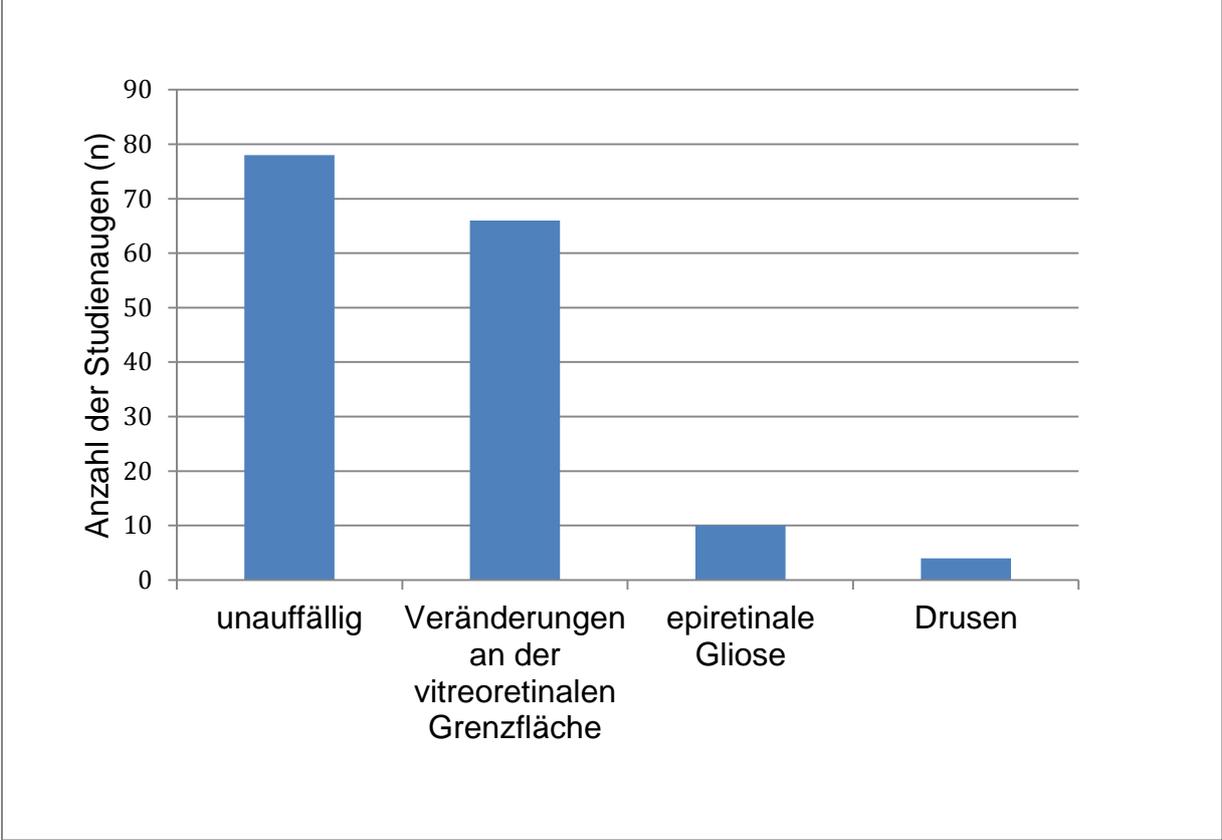
### 3.3 Auswertung der OCT-Schnittbilder

Da zwei verschiedene Befunde bei 6 Augen im OCT-Schnittbild entdeckt wurden und drei bei einem Auge, kam es insgesamt zur Aufzeichnung von 170 OCT-Befunden. Die Tabelle 5 listet die Ergebnisse der qualitativen Auswertung der OCT-Schnittbilder hinsichtlich ihrer Anzahl und des durchschnittlichen Alters der betroffenen Studienpatienten auf. Die OCT-morphologisch unauffälligen, auffälligen und solche mit pathologischem Befund werden dabei in absoluten Zahlen und in prozentualem Verhältnis zur Gesamtanzahl untersuchter Augen (n=162) dargestellt. Dabei wurden morphologisch auffällige Befunde der vitreoretinalen Grenzfläche – wenn sie altersentsprechende GK-Veränderungen zeigten – nicht notwendigerweise als pathologisch definiert. Auch GK-Trübungen oder ein Staphyloma posticum wurden als morphologisch auffällig, jedoch nicht als pathologisch deklariert.

**Tabelle 5:** Qualitative Auswertung der OCT-Bilder

OCT-Befund	Anzahl der Augen (n=162)	Ø Alter (Jahre)
<b>Morphologisch unauffällig</b>	<b>78 (48,15 %)</b>	<b>72,2</b>
<b>Morphologisch auffällig</b>	<b>72 (44,44 %)</b>	<b>72,2</b>
Veränderungen der vitreoretinalen Grenzfläche		
partielle hintere GK-Abhebung	11 (6,79 %)	67,7
vitreomakuläre Adhäsion	6 (3,70 %)	68,8
vitreofoveale Adhäsion	22 (13,58 %)	72,7
peripapilläre Adhäsion	27 (16,66 %)	75,6
GK-Trübungen	3 (1,85 %)	75,7
Staphyloma posticum	3 (1,85 %)	58,3
<b>pathologisch</b>	<b>20 (12,35 %)</b>	<b>74,6</b>
epiretinale Membran (ERM)	10 (6,17 %)	68,9
perimakuläre/foveale Drusen	4 (2,47 %)	83,8
Fovea plana	3 (1,85 %)	77,5
RPE-Atrophie	1 (0,62 %)	
chorioretinale Narbe	1 (0,62 %)	
pseudovitelliforme Makuladegeneration	1 (0,62 %)	

Die Abbildung 14 stellt den absoluten Anteil der häufigsten OCT-Befunde grafisch dar.

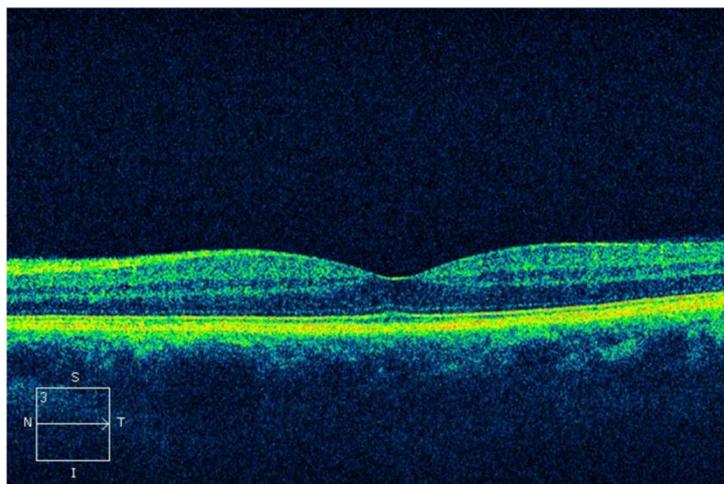


**Abbildung 14:** Qualitative Auswertung der OCT-Befunde

### 3.3.1 Patienten mit morphologisch unauffälligem OCT-Befund

Bei 78/162 Augen (48,15 %, 95 %-Konfidenzintervall (KI): [40,24; 56,12]) wurden keine Veränderungen in den OCT-Schnittbildern entdeckt. Exemplarisch wird die OCT-Aufnahme der Patientenummer 061 in Abbildung 15 gezeigt. Diese OCT-Schnittbilder entsprachen einem physiologischen OCT-Befund (siehe Kapitel 1.4). Das Durchschnittsalter der Patienten ohne Veränderungen am hinteren Augenabschnitt betrug 72,2 Jahre, der durchschnittliche Dezimal-Visus 0,48. 35 Patienten waren weiblich und 29 männlich. Als systemische Erkrankungen wiesen 8 Patienten einen Diabetes mellitus auf. Additive okuläre Erkrankungen waren eine rezidivierende Uveitis (n=1) und ein Glaukom (n=1).

In der OCT-Aufnahme kann manchmal eine höhere GK-Abhebung, als sie die axiale Darstellung des OCT-Schnittbildes erfassen kann, nicht von einem völlig trübungsfreien GK unterschieden werden. Erst wenn beginnende degenerative Veränderungen wie GK-Kondensate enthalten sind, ist die GK-Situation sicher im OCT-Schnittbild zu beurteilen. Damit kann bei Patienten, bei denen sich der hintere GK schon vollständig von der Netzhaut abgelöst hat und daher auch keine Adhäsion im Bereich der Papille mehr besteht, eine hintere GK-Abhebung durch eine OCT-Untersuchung nicht eindeutig diagnostiziert werden. Da, wie einleitend erwähnt, eine an der Netzhaut komplett anliegende und transparente hintere GK-Grenzmembran mittels OCT nicht immer dargestellt wird.



**Abbildung 15:** Morphologisch unauffälliger OCT-Befund in horizontaler Schnittebene

### **3.3.2 Patienten mit morphologisch auffälligem OCT-Befund**

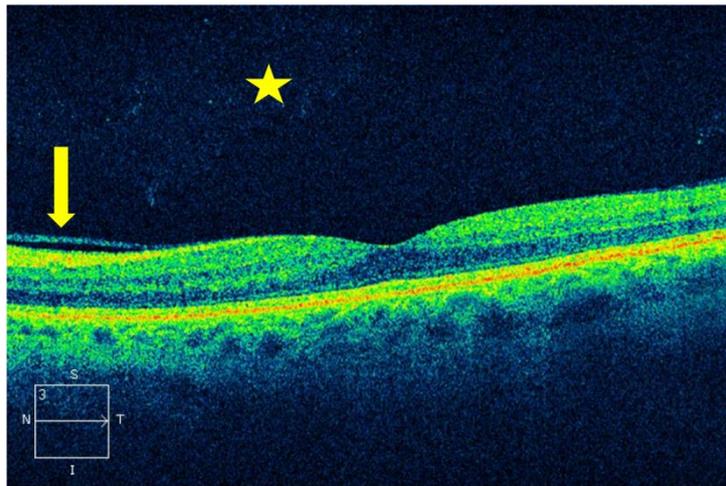
#### **3.3.2.1 Vitreoretinale Grenzflächenveränderungen in der OCT**

66/162 Studienaugen (40,74 %, 95 %-KI: [33,1; 48,73]) zeigten im OCT-Schnittbild Veränderungen an der vitreoretinalen Grenzfläche in Form einer hinteren GK-Abhebung. Histologisch entspricht eine GK-Abhebung der Trennung der hinteren GK-Grenzmembran von der MLI. Die hintere GK-Grenzmembran wird bei partieller Abhebung im OCT-Schnittbild separat durch ein diskretes bandförmiges Signal anterior der Nervenfaserschicht dargestellt.

Mit zunehmendem Alter der Studienpatienten nahm die Häufigkeit der hinteren GK-Abhebung zu. Dabei kommt es durch Verflüssigung des GK zu Lakunenbildungen und zunächst zu einer partiellen fokalen GK-Abhebung (Kapitel 3.3.2.1.1.). Anschließend kann eine weitere Ablösung zu einer vitreomakulären Adhäsion und später zu einer vitreofovealen Adhäsion führen (Kapitel 3.3.2.1.2.). Löst sich diese Adhäsion im Bereich der Fovea, so ist meist noch eine Adhäsion im Bereich der Papille gegeben (Kapitel 3.3.2.1.3.).

### 3.3.2.1.1 Partielle hintere Glaskörper-Abhebung

11/162 Patientenaugen (6,79 %, 95 %-KI: [3,44; 11,82]) zeigten den Beginn einer hinteren GK-Abhebung. Zu erkennen ist dies an einer fokalen perimakulären GK-Abhebung, die sich durch eine dünne reflektierende Schicht anterior der Nervenfaserschicht darstellt (gelber Pfeil in Abbildung 16). Dabei ist zu diesem Zeitpunkt der GK im Bereich der Fovea noch vollständig adhären.

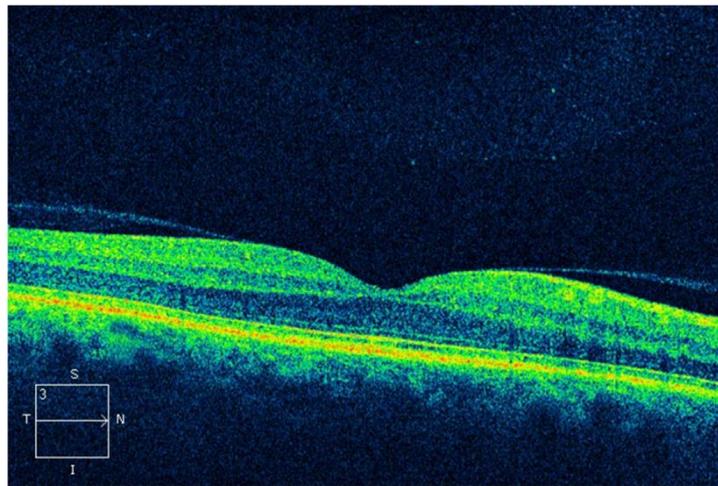


**Abbildung 16:** Partielle hintere Abhebung der GK-Grenzmembran (Pfeil), leichte GK-Trübungen (Stern)

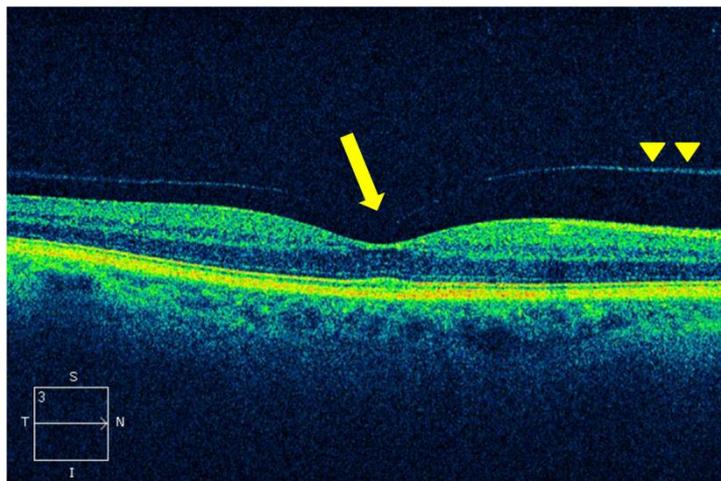
Nimmt man die Fovea als Zentrum eines Quadrates, so zeigten die meisten Augen ( $n=7/11$ ) bei einer partiellen GK-Abhebung eine fokale Abhebung in mehreren Quadranten. Am häufigsten zeigte sich der Beginn einer hinteren GK-Abhebung jedoch im temporalen ( $n=8/11$ ) und im superioren ( $n=7/11$ ) Quadranten der zentralen Netzhaut. Der nasale Quadrant war an dritthäufigster Stelle vertreten ( $n=5/11$ ). Eine Ablösung im inferioren Quadranten zeigte sich in den frühen Stadien der hinteren GK-Abhebung nur an einem Auge.

### 3.3.2.1.2 Vitreomakuläre/ vitreofoveale Adhäsion

28/162 Augen (17,28 %, 95 %-KI: [11,8; 24,0]) zeigten entweder eine vitreomakuläre (n=6) oder vitreofoveale (n=22) Adhäsion im OCT-Schnittbild. Der Verlauf der hinteren GK-Grenzmembran und die Adhäsionsfläche des GK an der Netzhaut gaben damit die Stadieneinteilung vor. Abbildung 17 zeigt ein OCT-Schnittbild mit einer vitreomakulären Adhäsion. Dabei ist der GK im Bereich der Makula noch adhären. Schreitet der physiologische Abhebungsprozess fort, kommt es zu einer vitreofovealen Adhäsion (Abbildung 18). Hier ist nur noch ein fokaler Adhäsionspunkt im Bereich der Fovea erkennbar. Eine zusätzliche Adhäsion an der Papille kann durch den bogenförmigen Verlauf und die nasale Annäherung der GK-Grenzmembran zur Retina nachvollzogen werden.



**Abbildung 17:** Vitreomakuläre Adhäsion

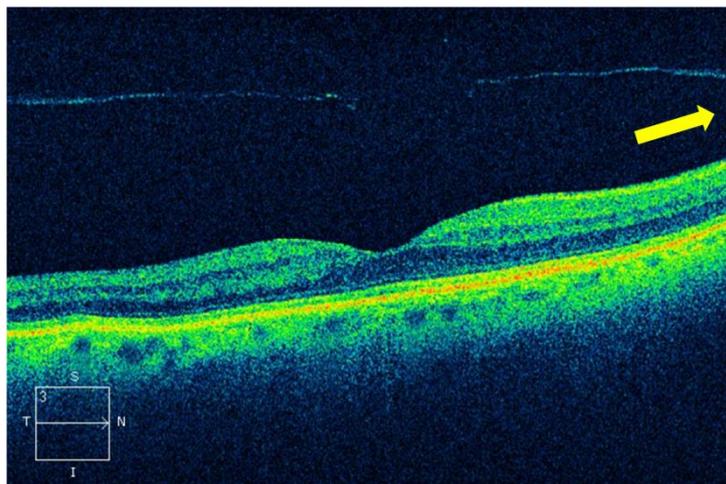


**Abbildung 18:** Vitreofoveale Adhäsion (Pfeil) und flache Abhebung der GK-Grenzmembran nasal der Fovea in Richtung Papille (Pfeilspitzen)

### 3.3.2.1.3 Peripapilläre Adhäsion

Im nächsten Stadium des GK-Abhebungsprozesses hebt sich die hintere GK-Grenzmembran im Bereich der Makula komplett ab und es verbleibt eine Adhärenz im Bereich der Papille. Dies ist daran erkennbar, dass zwischen hinterer GK-Grenzmembran und Netzhaut im Bereich der Makula kein Kontakt mehr besteht und eine hyperreflektive Membran über der Netzhaut „schwebt“ (Abbildung 19). 27/162 Studienaugen (16,67 %, 95 %-KI: [11,28; 23,31]) wiesen diese Auffälligkeit in den OCT-Schnittbildern auf. Die erstellten OCT-Schnittbilder ermöglichten nur die Darstellung von retinanahen Strukturen. Bei einer Ablösung der GK-Grenzmembran im Bereich der Papille würde sich die GK-Grenzmembran von der Netzhaut zu weit entfernen und daher eine OCT-Darstellung nicht mehr ermöglichen.

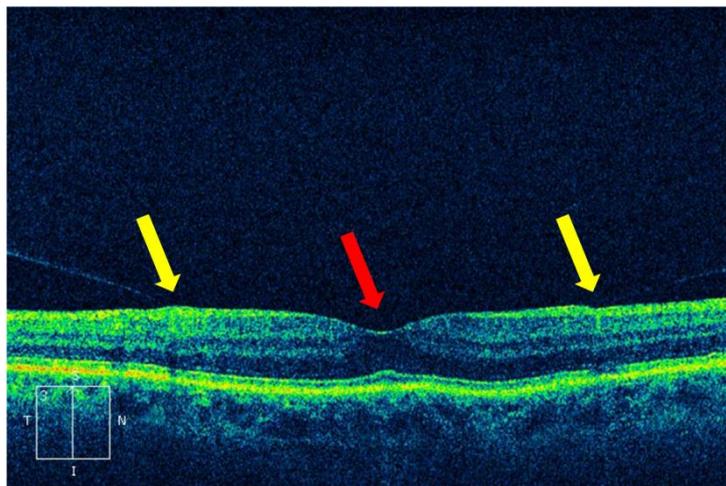
Der Pfeil in Abbildung 19 markiert die nasale Annäherung der hinteren GK-Grenzmembran an die Netzhaut und kennzeichnet daher eine weiterhin gegebene Adhäsion im Bereich der Papille, die außerhalb des Bildes liegt. Die Adhärenz an der Papille kann mit routinemäßigen makulären OCT-Schnittbildern nicht nachgewiesen werden. Abhängig vom Scanverlauf (siehe Piktogramm in OCT-Aufnahme) und der Seite des Auges, liegt die Papille rechts oder links der horizontalen Schnittbildaufnahme außerhalb des Scan-Bereiches und eine dementsprechende Annäherung der GK-Grenzmembran ist zu beobachten.



**Abbildung 19:** Peripapilläre Adhäsion an einem rechten Auge. Die GK-Grenzmembran ist im Bereich der Makula abgehoben. Der Pfeil markiert die Annäherung der GK-Grenzmembran in Richtung Papille, die für eine peripapilläre Adhäsion typisch ist.

### 3.3.2.1.4 Vitreomakuläre Traktion

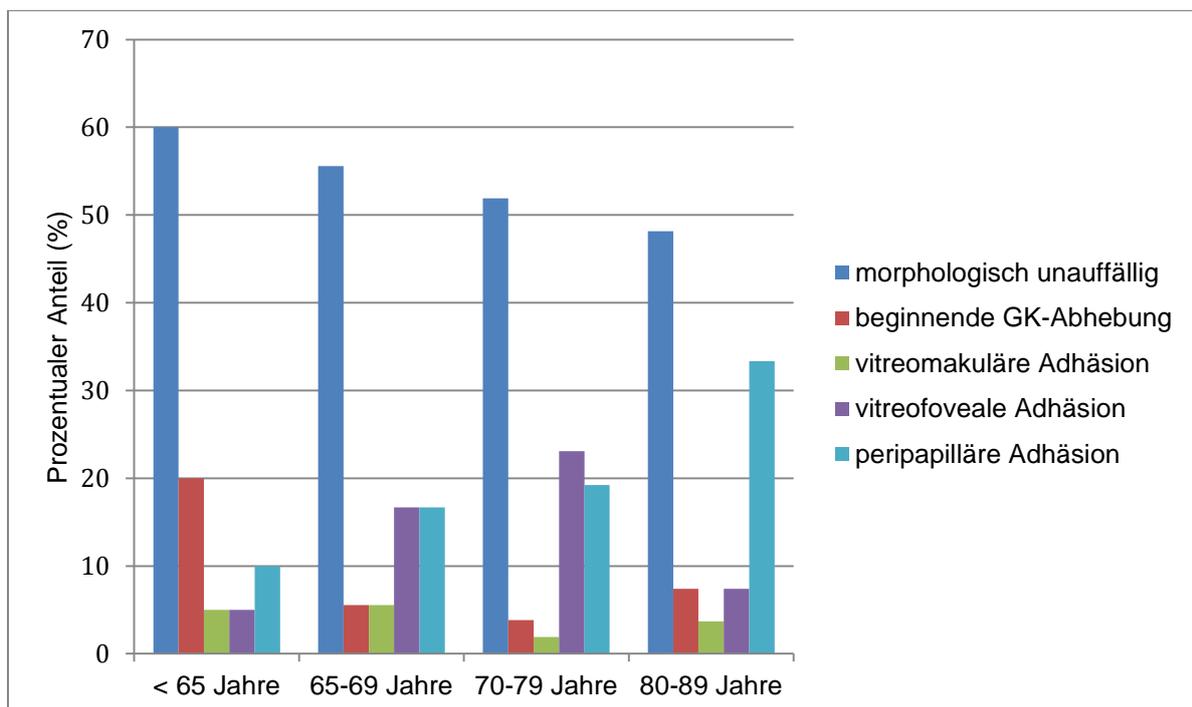
Bei einem Studienauge (0,62 %, 95 %-KI: [0,02; 3,39]) führte die im OCT-Schnittbild diagnostizierte vitreomakuläre Adhäsion zu einer mäßig ausgeprägten Traktion mit leichter Anhebung der zentralen Netzhaut. Abbildung 20 zeigt die daraus resultierenden Veränderungen an der Netzhaut. Dazu gehörten zum einen eine angehobene Netzhautoberfläche im Bereich der Adhäsionspunkte sowie zum anderen eine dezente Foveaelevation. Da es sich um eine leichte Traktion handelte und die äußeren Netzhautschichten sowie die Photorezeptorschicht davon unbeeinträchtigt blieben, gab dieser Patient anamnestisch – wie auch alle anderen Studienpatienten mit milden Veränderungen der vitreomakulären Grenzfläche – keine Metamorphopsien an. Daher blieben therapeutische Konsequenzen aus und die Kataraktoperation wurde wie geplant durchgeführt. Dem Patienten wurden jedoch regelmäßige Kontrolluntersuchungen des Makulabefundes bei seinem Augenarzt empfohlen.



**Abbildung 20:** Vitreomakuläre Traktion an der Netzhaut mit dezenter Foveaelevation (roter Pfeil) und angehobene retinale Innenschichten im Bereich der Adhäsionspunkte (gelbe Pfeile).

### 3.3.2.1.5 Zusammenfassende Darstellung der Glaskörper-Veränderungen in der OCT

Mit zunehmendem Alter der Studienpatienten traten gehäuft fortgeschrittene Stadien der GK-Abhebung auf. Der Anteil an Patienten, der keine Veränderungen der vitreoretinalen Grenzfläche im OCT-Schnittbild aufwies, nahm entsprechend mit zunehmendem Alter ab. Abbildung 21 veranschaulicht den prozentualen Anteil der morphologisch unauffälligen OCT-Schnittbilder sowie die unterschiedlichen Stadien der GK-Abhebung in Abhängigkeit der verschiedenen Altersgruppen.



**Abbildung 21:** Prozentualer Anteil der verschiedenen OCT-Stadien der GK-Abhebung im Vergleich zu morphologisch unauffälligen OCT-Schnittbildern

Patienten mit einem Diabetes mellitus zeigten in der vorliegenden OCT-Studie häufiger ein fortgeschrittenes Stadium der GK-Abhebung. Insgesamt wurden bei 52 % der Augen von Patienten mit einem Diabetes mellitus Veränderungen an der vitreoretinalen Grenzfläche in den OCT-Schnittbildern gefunden. Die Tabelle 6 gibt eine Übersicht über den absoluten und prozentualen Anteil untersuchter Augen von Diabetikern, die die unterschiedlichen Stadien der GK-Abhebungen in Bezug zu allen Studienaugen von Diabetikern aufwiesen.

**Tabelle 6:** Anzahl der Augen von Diabetikern mit den jeweiligen Stadien der GK-Abhebung

	Anzahl Augen von Diabetikern (n=25)
partielle hintere GK-Abhebung	1 (4 %)
vitreomakuläre Adhäsion	0
vitreofoveale Adhäsion	3 (12 %)
peripapilläre Adhäsion	9 (36 %)
<b>Gesamt</b>	<b>13 (52 %)</b>

Männer wiesen deutlich häufiger als Frauen Veränderungen an der vitreoretinalen Grenzfläche in Form einer hinteren GK-Abhebung auf. Tabelle 7 veranschaulicht den prozentualen Anteil von Männern und Frauen mit den jeweiligen Stadien der GK-Abhebung im OCT-Schnittbild an allen männlichen und weiblichen Studienpatienten/-innen.

**Tabelle 7:** Prozentualer Anteil an Männern und Frauen, die die jeweiligen Stadien der GK-Abhebung aufwiesen.

	Männer (n=66)	Frauen (n=57)
partielle hintere GK-Abhebung	6 (9,09 %)	3 (5,23 %)
vitreomakuläre Adhäsion	4 (6,06 %)	0
vitreofoveale Adhäsion	12 (18,18 %)	6 (10,53 %)
peripapilläre Adhäsion	14 (21,21 %)	10 (17,54 %)
<b>Gesamt</b>	<b>36 (54,54 %)</b>	<b>19 (33,3 %)</b>

### 3.3.3 Patienten mit Netzhautveränderungen in der OCT

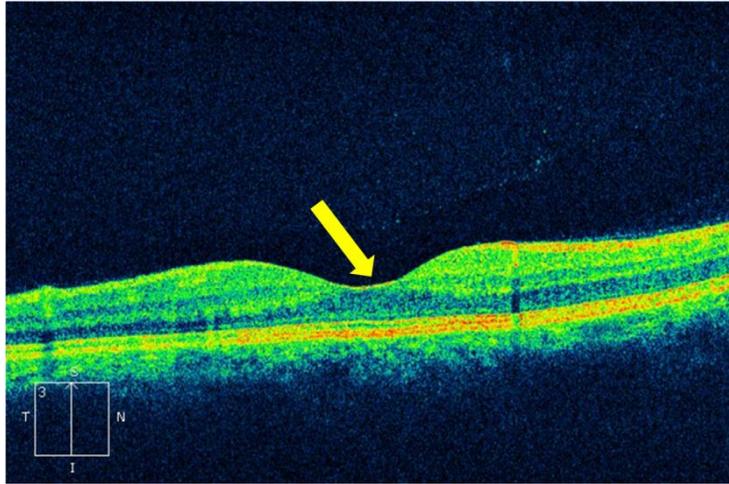
#### 3.3.3.1 Epiretinale Membran

Bei 10/162 Augen (6,17 %, 95 %-KI: [3,0; 11,06]) wurde im OCT-Schnittbild eine epiretinale Membran (ERM) ohne eine begleitende klinisch relevante Traktion gefunden. Unter den betroffenen Patienten befanden sich 8 Männer und eine Frau. Ein Patient litt an seinem Studienauge unter rezidivierenden Uveitiden.

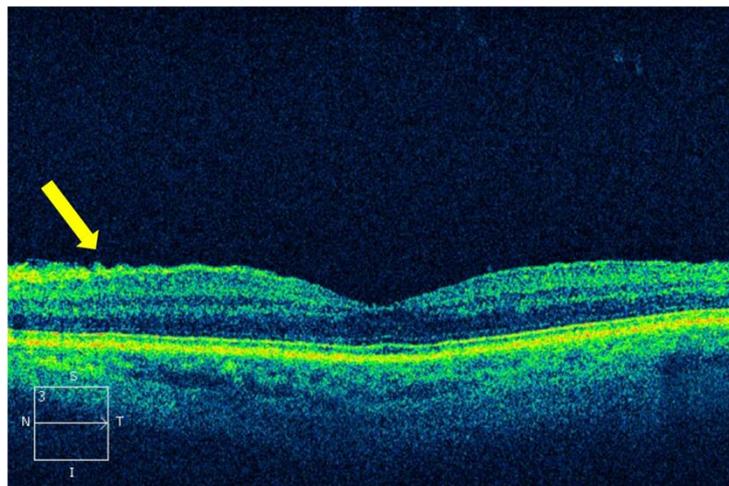
Die epiretinale Gliose/ERM wurde als eine hyperreflektive präretinale Schicht definiert. Diese konnte begleitende Netzhautveränderungen wie eine Fältelung der verschiedenen Netzhautschichten oder eine foveale Elevation verursachen. Im Gegensatz zur GK-Abhebung handelt es sich bei einer epiretinalen Gliose um eine stärker reflektierende Schicht, die hinsichtlich der Reflektivität der Nervenfaserschicht ähnelt und dieser aufliegt. Die ERM kann bei unvollständiger GK-Abhebung aus Resten der GK-Grenzmembran (Koerner und Garweg 1999), aus glialen Zellen oder Myofibroblasten bestehen (Hassenstein et al. 2005). Meist ist beim Vorliegen einer epiretinalen Gliose die hintere GK-Grenzmembran bereits abgehoben. Die ERM befindet sich dann zwischen hinterer GK-Grenzmembran und MLI (Georgopoulos et al. 2008). Aber auch bei anliegendem GK kann sich eine Gliose ausbilden (Heilskov et al. 1996), häufig in Kombination mit einem vitreomakulären Traktionssyndrom. Von den 10 diagnostizierten epiretinalen Gliosen lagen 9 komplett an der Netzhaut an. Davon wurden fünf durch eine begleitende Faltenbildung der Netzhaut auffällig (Abbildung 23), zwei führten zusätzlich zu einer Aufhebung der physiologischen fovealen Depression (Abbildung 24) und zwei imponierten nur durch eine höhere Reflektivität der ERM, ohne dass traktive Veränderungen an der Netzhaut bestanden (Abbildung 22). Tabelle 8 fasst die begleitenden Veränderungen an der Netzhaut und ihre Häufigkeit zusammen.

**Tabelle 8:** Begleitende retinale Veränderungen bei Patientenaugen mit an der Netzhaut anliegender epiretinaler Gliose

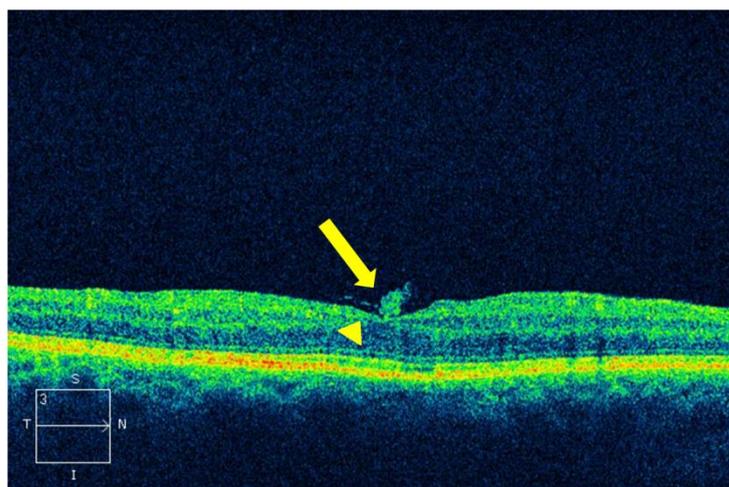
	Anzahl Augen (n=9)
ohne traktive Veränderungen	2
Faltenbildung der Netzhaut	5
Foveaelevation	2



**Abbildung 22:** Epiretinale Gliose ohne Veränderungen der Netzhaut. Der Pfeil zeigt auf die hyperreflektive Schicht, die der Netzhaut anliegt.



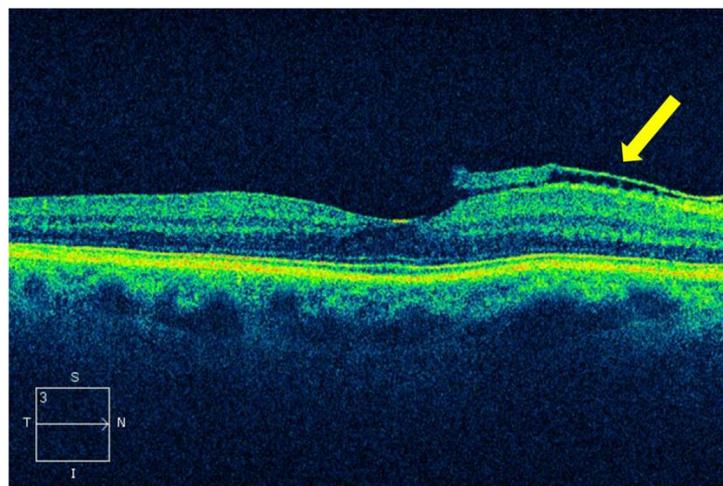
**Abbildung 23:** Epiretinale Gliose mit begleitender Faltenbildung (Pfeil) der Netzhaut



**Abbildung 24:** Epiretinale Gliose mit präfovealer Gewebeverklumpung (Pfeil) sowie leichter Foveaelevation (Pfeilspitze)

Bei 7/10 Augen mit einer ERM konnte die GK-Grenzmembran im OCT-Schnittbild nicht abgegrenzt werden. In 3/10 Augen konnte diese dargestellt werden. Davon zeigten ein Auge eine vitreomakuläre Adhäsion und 2 Augen eine vitreofoveale Adhäsion in der OCT. Jeweils ein Auge mit einer vitreomakulären und ein Auge mit einer vitreofovealen Adhäsion wiesen keine Traktionen an der Netzhaut auf. Ein Auge mit einer vitreofovealen Adhäsion zeigte im OCT-Schnittbild eine Anhebung der Fovea. Systemische Erkrankungen, wie ein Diabetes mellitus, lagen bei den betroffenen Patienten mit einer ERM nicht vor.

Den auffälligsten OCT-Befund zeigt in dieser Studie Abbildung 25. Hier fand sich eine perimakulär von der Netzhaut separierte epiretinale Gliose mit geringer Distanz zur Netzhaut. Andere retinale Veränderungen waren nicht detektierbar. Manchmal separiert sich die Gliose von der Netzhaut im Rahmen einer spontanen hinteren GK-Abhebung. In diesen Fällen ist in der OCT die epiretinale Gliose nicht eindeutig von einer verdickten hinteren GK-Grenzmembran zu unterscheiden. Da jedoch charakteristische Adhäsionspunkte einer GK-Abhebung fehlen, kann man hier von einer partiell abgehobenen ERM ausgehen.



**Abbildung 25:** Epiretinale Gliose mit spontaner Separation (Pfeil)

Die Tabelle 9 fasst die OCT-Befunde von Patientenaugen mit einer ERM zusammen.

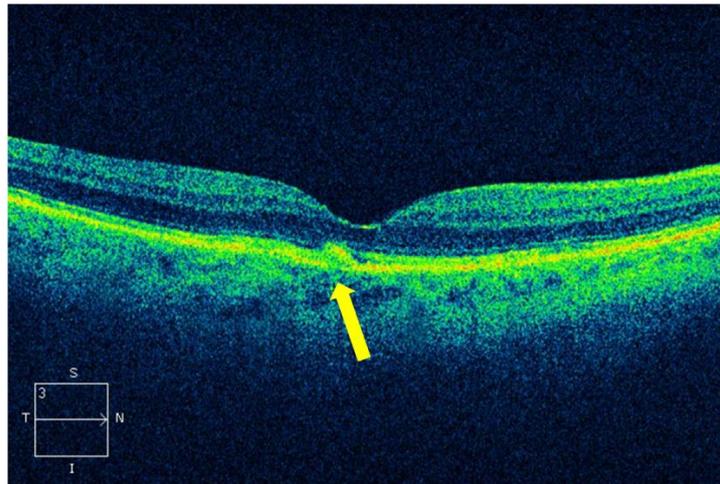
**Tabelle 9:** Retinale und GK-Veränderungen bei Patientenaugen mit einer ERM

OCT-Befund	Anzahl Augen (n=10)
<b>bei fehlender GK-Darstellung</b>	<b>6/10</b>
ohne traktive Veränderungen	1
Faltenbildung der Netzhaut	4
Foveaanhebung	1
<b>GK-Veränderungen in der OCT</b>	<b>3/10</b>
vitreomakuläre Adhäsion	1
ohne traktive Veränderungen	1
vitreofoveale Adhäsion	2
Faltenbildung der Netzhaut	1
Foveaanhebung	1
<b>von der Netzhaut separierte ERM</b>	<b>1/10</b>

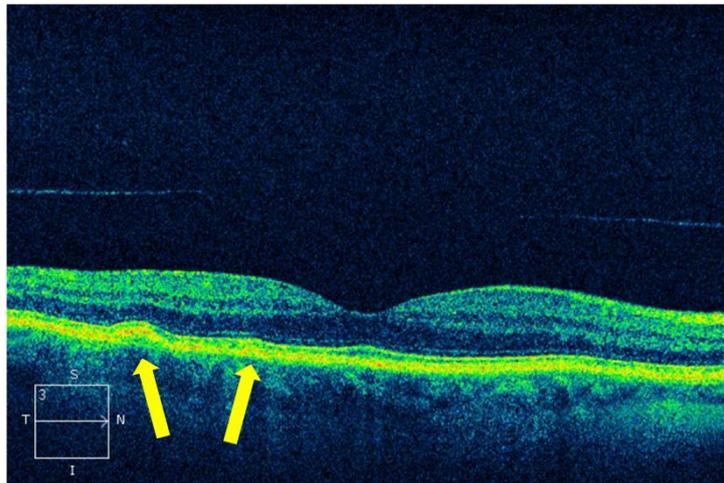
### 3.3.3.2 Drusen

4/162 Augen (2,47 %, 95 %-KI: [0,68; 6,2]) wiesen in den OCT-Schnittbildern Drusen auf, die funduskopisch nicht diagnostiziert wurden. Weitere ophthalmologische Erkrankungen lagen bei diesen Patientenaugen nicht vor. Drusen sind Ansammlungen von extrazellulärem Material zwischen der Basallamina des RPE und der Bruch-Membran und gelten als Vorboten der altersbedingten Makuladegeneration (AMD) (Abdelsalam et al. 1999). In der OCT sind Drusen an hyperreflektiven fokalen Einlagerungen in der Schicht des RPE zu erkennen (Yehoshua et al. 2013). In dieser Studie wurden Drusen nach ihrer Lokalisation und Form im OCT-Schnittbild beurteilt. Des Weiteren wurde entsprechend der klinischen Einteilung (Pieroni et al. 2006) eine Unterscheidung in harte und weiche Drusen vorgenommen.

Die Abbildung 26 zeigt eine harte, subfoveale Druse, welche sich als eine vereinzelte, scharf begrenzte Veränderung im RPE bei darüber liegender unveränderter Netzhaut darstellt. 2/4 Augen zeigten diesen Typus von Drusen. Die parafovealen Drusen in Abbildung 27 hingegen sind zu ihrer Umgebung hin unscharf begrenzt, wurden als weich klassifiziert und waren in den übrigen 2/4 Augen mit Drusen zu finden. Alle Drusen zeigten in der OCT eine konvexe Form. Bis auf eine subfoveale Druse waren alle perimakulär lokalisiert. Atrophiebereiche des RPE als weiteres Kennzeichen der trockenen AMD waren in den OCT-Schnittbildern mit Drusen nicht darstellbar.



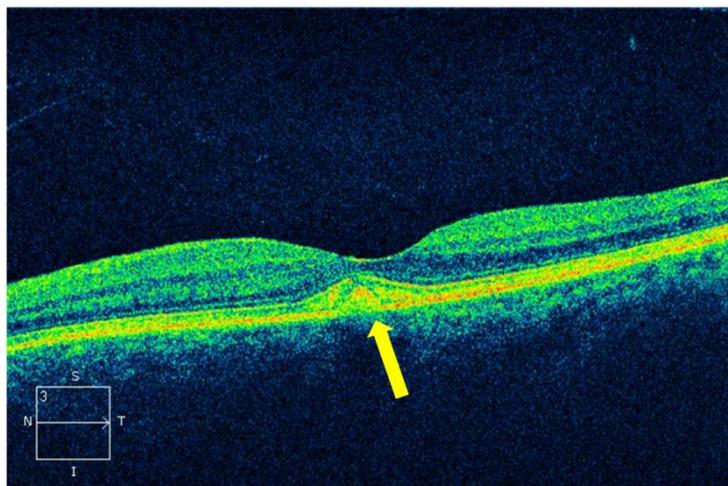
**Abbildung 26:** Harte Druse (Pfeil)



**Abbildung 27:** Weiche Drusen (Pfeile)

### 3.3.3.3 Weitere subretinale Veränderungen

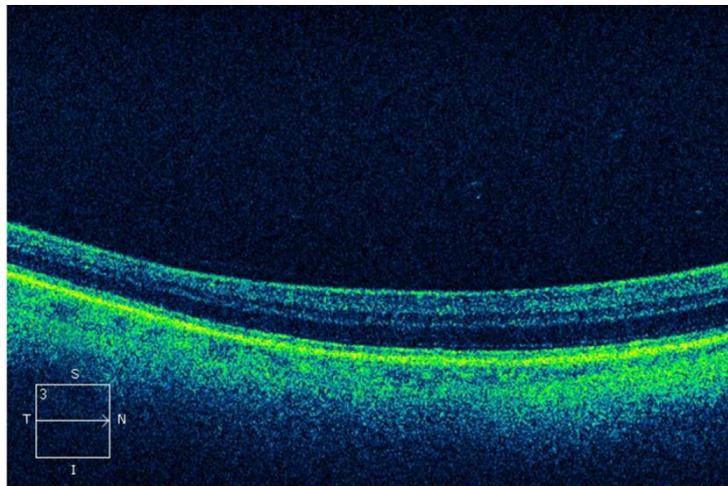
Drei Patientenaugen (1,85 %, 95 %-KI: [0,38; 5,32]) zeigten andere subretinale Veränderungen, die aufgrund der wenigen Fälle in dieser Studie in einem Kapitel zusammengefasst werden. Je ein Auge enthielt eine zentrale RPE-Atrophie, eine chorioretinale Narbe und eine pseudovitelliforme Makuladegeneration. Exemplarisch wird in Abbildung 28 das OCT-Schnittbild einer pseudovitelliformen Makuladegeneration gezeigt. Im Bereich der Fovea ist eine hyperreflektive Pigmentansammlung zwischen RPE und den Photorezeptorsegmenten abgebildet, welche deutlich größer als eine Druse ist. Diese Pigmentansammlung besteht aus extrazellulärem Material, welches von den äußeren Segmenten der Photorezeptoren und dem RPE stammt (Hannan et al. 2013).



**Abbildung 28:** Pseudovitelliforme Makuladegeneration. Der Pfeil zeigt auf die hyperreflektive Pigmentansammlung zwischen RPE und Photorezeptorsegmenten im Bereich der Fovea.

### 3.3.3.4 Fovea plana

Bei drei Augen von 2 Patienten (1,85 %, 95 %-KI: [0,38; 5,32]) konnte mittels OCT auch nach mehrfacher Veränderung der Schnittebenen im gesamten Bereich der Makula keine foveale Depression zur Darstellung gebracht werden. Die Abbildung 29 verdeutlicht das charakteristische Aussehen der Fovea plana im OCT-Schnittbild. Der mittlere Dezimal-Visus dieser Studienaugen belief sich auf 0,47. Ein Patient hatte einen starken horizontalen Rucknystagmus. Weitere systemische oder ophthalmologische Erkrankungen wiesen die betroffenen Patienten nicht auf.



**Abbildung 29:** Fovea plana: Horizontaler OCT-Scan im Fovea-Bereich ohne Nachweis einer fovealen Depression

### 3.3.3.5 Zusammenfassende Darstellung der retinalen Veränderungen in der OCT

Bei 20/162 Studienaugen (12,35 %, 95 %-KI: [7,71; 18,42]) konnten Pathologien im Sinne von epi- und subretinalen Veränderungen oder einer Fovea plana im OCT-Schnittbild aufgezeichnet werden.

Die Tabelle 10 fasst die häufigsten retinalen OCT-Pathologien aus dieser Studie, bestehend aus epiretinalen Gliosen (n=10) und Drusen (n=4), zusammen. Nummer 8 und Nummer 9 stellen dabei das linke und das rechte Auge eines Studienpatienten dar.

**Tabelle 10:** Zusammenfassung der häufigsten retinalen OCT-Pathologien

Nr.	Dezimal- Visus	Kataraktformen	klinische Makula- beurteilung	OCT-Befund	Tage zwischen Fundusbeurteilung und OCT
1	0,6	RT + KT	unauffällig	Gliose	3
2	0,6	RT + KT	unauffällig	Gliose	0
3	0,5	RT + KT	verstrichen	Gliose	0
4	0,9	KT	verstrichen	Gliose	0
5	0,6	HST	unauffällig	Gliose	0
6	0,6	RT +KT	unauffällig	Gliose	0
7	0,6	RT	verstrichen	Gliose	0
8	0,6	RT + KT + HST	unauffällig	Gliose mit Spontanabhebung	0
9	0,6	RT + KT + HST	unauffällig	Gliose	0
10	0,7	RT	verstrichen	Gliose	0
11	0,4	RT + KT	verstrichen	Drusen	0
12	0,3	RT + KT	unauffällig	Drusen	0
13	0,7	KT	verstrichen	Drusen	0
14	0,5	RT + KT + HST	verstrichen	Drusen	0

RT Rindentrübung (Cataracta corticalis)

KT Kerntrübung (Cataracta nuclearis)

HST hintere Schalenrübung (Cataracta subcapsularis posterior)

### **3.4 Klinische Konsequenzen der präoperativen OCT-Befunde**

Bei allen Studienpatienten ergab sich aus der zusätzlichen OCT-Untersuchung bzw. -Befundung keine Änderung in der operativen Strategie, d.h. es war bei allen Studienpatienten auch nach der OCT-Befundung eine Kataraktoperation ohne zusätzliche Maßnahmen indiziert. Allerdings wurden Patienten, die pathologische Veränderungen im OCT-Schnittbild aufzeigten, auf die Sinnhaftigkeit einer weiteren Kontrolle des hinteren Augenabschnittes nach der Kataraktoperation durch den niedergelassenen Augenarzt hingewiesen sowie über einen möglichen Einfluss auf den zu erwartenden postoperativen Visusverlauf aufgeklärt.

## **4 Diskussion**

### **4.1 OCT-Befunde im Literaturvergleich**

Im Folgenden soll auf die morphologischen Ergebnisse unserer Studie und die Vorteile der OCT gegenüber der Funduskopie hinsichtlich abgelöster hinterer GK-Grenzmembran, ERM, Drusen und einer Fovea plana eingegangen und diese mit ähnlichen OCT-Studien verglichen werden.

#### **4.1.1 Hintere Glaskörpergrenzmembran**

Die OCT-Untersuchung gilt als sensitivstes Verfahren für die Diagnostik einer hinteren GK-Abhebung im Frühstadium (Ivasticovic et al. 2012). In der vorliegenden Studie zeigten 66 Studienaugen (40,74 %) im OCT-Schnittbild eine Veränderung der vitreoretinalen Grenzfläche in Form einer hinteren GK-Abhebung auf.

Mit zunehmendem Alter der Studienpatienten fand sich häufiger ein fortgeschrittenes Stadium der GK-Abhebung im OCT-Schnittbild. Dies entspricht dem physiologischen Geschehen am hinteren Augenabschnitt und ist auf die Verflüssigung und Volumenabnahme des GK sowie die Schwächung der vitreoretinalen Adhäsion zurückzuführen (Weber-Krause und Eckardt 1997; Sebag 2004). In der vorliegenden Studie wurde eine beginnende partielle GK-Abhebung meist im temporalen (8/11) und im superioren (7/11) Quadranten entdeckt und konnte damit Beobachtungen aus vorherigen Studien bestätigen (Ito et al. 2003; Uchino et al. 2001; Ivasticovic et al. 2012). Der inferiore Quadrant wies dagegen bei einer beginnenden GK-Abhebung vergleichsweise selten eine abgehobene GK-Grenzmembran auf. Als Ursache dieser Beobachtungen gilt am ehesten die stärkere Wirkung der Gravitation im superioren Bereich (Ito et al. 2003). Bekannte fokale Adhäsionspunkte bei einer fortgeschrittenen GK-Ablösung konnten, wie auch in anderen Studien belegt, im Bereich der Makula/Fovea und Papille nachgewiesen werden (Uchino et al. 2001; Johnson 2010; Ivasticovic et al. 2012).

In vorangegangenen Publikationen wurde dargelegt, dass Patienten mit einem Diabetes mellitus aufgrund Hyperglykämien eine Veränderung der Kollagenfasern im GK erfahren und somit häufiger eine frühzeitige Verflüssigung des GK aufweisen

(Sebag 1993). Unser Patientenkollektiv schloss 25 Augen von Diabetikern ein. 13 Augen ließen eine abgehobene hintere GK-Grenzmembran im OCT-Schnittbild erkennen. Davon zeigten 12 Augen fortgeschrittene Stadien der GK-Abhebung. Im Gegensatz dazu wiesen aber auch 12 Augen von Diabetikern keine Veränderungen der vitreoretinalen Grenzfläche im OCT-Schnittbild auf. Bei diesen Patienten könnten jedoch fortgeschrittene Stadien einer hinteren GK-Abhebung vorliegen, die eine Darstellung der GK-Grenzmembran auf dem OCT-Schnittbild nicht mehr ermöglichten.

Anteilig zeigten in der vorliegenden Arbeit eher Männer eine hintere GK-Abhebung. Das Gegenteil berichten Chuo et al., die bei postmenopausalen Frauen vermehrt hintere GK-Abhebungen fanden und eine verminderte Hyaluronsäureproduktion vermuteten (Chuo et al. 2006). Da im Durchschnitt die weiblichen Studienpatienten ein höheres Alter aufwiesen und auch unter den Diabetikern mit 10 Frauen und 11 Männern ein ausgewogenes Verhältnis zu finden war, können diese Argumente nicht als Begründung für die vorliegenden Ergebnisse herangezogen werden. Warum in unserer Studie fast doppelt so viele Männer im Vergleich zu Frauen eine Veränderung an der vitreoretinalen Grenzfläche aufwiesen, konnte in dieser Studie nicht erklärt werden, mag aber auf die Kollektivgröße zurückzuführen sein.

#### **4.1.2 Epiretinale Membran**

Die epiretinale Gliose nimmt als Erkrankung des hinteren Augenabschnittes bei älteren Patienten eine zentrale Rolle ein (Brierley 2006). In unserer Studie konnte in 10/163 Augen (6,17 %) eine ERM ohne Traktion im OCT-Schnittbild dargestellt werden. 9 ERM lagen dabei komplett an der Netzhaut an.

Zwei große Studien, die *Beaver Dam Eye Study* (1988 - 1990) (Klein et al. 1994) und die *Blue Mountains Eye Study* (1992 - 1993) (Mitchell et al. 1997) haben sich mit der Prävalenz, den Risikofaktoren und dem Erscheinungsbild der ERM in großen Fallzahlen (n=4.926 und n=3.654) beschäftigt. Dabei wiesen 10,9 % (Klein et al. 1994) und 6,2 % (Mitchell et al. 1997) der Studienaugen ohne retinale Vorerkrankungen oder vorausgegangene Kataraktoperation eine sogenannte idiopathische oder primäre ERM in der Funduskopie auf. Die meisten ERM wurden bei Patienten zwischen 70-79 Jahren aufgrund altersbedingter Veränderungen am

hinteren Augenabschnitt, vorangegangenen Kataraktoperationen oder retinalen Erkrankungen gefunden (Klein et al. 1994). In der *Blue Mountains Eye Study* wurde ab einem Alter von 80 Jahren ein Rückgang funduskopisch diagnostizierter ERM beschrieben (Mitchell et al. 1997). Dies wurde auf die zunehmende Linsentrübung und damit schlechtere Sichtbarkeit zurückgeführt. Auch in der *Beaver Dam Eye Study* war die Häufigkeit einer funduskopisch erkennbaren ERM bei Patienten mit einer Cataracta corticalis oder nuclearis deutlich geringer als bei Patienten ohne Linsentrübung (Klein et al. 1994). Dabei muss berücksichtigt werden, dass damals die OCT-Technologie noch nicht zur kommerziellen Verfügung stand.

Die Problematik der funduskopischen Diagnostik von ERM bei Kataraktpatienten wurde in der Vergangenheit in einigen Studien diskutiert. Eine Arbeit aus dem Jahre 1999 fand bei Kataraktpatienten im Vergleich zur präoperativen Situation 12/250 (4,8 %) eine höhere Prävalenz von postoperativ entdeckten ERM in der Funduskopie 33/250 (13,2 %) (Jahn et al. 1999). Diese ERM wurden jedoch schon 7 Tage nach der Kataraktextraktion diagnostiziert. Solch eine kurze Zeitspanne deutete eher auf eine präoperativ bereits vorhandene „übersehene“ ERM am hinteren Augenabschnitt hin, die durch den schlechten Funduseinblick nicht diagnostiziert werden konnte (Jahn et al. 1999).

Unterstützt wird dieses Erkenntnis durch eine Studie von Contreras et al. im Jahre 2008. Sie untersuchten Kataraktpatienten prä- und postoperativ mittels Funduskopie und OCT-Diagnostik auf vorhandene ERM. Präoperativ konnte im OCT-Schnittbild bei 7 von 45 Patienten (15,6 %) eine ERM nachgewiesen werden. Nur ein Patient von den 7 aufgeführten Patienten war dabei präoperativ in der Funduskopie auffällig. 6 Monate postoperativ konnten weder durch die Funduskopie noch durch die OCT-Diagnostik neu aufgetretene ERM gefunden werden (Contreras et al. 2008). Die präzisere präoperative Diagnostik von ERM mittels OCT bei Kataraktpatienten wurde 2012 auch durch Milani et al. bewiesen. Von 146 untersuchten Augen ohne vorangegangene Veränderungen am hinteren Augenabschnitt wurden 38 ERM mittels OCT-Schnittbildern diagnostiziert, 14 Augen waren davon funduskopisch unauffällig. Von den 38 im OCT-Schnittbild erkannten ERM wurden 5 ERM durch eine Vitrektomie behandelt, da andernfalls nach alleiniger Kataraktoperation ein Visusanstieg fraglich gewesen wäre (Milani et al. 2012).

Unsere Studienpatienten mit einer ERM waren alle in der Funduskopie unauffällig und wiesen bis auf einen Patienten keine weiteren ophthalmologischen Erkrankungen auf. Bei diesen 9 Studienaugen mit einer ERM handelt es sich daher um eine primäre ERM. Primäre ERM zeigten sich auch in der Arbeit von Mori et al. im OCT-Schnittbild überwiegend als flach auf der Netzhaut aufliegende Membranen. Sekundär bedingte ERM, wie sie ein Studienpatient mit rezidivierenden Uveitiden ausbildete, stellen sich dagegen im OCT-Schnittbild vielfach durch fokale Adhäsionspunkte an der Netzhaut und einen ungünstigeren Krankheitsverlauf dar (Mori et al. 2004). In unserer Studie zeigte sich diese sekundäre ERM jedoch ohne Netzhautfältelung, Traktion oder Elevation der Netzhaut.

Wise und Sidd et al. fanden in früheren – rein auf Funduskopie basierenden – Studien bei 60-90 % der Augen mit einer ERM eine hintere GK-Abhebung (Wise 1975; Sidd et al. 1982). In der vorliegenden Studie wurden entsprechend nur 1/10 ERM mit einer vitreomakulären Adhäsion und 2/10 ERM mit einer vitreofovealen Adhäsion beobachtet. Bei den verbleibenden 7/10 Augen konnte die GK-Grenzmembran im OCT-Schnittbild nicht dargestellt werden, was eine hintere GK-Abhebung weder unbedingt ausschließt noch bestätigt.

Im Gegensatz zu Wilkins et al., bei denen ein Viertel der anliegenden ERM zusätzlich retinale Pseudolöcher im OCT-Schnittbild erkennen ließen (Wilkins et al. 1996), konnten retinale Pseudolöcher in unserer Studie bei Patienten mit einer ERM nicht nachgewiesen werden. Bezüglich der Aussagekraft ist allerdings die sehr grobe Auflösung damals verfügbarer OCT-Geräte zu berücksichtigen. Patienten mit retinalen Pseudolöchern fallen typischerweise bereits in der Funduskopie auf und wurden aufgrund der gewählten Einschlusskriterien eines unauffälligen Fundus nicht in unsere Studie aufgenommen.

#### **4.1.3 Drusen**

4/162 (2,47 %) der OCT-Schnittbilder zeigten bei unauffälliger Funduskopie Drusen. Dabei wurden im OCT-Schnittbild 2 Fälle als harte und 2 Fälle als weiche Drusen klassifiziert. Weitere ophthalmologische Erkrankungen lagen bei den betroffenen Patienten nicht vor.

Vergangene Studien verdeutlichten keine große Abweichung zwischen der funduskopischen Diagnostik von Drusen und ihrer Darstellung im OCT-Schnittbild (Yehoshua et al. 2013; Jain et al. 2010). Drusen, die nur zu einer Pigmentveränderung, nicht jedoch zu einer Abhebung des RPE führten, kamen sogar eher in der Funduskopie als in der OCT-Diagnostik zur Darstellung (Yehoshua et al. 2013).

#### **4.1.4 Fovea plana**

Drei Studienaugen von 2 Patienten zeigten eine fehlende foveale Depression als Zeichen einer Fovea plana im OCT-Schnittbild. Der mittlere Dezimal-Visus dieser Studienaugen belief sich auf 0,47 und zeigte sich damit reduziert. Schon in einer vorangegangenen Publikation wurde bei Augen mit einer fovealen Hypoplasie durchschnittlich ein geringerer Visus jedoch mit einer großen interindividuellen Variabilität ( $0,57 \pm 0,24$ ) festgestellt (Park und Oh 2013). Studienpatienten aus der vorliegenden Arbeit wiesen dagegen neben der Fovea plana eine Katarakt auf, was den geringeren Visus im Vergleich zu anderen Publikationen erklärt.

Weitere ophthalmologische oder systemische Erkrankungen wie ein okulokutaner Albinismus oder eine Aniridie, die Patienten mit einer Fovea plana vermehrt aufweisen (Park und Oh 2013; Thomas et al. 2011), lagen bei den betroffenen Patienten nicht vor. Thomas et al. berichteten 2011 von derartig isoliert auftretenden fovealen Hypoplasien (Thomas et al. 2011). Bei diesen Patienten stellt sich der Fundus in der Funduskopie normal pigmentiert mit einem nur leicht verminderten makulären Reflex dar (Querques et al. 2009; Park und Oh 2013).

Da die foveale Kontur in der Ophthalmoskopie insbesondere bei älteren Patienten mit Verlust des fovealen Reflexes kaum erkennbar ist, gestaltet sich die funduskopische Diagnostik der Fovea plana als sehr diffizil. Trübe Medien von Kataraktpatienten, die zu einem unscharfen Funduseinblick führen, erschweren zusätzlich die Beurteilung. Darüber hinaus stellt ein häufig vorhandener Nystagmus bei diesen Patienten eine weitere Behinderung der Funduskopie dar (Park und Oh 2013; Cronin et al. 2009). Auch in unserer Studie hatte ein Patient mit einer Fovea plana einen starken horizontalen Rucknystagmus.

## **4.2 Therapeutische Konsequenzen**

In den nachstehenden Abschnitten sollen die Bedeutung und daraus resultierende therapeutische Maßnahmen der jeweiligen Pathologie dargestellt werden.

### **4.2.1 Hintere Glaskörpergrenzmembran**

Bei allen OCT-Schnittbildern unserer Studie mit einer vitreoretinalen Adhäsion konnte – bis auf einen Fall – keine traktionsbedingte Veränderung an der Netzhaut gefunden werden. Bei den Patienten lag – wie bei allen Studienpatienten – auch keine Symptomatik vor. Wie schon in anderen Studien beschrieben, geht man hier von einer inkompletten, bislang komplikationslos verlaufenden, spontanen hinteren GK-Abhebung aus (Johnson 2010; Uchino et al. 2001). Bei 3 Patienten mit einer vitreomakulären oder vitreofovealen Adhäsion war eine ERM erkennbar.

Die Diagnostik einer vitreoretinalen Adhäsion ohne pathologische Veränderungen der Netzhaut hat keine klinische Konsequenz. Darüber hinaus ist bekannt, dass durch die Manipulation im vorderen Augenabschnitt während der Kataraktextraktion eine hintere GK-Abhebung initiiert oder ihr Fortschreiten begünstigt werden kann (Ivastic et al. 2012; Ivastic et al. 2013).

Kommt es jedoch – wie bei einem unserer Studienpatienten – durch den GK-Zug zu intraretinalen Veränderungen (z. B. Abhebung oder drohende Lochbildung der Netzhaut), so sind ein frühzeitiges Erkennen und daraus resultierende engmaschige Kontrollen sinnvoll. Im Falle einer symptomatischen vitreomakulären Traktion (VMT) sind visuelle Symptome des Patienten wie Metamorphopsien, Photopsien oder Mikropsien für solche Pathologien klinisch wegweisend und initiiierend für eine weitere Diagnostik. Diese Leitsymptome weisen jedoch nicht alle Patienten auf und können aufgrund einer gleichzeitig bestehenden Katarakt verschleiert werden. Die bisherige Routinediagnostik mittels Funduskopie ist bei diesen schwierig erkennbaren, sehr transparenten, traktiven GK-Strängen nicht ausreichend, sodass ein Einbeziehen von In-vivo-Schnittbildern mittels OCT-Technik hier deutlich überlegen ist (Gallemore et al. 2000; Do et al. 2006). Kataraktpatienten mit einer VMT sollten im präoperativen Aufklärungsgespräch insbesondere auf den Einfluss retinaler Veränderungen bezüglich der erreichbaren Sehschärfe sowie auf das Risiko

einer postoperativ möglichen Verstärkung der retinalen Pathologie hingewiesen werden.

Die Frühdiagnostik der vitreoretinalen Adhäsion mit begleitender retinaler Veränderung bei symptomatischen Patienten gewinnt aufgrund neuer Therapieverfahren immer mehr an Bedeutung. Medikamentöse Therapien wie intraokulare Ocriplasmin-Injektionen können bei einem Viertel der Patienten den GK bei einer fokalen symptomatischen VMT durch eine Schwächung der GK-Adhäsion von der Netzhaut lösen und damit gravierendere retinale Veränderungen und operative Eingriffe vermeiden (Morrow 2013; Sebag 2004). Eine entsprechende Indikationsstellung kommt dafür nur bei Patienten mit visuellen Symptomen in Frage. Augen mit einer asymptomatischen GK-Adhäsion sollten nicht den Risiken einer intravitrealen Injektion ausgesetzt werden, da sich wie oben beschrieben, der GK häufig spontan und ohne Probleme von der Netzhaut löst.

Alle Studienpatienten aus der vorliegenden Arbeit gaben bei der präoperativen Diagnostik keine für Netzhautpathologien typischen Symptome wie z. B. Metamorphopsien an. Mit Ausnahme eines Patienten konnten auch keine Traktionen an der zentralen Netzhaut im OCT-Schnittbild nachgewiesen werden. Ob Patienten, die einen unauffälligen Fundus in der Funduskopie aufwiesen, jedoch traktionsbedingte Veränderungen im OCT-Schnittbild zeigten, durch subjektiv angegebene visuelle Symptome und dadurch bereits veranlasste OCT-Untersuchungen keinen Zugang in unsere Studie fanden, konnte nicht ermittelt werden. Die vorliegende Studie verdeutlicht hingegen, dass bei Kataraktpatienten, die neben der getrübten Linse keine typisch retinal bedingten visuellen Leitsymptome angeben, meist auch keine traktiven Veränderungen der Netzhaut vorliegen und diesbezüglich keine Indikation für eine weiterführende Diagnostik und Therapie besteht. Bei starker Ausprägung der Katarakt, können entsprechende Symptome aber verschleiert werden.

#### 4.2.2 Epiretinale Membran

Eine ERM gilt als langsam progredient und führt nur in wenigen Fällen zu einer Visuseinschränkung (Pearlstone 1985; Wise 1975). Die Entstehung einer ERM wird – solange die Makula nicht betroffen ist – vom Patienten meist nicht bemerkt. Liegt jedoch eine epimakuläre Membran vor, welche durch Verzug und Verdickung der zentralen Netzhaut intraretinale Veränderungen (z. B. Ödembildung und Desintegration der Photorezeptoren) hervorruft, so können die Patienten über eine Abnahme des Visus, Metamorphopsien oder Mikropsien klagen. Weit fortgeschritten kann es bei einer Kontraktion der ERM sogar zu einer zentralen neurosensorischen Abhebung kommen.

Zur Bedeutung einer präoperativ diagnostizierten ERM bei Kataraktpatienten gibt es kontroverse Aussagen. Sigler et al. beobachteten 2013 im Rahmen einer OCT-Studie, dass 4,5 % der Augen mit einer ERM „Einrisse“ in der prämakulären Gliose entwickelten. 68 % dieser Augen waren pseudophak. Unabhängig davon kam es bei 68 % der Patienten foveanah zu einem Einriss der ERM, welcher durch verstärkten Zug im Bereich der fovealen Retina eher zu einer Visuseinschränkung führte als ein foveaferner Riss (Sigler et al. 2013). Kataraktpatienten mit einer präoperativ vorhandenen ERM haben somit postoperativ ein erhöhtes Risiko für einen Einriss der ERM und damit bei einer foveanahen Lokalisation für eine Abnahme des Visus. Die Bedeutung der präoperativen Diagnostik von ERM mittels OCT nimmt hierdurch im Hinblick auf engmaschige Kontrollen und eine adäquate Aufklärung des Patienten zu. Eine GK-Operation ist ohne retinale Veränderungen und entsprechende Symptomatik nicht notwendig.

Hayashi und Hayashi haben ebenfalls den Einfluss einer Kataraktextraktion auf die Progression einer ERM untersucht. Die Hälfte der Studienpatienten mit einer ERM wies eine Katarakt mit Indikation zur Kataraktextraktion auf und wurde operiert. Postoperativ konnte weder in der fovealen Dicke noch im Visus ein Unterschied zwischen Patienten mit oder ohne durchgeführte Kataraktoperation konstatiert werden. Ein operationsbedingtes Fortschreiten der ERM blieb aus (Hayashi und Hayashi 2009). In einer Kasuistik aus dem Jahre 2006 wurde hingegen – nachdem sich der Makulabefund nach der Kataraktoperation erheblich verschlechtert hatte – bei einem Patienten eine beidseitig stark fortgeschrittene ERM im OCT-Schnittbild diagnostiziert. Der behandelnde Augenarzt bereute diesbezüglich den Verzicht auf

ein präoperativ angefertigtes OCT-Schnittbild, was seine Indikationsstellung zur Kataraktoperation geändert hätte (Brierley 2006).

Berücksichtigt man die Anwesenheit einer ERM in der Indikationsstellung der Kataraktoperation, so wäre eine geplante Kombination der Kataraktextraktion mit einer Vitrektomie und Membran-Peeling von Vorteil. In der Studie von Dugas et al. aus dem Jahre 2010 konnte bei Kataraktpatienten mit einer präoperativ diagnostizierten ERM und der Indikation zur operativen Intervention kein Unterschied im Outcome zwischen der operativen Strategie, die Kataraktextraktion und das Membran-Peeling als kombinierte OP oder zeitlich versetzt durchzuführen, gefunden werden. Beide Patientengruppen profitierten in ihrer postoperativen Visusentwicklung gleichermaßen, wobei es bei Patienten mit einer kombinierten OP früher zu einer Visusverbesserung kam (Dugas et al. 2010). In Anbetracht der Effektivität und der schnelleren Visussteigerung erscheint eine Kombination beider Operationen und damit die präoperative Diagnostik einer ERM von Vorteil.

Trotz einiger Einzelfälle bleiben bei der Mehrzahl der Patienten schwere Folgen nach Kataraktoperation aufgrund einer präoperativ nicht erkannten asymptomatischen ERM aus. Selbst präoperativ diagnostizierte ERM verändern bei fehlenden typischen Symptomen und somit keiner Indikation zur Vitrektomie bislang nur selten die operative Strategie. Ob eine Änderung der operativen Strategie einen Vorteil im postoperativen Outcome – z. B. hinsichtlich der Rate eines postoperativen Makulaödems – erzielt, ist bislang nicht belegt. Eine routinemäßig durchgeführte OCT-Diagnostik zur alleinigen Erkennung präoperativ asymptomatischer ERM erscheint auf Basis bisheriger Ergebnisse nicht gerechtfertigt. Darüber hinaus sind relevante ERM im Gegensatz zu vitreomakulären Traktionssyndromen besser funduskopisch erkennbar. Bei einer Visusverschlechterung, die durch die Linsentrübung klinisch nicht erklärbar ist, erscheint jedoch der Stellenwert der OCT hoch. Dieser Aspekt wurde in der vorliegenden Studie nicht untersucht.

### 4.2.3 Drusen

Drusen gelten als Anzeichen einer AMD und weisen eine dynamische Morphologie auf (Yehoshua et al. 2013; Pieroni et al. 2006). Dabei stellen die großen, weichen und konfluierenden Drusen ein erhöhtes Risiko für die Entstehung einer exsudativen AMD am hinteren Augenabschnitt dar (Abdelsalam et al. 1999). Kleine harte Drusen hingegen sind häufig physiologisch bei Menschen mit zunehmendem Alter zu finden (Schlanitz et al. 2010). Da Patienten mit kleinen, früh entdeckten exsudativen Veränderungen und einer frühzeitigen medizinischen Intervention den besten klinischen Verlauf aufzeigen, gewinnt die Frühdiagnostik der exsudativen AMD an Bedeutung (Blinder et al. 2003). Im Hinblick auf das funktionelle Ergebnis ist dabei die visusbasierte Behandlung der exsudativen AMD der frühzeitigen Behandlung bei OCT-morphologischen Veränderungen deutlich unterlegen (Ahlers 2013; Hoerster et al. 2011). Im Rahmen der sogenannten *Age Related Eye Disease Study* konnte bei Patienten, die aufgrund mehrerer mittelgroßer Drusen Frühstadien der AMD aufwiesen, ein positiver Einfluss bezüglich der Progression der AMD durch das Antioxidans Lutein als Nahrungsergänzungsmittel nachgewiesen werden (Chew et al. 2014). Patienten, die aufgrund ihrer retinalen Veränderungen ein hohes Risiko für die Entwicklung einer exsudativen AMD haben, können durch engmaschige Kontrollen von einer frühzeitigen Intervention profitieren (Wang et al. 2003a). Für Patienten, die im Rahmen einer trockenen AMD eine geografische Atrophie entwickeln, werden momentan neue Therapieverfahren mit intravitrealen Medikamenten geprüft (Do et al. 2014).

Ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer exsudativen AMD wurde lange bei Patienten nach Kataraktextraktion vermutet (Wang et al. 2003b). In diesem Zusammenhang wurde die zunehmende Sonnenlichtexposition am hinteren Augenabschnitt durch die eingesetzte klare Linse diskutiert. Die Studie von Delcourt et al. konnte 2001 jedoch keinen Zusammenhang zwischen der Sonnenlichtexposition und dem Fortschreiten einer AMD feststellen (Delcourt et al. 2001). Da die Makuladegeneration und die Entwicklung einer Katarakt mit Indikation zur Operation eher im fortgeschrittenen Alter zu beobachten sind, kann ihr synchrones Auftreten altersbedingt und daher nicht unbedingt aufeinander zurückzuführen sein. Mittlerweile wurde durch eine weitere Studie bestätigt, dass kein Zusammenhang

zwischen dem Auftreten einer AMD und einer vorangegangenen Kataraktoperation besteht (Wang et al. 2012).

Patienten mit Drusen und damit dem Hinweis auf eine entstehende AMD profitieren je nach Einschätzung des Makulabefundes und Ausprägung der Linsentrübung ebenfalls von einer Kataraktextraktion, sodass die Indikation zur Kataraktoperation bei signifikanter Linsentrübung weiterhin bestehen bleibt (Armbrecht et al. 2000).

Die präoperative Diagnostik isoliert auftretender Drusen hat derzeit bei den meisten Patienten zwar nur begrenzte therapeutische Konsequenz, aber eine prognostische Bedeutung. Der eigentliche Gewinn durch präoperativ diagnostizierte Drusen stellt sich in einer erweiterten Patienteninformation dar, die den Patienten auf das Risiko, eine exsudative AMD zu entwickeln und notwendige weitere Kontrollen aufmerksam machen kann, sowie den Hinweis gibt, dass aufgrund der Makulaveränderung die Visusprognose trotz Kataraktoperation limitiert sein kann.

#### **4.2.4 Fovea plana**

Bei der Fovea plana handelt es sich um eine genetisch determinierte Normvariante, die keiner weiteren Therapie zugänglich ist. Sie ist funduskopisch schwer zu erkennen. Eine visuelle Beeinträchtigung muss bei den betroffenen Patienten nicht immer vorliegen. Daher werden einige asymptomatische Patienten mit einer fovealen Hypoplasie nicht erfasst (Recchia et al. 2002). Präoperativ führt diese Normvariante bei Patienten mit einer Katarakt zwar nicht zu einer Änderung der Therapie, ist jedoch eine wichtige Information für den Patienten, dass postoperativ möglicherweise kein voller Visus erreichbar ist. Ist bei einem begleitenden Nystagmus keine zuverlässige funduskopische Beurteilung möglich, so stellt die OCT eine sinnvolle Ergänzung dar. Letztlich ist die Fovea plana so selten, dass eine OCT-Diagnostik deshalb nicht als präoperativer Standard vor Kataraktoperation erforderlich ist.

### 4.3 Limitationen und mögliche Fehlerquellen der Studie

#### 4.3.1 Studienablauf

Die Ärzte der Augenklinik wurden vor Beginn der Studie ausführlich informiert. Auch wenn es vor der Funduskopie nicht zu einer studieninternen Kennzeichnung der Patientenakten kam, so könnte, um in der gegebenen Situation nichts zu übersehen, die Funduskopie durch die beteiligten Ärzte besonders sorgfältig und genauer als im Routinebetrieb üblich, durchgeführt worden sein. Dem Studiendesign entsprechend erfolgte die Funduskopie in Mydriasis nacheinander durch eine/-n Assistenz- und eine/-n Oberarzt/-ärztin, was durch den *Double-Check* das Risiko, Pathologien in der Funduskopie zu übersehen, sicher nochmals reduzierte. Darüber hinaus wurde der Patient ebenfalls von einem Facharzt für Augenheilkunde zur Kataraktoperation überwiesen, der zusätzlich eine Funduskopie durchgeführt hatte. Im niedergelassenen klinischen Alltag wird die funduskopische Untersuchung zeitlich effektiver nur durch einen Augenarzt und bei fehlender wegweisender Symptomatik manchmal alleinig in Miosis durchgeführt, sodass hier feine Veränderungen ggf. eher übersehen werden können.

Die OCT-Untersuchung, OCT-Bildqualität und auch die Interpretation der OCT-Schnittbilder ist untersucherabhängig und wird aufgrund einer fortgeschrittenen Linsentrübung zusätzlich erschwert. Im Rahmen der qualitativen Auswertung der Schnittbilder könnte es, insbesondere bei geringen vitreoretinalen Veränderungen – wie sie in unserer Studie gefunden wurden – zu interindividuellen Abweichungen in der Interpretation der OCT-Schnittbilder kommen. Die Intraobserver- und Interobservervariabilität der OCT-Befundung wurde in der vorliegenden Studie nicht überprüft.

Eine generelle Limitation bei der Erstellung von OCT-Schnittbildern im ärztlichen Alltag stellt die unterschiedliche Lokalisation der Netzhaut im OCT-Ausdruck dar. Dadurch kommt es zur Darstellung von variierenden Mengen des präretinalen GK-Raumes (vgl. Abbildung 19 und 20). Die Lage der GK-Grenzmembran war somit nicht immer beurteilbar. Kam es auf dem OCT-Schnittbild zur Abbildung eines großen Abschnittes über der Retina, so wurde auch eine abgehobene GK-Grenzmembran mit größerer Entfernung zur Netzhaut aufgezeichnet. Lag jedoch die Retina weiter oben im OCT-Schnittbild, so kann die GK-Grenzmembran aufgrund

einer peripapillären Adhäsion über der Netzhaut schweben, jedoch nicht auf dem OCT-Schnittbild zur Darstellung kommen.

Abschließend ist zu betonen, dass diese Studie den Stellenwert der präoperativen OCT-Diagnostik gegenüber der Funduskopie beurteilen sollte, aber nicht zur Bewertung des individuellen Verlaufes nach der Kataraktextraktion geplant war. Die vorliegende Studie ist somit nicht geeignet, Aussagen zum Nutzen der präoperativen OCT-Diagnostik im Hinblick auf den postoperativen Verlauf zu treffen. Diese Frage sollte im Rahmen zukünftiger Untersuchungen mit entsprechendem Studiendesign adressiert werden.

### 4.3.2 Patientengut

Der durchschnittliche Dezimal-Visus lag in dieser Studiengruppe bei 0,5. Dies entspricht einem eher überdurchschnittlich guten präoperativen Dezimal-Visus vor Kataraktextraktion. Dies erklärt sich zum einen durch den im Studiendesign als Ausschlusskriterium definierten minimalen Dezimal-Visus von 0,2 und zum anderen durch den geringen Anteil an Patienten mit additiven ophthalmologischen Erkrankungen. Kataraktpatienten, die neben der Katarakt weitere ophthalmologische Erkrankungen aufweisen, sind im klinischen Alltag nicht selten, wurden in unserer Studie jedoch nur vereinzelt einbezogen.

In der vorliegenden Studie wurden 21 Patienten mit einem Diabetes mellitus (17,1 %) ohne erkennbare diabetische Retinopathie eingeschlossen. Damit liegt der prozentuale Anteil an Diabetikern in der Studienkollektive unter der deutschlandweiten Prävalenz des Diabetes mellitus, die bei mehr als 20 % in der Altersgruppe der 70-79-Jährigen liegt (Rathmann et al. 2013). Kataraktpatienten die an Diabetes mellitus erkrankt sind und klinisch erkennbare diabetogene Veränderungen am Augenhintergrund aufwiesen, wurden aufgrund der festgelegten Ausschlusskriterien nicht in die Studie einbezogen.

Deutschlandweit erfolgen Kataraktoperationen meist ambulant (Hahn et al. 2012). Im Gegensatz dazu wurden in diesem Studienkollektiv mehr Patienten stationär 46/123 (37,4 %) als ambulant 26/123 (21,1 %) operativ versorgt. Da die an der Studie teilnehmenden Patienten von den niedergelassenen Augenärzten/-innen an die Universitätsaugenklinik Göttingen überwiesen wurden, zeigte sich ein der Studie vorgelagerter Selektionseffekt. Dadurch wurde eine Vielzahl an allgemeinärztlich multimorbiden Patienten, bei denen eine stationär durchgeführte Kataraktoperation medizinisch begründet war, in unsere Studie eingeschlossen.

Studienpatienten, bei denen die Kataraktoperation ambulant durchgeführt wurde, erhielten im Gegensatz zu den stationären Patienten die OCT-Untersuchung durchschnittlich 51 Tage nach der Funduskopie (Spannweite 3 - 114 Tage). Da die Ergebnisse der OCT-Diagnostik Pathologien aufwiesen, die deutlich langsamer entstehen und fortschreiten, hat diese zeitliche Differenz einen vernachlässigbaren Einfluss.

#### 4.4 Schlussfolgerungen

Im Zuge verbesserter diagnostischer Möglichkeiten und der Zunahme von Kataraktoperation auf ~ 700.000 pro Jahr in Deutschland (Gerste 2012) sind in den letzten Jahren die Forderungen an eine qualitativ korrekte Indikationsstellung und eine bestmögliche Beratung des Patienten über den postoperativ zu erwarteten Visusgewinn gestiegen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden und um eine optimale postoperative Visusprognose zu formulieren, stellt sich die Frage nach dem Sinn und der Effektivität des routinemäßigen Einsatzes aufwändiger Diagnostikverfahren. Dabei ist gegenwärtig die hochauflösende OCT, die mit einem geringen Zeitaufwand und nicht-invasiv kleinste Veränderungen am hinteren Augenabschnitt – insbesondere im Bereich der Makula – darstellen kann, das optimale diagnostische Verfahren.

Neben unserer Studie berichteten bereits im Text vorgestellte und zitierte Publikationen von Pathologien am hinteren Augenabschnitt bei Kataraktpatienten, die präoperativ in der Funduskopie nicht erkennbar waren und erst durch ein OCT-Schnittbild diagnostiziert wurden. Einige Studien zeigten auch Änderungen der therapeutischen Strategie, die auf den jeweiligen OCT-Schnittbildern basierten (Creese et al. 2012; Milani et al. 2012).

ERM oder Drusen, die in der vorliegenden Studie aufgrund der zusätzlichen OCT-Untersuchung in den Anfangsstadien erstmalig diagnostiziert wurden, hatten bezüglich der Indikationsstellung einer Kataraktoperation keine klinische Konsequenz. Hierbei muss betont werden, dass diese Patienten keine makulaspezifische Symptomatik aufwiesen. Die Befunderhebung hat jedoch dazu geführt, dass die Patienten auf regelmäßige Kontrollen des Makulabefundes und auf typische Symptome bei Progredienz hingewiesen wurden. Unsere Studie zeigt, dass durch eine routinemäßig durchgeführte OCT-Untersuchung vor Kataraktoperation betroffene Patienten detektiert werden und eine umfassendere Patientenaufklärung erhalten.

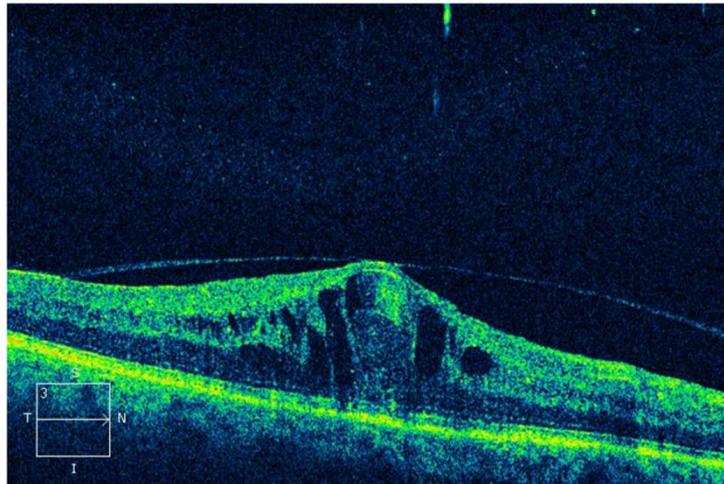
Als wichtiger Zusatzaspekt leitet sich aus der vorliegenden Studie ab, dass das Fehlen typischer Symptome für Makulaerkrankungen trotz vorhandener Katarakt durchaus als ein wichtiger Prognosefaktor für die Situation am hinteren Augenabschnitt hinsichtlich vorhandener retinaler Veränderungen anzusehen ist.

Patienten, die neben den für die Linsentrübung typischen Leitsymptomen wie Nebel- oder Schleiersehen keine weiteren visuellen Einschränkungen (z. B. Metamorphopsien, Mikropsien) angaben, wiesen – bis auf einen Patienten mit einer vitreoretinalen Traktion – keine retinalen Veränderungen im OCT-Schnittbild auf. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass in unserer Studie unter Berücksichtigung der OCT-Schnittbildqualität nur Kataraktpatienten bis zu einem minimalen Dezimal-Visus von 0,2 eingeschlossen wurden. Zum einen ist bei Patienten mit starker Linsentrübung aufgrund des schlechteren Funduseinblickes das Risiko Pathologien am hinteren Augenabschnitt in der Funduskopie zu übersehen, erhöht. Zum anderen können retinal bedingte visuelle Symptome durch die fortgeschrittene Katarakt verschleiert und vom Patienten unbemerkt bleiben. Bei Patienten mit einem Visus  $< 0,2$  könnte die OCT im Vergleich zu Patienten mit geringerer Linsentrübung entsprechend einen höheren Stellenwert einnehmen, was in zukünftigen Studien adressiert werden sollte. In diesem Zusammenhang sollte geklärt werden, inwieweit die OCT-Schnittbilder – gerade unter Berücksichtigung technischer Weiterentwicklung der klinisch verfügbaren OCT-Geräte – auch bei Patienten mit ausgeprägter Linsentrübung eine diagnostische Aussagekraft enthalten.

Neben der ärztlichen Einschätzung des postoperativ erreichbaren Visus ermöglichen OCT-Schnittbilder dem Patienten vorhandene Pathologien am hinteren Augenabschnitt bildhaft zu vermitteln. Die Befunde der OCT-Untersuchung erweitern damit die präoperative ärztliche Patienteninformation hinsichtlich Präzision, Ausführlichkeit und Anschaulichkeit. Erkrankungen wie die ERM, die im OCT-Schnittbild durch eine Veränderung an der vitreoretinalen Grenzfläche eindrücklich imponiert, klinisch jedoch wenige Konsequenzen aufweist (Wise 1975; Pearlstone 1985), können den Patienten andererseits aber auch verunsichern. Daher ist hier besondere Sorgfalt und Erfahrung in der ärztlichen Aufklärung gefordert.

Bei Patienten, die wegen starker Blendeempfindlichkeit eine Untersuchung der zentralen Netzhaut mittels Spaltlampe oder Ophthalmoskopie nicht tolerieren, ermöglicht der Einsatz einer OCT, durch das verwendete Infrarotlicht, eine Beurteilung der Makula. Im Verlauf unserer Studie war an einem Patienten, der nicht in die Studie aufgenommen wurde, die Untersuchung an der Spaltlampe sowie die indirekte Funduskopie schwer durchführbar. Die OCT-Untersuchung wurde vom Patienten dagegen gut toleriert. Das angefertigte OCT-Schnittbild (siehe Abbildung

30) zeigte ein zystoides Makulaödem. Ohne OCT-Untersuchung wäre dies präoperativ nicht erkannt worden. Die Behandlungsschwerpunkte wurden in diesem Fall neu formuliert und die postoperative Visusprognose besprochen.



**Abbildung 30:** OCT-Schnittbild eines zystoiden Makulaödems

Patienten, bei denen eine bewegungsfreie Augenuntersuchung nicht möglich ist, sind ebenfalls funduskopisch oft schwer zu beurteilen. In unserer Studie wurden zwei Patienten mit Morbus Parkinson und ein Patient mit einem starken Nystagmus aufgenommen. Obwohl auch durch Bewegungsartefakte schwierig durchzuführen, konnte die OCT-Untersuchung aufgrund der kurzen Aufnahmezeiten die Beurteilung der Makula ermöglichen. Vorteilhaft sind diesbezüglich die im Gegensatz zur Funduskopie bei der OCT fehlende Blendung sowie der angebotene Fixierungspunkt während der Untersuchung.

Der Stellenwert der zentralen Funduskopie könnte sich durch eine präoperativ routinemäßig durchgeführte OCT-Untersuchung verändern. Die OCT-Schnittbildgebung bildet den Befund jedoch nur am hinteren Pol der Netzhaut ab. Retinale Pathologien, die sich nicht im zentralen Bereich der Netzhaut befinden, werden nicht dargestellt. Daher ist für die adäquate Untersuchung des gesamten hinteren Augenabschnittes vor einer Kataraktoperation weiterhin die Funduskopie erforderlich. Darüber hinaus gibt es Veränderungen am hinteren Augenabschnitt wie z. B. flache Aderhautnävi oder Blutungen, die in der OCT nicht darstellbar sind. Eine

Funduskopie bleibt demnach auch bei anschließender OCT-Untersuchung unerlässlich. Daher muss die Funduskopie ergänzend durchgeführt werden und kann derzeit nicht durch eine delegierbare und meist nicht durch ärztliches Personal durchgeführte Methode wie der OCT ersetzt werden.

Die OCT-Diagnostik wird gegenwärtig zunehmend in Augenkliniken und Augenarztpraxen als Makuladiagnostik bei Verdacht auf Makulaerkrankungen angeboten. Da die OCT bislang nicht in den Leistungskatalog der gesetzlichen Krankenkassen aufgenommen wurde, muss sie vom gesetzlich krankenversicherten Patienten selbst getragen werden. Die Patienten in unserer Studie wiesen entweder keine Pathologien oder nicht therapiepflichtige Befunde im OCT-Schnittbild auf. Daher ist die OCT-Untersuchung als Routinediagnostik vor einer Kataraktoperation bei funduskopisch sicher beurteilbarer und unauffälliger Makula derzeit nicht gut begründbar. Anders ist dies bei refraktiv-chirurgischen Patienten zu bewerten, welche in unserer Studie nicht untersucht wurden. Hier sollten auch feinste Pathologien der Makula sicher ausgeschlossen werden, da die postoperativen Visuserwartungen extrem hoch sind und ein Linsenaustausch bei klarer Linse (*clear lens extraction*) nur als refraktiv-chirurgischer Eingriff durchgeführt wird. Eine präoperative OCT-Untersuchung schafft bei diesen Patienten einen Vorteil bezüglich der postoperativen Ergebnissicherheit (Ahlers 2013).

Diagnostische Grenzen der Funduskopie bestehen beim Erkennen vitreomakulärer Traktionen. Klinisch suspekten Fundusbefunden oder durch die Katarakt nicht ausreichend erklärbarer Visusbeeinträchtigungen sollten ohnehin Anlass für eine hochauflösende OCT-Untersuchung sein, welche diagnostische Sicherheit bietet. Die OCT sollte damit im Rahmen der diagnostischen ärztlichen Kompetenz zielgerichtet und in individueller Abwägung zum Einsatz kommen.

Zu berücksichtigen ist die limitierte Fallzahl, die Patientenselektion in einer Universitätsklinik und die Voruntersuchungen durch verschiedene Ärzte innerhalb unserer Studie. Eine Studie mit größerer Fallzahl und im Rahmen einer Vorsorgeuntersuchung im ambulanten Bereich, könnte daher hinsichtlich der bearbeiteten Fragestellung zu anderen Ergebnissen kommen.

## 5 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie sollte darlegen, ob die OCT-Untersuchung im präoperativen Diagnostikstandard bei asymptomatischen Kataraktpatienten mit einem ophthalmoskopisch unauffälligen Fundus einen Vorteil hinsichtlich der Erkennung von Makulopathologien bietet und somit die Qualität der Indikationsstellung für eine Kataraktoperation verbessert wird.

Um diese Fragestellung zu beantworten, wurden 123 Kataraktpatienten, die mit der Indikation zur Kataraktextraktion in der Universitätsaugenklinik Göttingen vorgestellt wurden und einen unauffälligen Fundus in der Funduskopie aufwiesen, untersucht. 162 Augen konnten in die Studie einbezogen werden. Insgesamt wurden 170 OCT-Befunde aufgezeichnet. 78 Augen (48,15 %) zeigten keine Auffälligkeiten im OCT-Schnittbild. Morphologisch auffällige Veränderungen an der vitreoretinalen Grenzfläche wurden bei 72 Augen (44,44 %) gefunden, wobei es sich um harmlose altersbedingte Veränderungen ohne therapeutische Konsequenz handelte. 20 Augen (12,35 %) wiesen pathologische Veränderungen im OCT-Schnittbild auf. Davon wurde eine epiretinale Membran ohne traktive Veränderungen der Netzhaut in 10 Augen (6,17 %) und perimakuläre oder foveale Drusen in 4 Augen (2,47 %) gefunden.

Aus den vorliegenden OCT-Befunden ergab sich in dieser Studie keine Änderung der operativen Strategie. Daher war bei allen Studienpatienten auch nach der OCT-Diagnostik eine Kataraktoperation ohne zusätzliche Maßnahmen indiziert. Patienten, die pathologische Veränderungen im OCT-Schnittbild aufwiesen, wurden auf die Notwendigkeit weiterer Kontrollen des hinteren Augenabschnittes nach der Kataraktoperation durch den niedergelassenen Augenarzt hingewiesen.

Eine routinemäßig durchgeführte zusätzliche OCT-Untersuchung vor Kataraktoperation bei Patienten, die weder Veränderungen in der Funduskopie aufweisen noch typische visuelle Leitsymptome angeben, scheint aufgrund der erhobenen Daten nicht empfehlenswert. Die Qualität der präoperativen Patienteninformation wurde jedoch durch die OCT-Untersuchung hinsichtlich Visusprognose und Kontrollbedürftigkeit verbessert.

**Zentrum 13 – Augenklinik mit Poliklinik**

**Abteilung Augenheilkunde**

Direktor: Professor Dr. med. Hans Hoerauf

Studienleiter: Professor Dr. med. Hans Hoerauf

Robert-Koch-Strasse 40, 37075 Göttingen

Tel.: 0551-39 6776

E-Mail: augenklinik@med.uni-goettingen.de

**OCT-UNTERSUCHUNG ALS SINNVOLLE ERWEITERUNG  
DER PRÄOPERATIVEN ROUTINEDIAGNOSTIK VOR  
KATARAKTOPERATION?**

**– Patienteninformation –**

**Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,**

wir möchten Sie um die freiwillige Teilnahme an einer wissenschaftlichen Studie bitten.

Sie haben einen Grauen Star und möchten diesen in der Universitätsmedizin Göttingen operieren lassen. Dafür kommen Sie heute zur den geplanten Voruntersuchungen. Wir möchten mit dieser Studie prüfen, ob uns eine Erweiterung der Diagnostik mittels einer OCT-Untersuchung weiterführenden Aufschluss über Ihre Netzhaut liefert. Dafür würden wir im Anschluss an die Untersuchung ein OCT-Bild Ihrer Netzhaut machen. Während dieser OCT-Untersuchung müssen Sie sitzend für einige Sekunden ein Kreuz fixieren. Dabei werden Aufnahmen von Ihrem Auge angefertigt. Diese Untersuchung ist für Sie völlig unbedenklich und kostenlos. Über eventuelle Auffälligkeiten, die wir auf Ihrem OCT-Bild diagnostizieren, werden Sie unterrichtet. Sie profitieren mit der Teilnahme an dieser Studie durch eine genauere Untersuchung Ihrer Netzhaut, die dem zuständigen Augenarzt wichtige Informationen liefern könnte.

**Ihre Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Sie werden in diese Studie also nur dann einbezogen, wenn Sie dazu schriftlich Ihre Einwilligung erklären. Sofern Sie nicht an der Studie teilnehmen oder später aus ihr ausscheiden möchten, erwachsen Ihnen daraus keine Nachteile.**

**Bitte lesen Sie die nachstehende Information sorgfältig. Bei Unklarheiten wird Ihr Arzt Sie ausführlich beraten.**

### **Was ist das Ziel der Studie?**

Ziel unserer Untersuchung ist es, die Untersuchungsmaßnahmen vor der Operation am Grauen Star qualitativ so optimal wie möglich zu gestalten. Damit wollen wir eine bestmögliche medizinische Versorgung gewährleisten. Um den Stellenwert unserer zusätzlichen Untersuchung einschätzen zu können, müssen wir herausfinden, inwieweit wir durch diese neue Untersuchung zusätzliche Erkenntnisse über ihre Netzhaut erhalten.

### **Was sind die Voraussetzungen für eine Teilnahme?**

Voraussetzung zur Teilnahme ist, dass bei Ihnen ein Grauer Star diagnostiziert wurde und Sie zur geplanten Voruntersuchung für die Kataraktoperation in die Universitätsaugenklinik Göttingen kommen. Nach eingehender mündlicher und schriftlicher Aufklärung über Sinn und Ablauf der Studie würden wir Sie bitten, schriftlich Ihr Einverständnis zur Teilnahme zu bekunden.

### **Welche Untersuchungen werden durchgeführt?**

Im Anschluss an die Routine-Voruntersuchungen für die Kataraktoperation wird ein OCT-Bild Ihrer Netzhaut angefertigt.

### **Was ist eine OCT?**

OCT ist eine Abkürzung für *optical coherence tomography* (optische Kohärenztomographie). Dabei wird mittels Licht die Gewebedichte verschiedener Schichten Ihrer Netzhaut dargestellt, um somit Schnittbilder des Augenhintergrundes zu erhalten. Durch die optische Kohärenztomographie ist es heute möglich, in sehr kurzer Untersuchungszeit und ohne Belastung für den/die Patienten/-in kontaktfrei eine sehr präzise Darstellung der Netzhaut zu erhalten. Damit können bestimmte Krankheiten des hinteren Augenabschnittes, insbesondere der Makula (der Ort des schärfsten Sehens) besonders früh erkannt werden.

### **Was sind die möglichen Risiken oder Nachteile einer Teilnahme an der Studie?**

Für die OCT-Untersuchung sind bisher keine Risiken bekannt, sodass sich durch die Teilnahme kein Risiko für Sie ergibt. Sollten wir durch diese zusätzliche Untersuchung Veränderungen aufdecken, werden Sie darüber informiert.

## **Welchen Vorteil haben Sie durch Ihre Teilnahme an der Studie?**

*Eigennutzen:* Durch die Teilnahme an der Studie gewinnen wir und Sie zusätzliche Informationen über den Zustand Ihrer Netzhaut und können damit die weiterführende Behandlung individuell Ihrer Erkrankung anpassen. Des Weiteren können evtl. Erkrankungen der Netzhaut in Frühstadien erfasst werden, die uns mit den bisherigen Untersuchungsmethoden entgingen und evtl. mit einer besseren Prognose früher behandelt werden können.

*Gruppennutzen:* Sollten die Ergebnisse der OCT-Untersuchung einen Zusatznutzen ergeben, könnte dies in der Zukunft zu der Empfehlung führen, Patienten mit einem Grauen Star routinemäßig eine OCT-Untersuchung anzubieten.

*Fremdnutzen:* Durch Ihre Teilnahme helfen Sie mit, Erkrankungen der Netzhaut zukünftig möglicherweise früher zu diagnostizieren, sodass wir in Zukunft auch andere Patienten früher und damit optimaler behandeln können.

## **Was geschieht mit Ihren medizinischen Daten bzw. dem OCT-Befund?**

Es gilt die ärztliche Schweigepflicht. Jede Information über Sie wird zu jeder Zeit mit der größtmöglichen Vertraulichkeit behandelt. Neben dem OCT-Bild und -Befund werden die Daten der präoperativen Diagnostik in die Studie eingehen. Damit erfolgt auch eine Auswertung von Teilen Ihrer Patientenakte. Die medizinischen Daten und Messergebnisse werden in einer zentralen Datenbank gespeichert, die den jeweils geltenden datenschutzrechtlichen Auflagen Rechnung trägt. In keiner wissenschaftlichen Veröffentlichung wird Ihr Name erscheinen. Ihre Daten werden auf keinen Fall bekannt gegeben. Die jeweiligen OCT-Untersuchungen und Ihre personenbezogenen Studiendaten werden für 10 Jahre aufbewahrt, um evtl. auch für sich später ergebende studienspezifische Fragestellungen verwendet werden zu können. Sollten weitere Analysen in Frage kommen, würden wir erneut um Ihre schriftliche Einwilligung bitten. Alle OCT-Untersuchungen werden pseudonymisiert dokumentiert. Das bedeutet, dass Ihre Daten ohne Namensnennung verschlüsselt und nur mit einer Nummer codiert werden. Die Zuordnung der Daten ist nur möglich, wenn der Schlüssel eingesetzt wird, mit dem die Daten pseudonymisiert wurden. Ihre personenbezogenen Daten werden dabei unter besonderen Schutzvorkehrungen getrennt von den pseudonymisierten Daten aufbewahrt. Eine Entschlüsselung ist nur durch die verantwortlichen Ärzte möglich. Dritte erhalten keinen Einblick in Originalunterlagen.

Sie können jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahme beenden, ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile bei Ihrer medizinischen Behandlung entstehen.

**Im Falle einer Rücknahme der Einwilligung werden auf ihren Wunsch hin die bereits erhobenen personenbezogenen Daten gelöscht.**

**Zentrum 13 – Augenklinik mit Poliklinik**

**Abteilung Augenheilkunde**

Direktor: Professor Dr. med. Hans Hoerauf  
Studienleiter: Professor Dr. med. Hans Hoerauf  
Robert-Koch-Strasse 40, 37075 Göttingen  
Tel.: 0551-39 6789  
E-Mail: augenklinik@med.uni-goettingen.de

---

**OCT-DIAGNOSTIK ALS SINNVOLLE ERWEITERUNG DER PRÄOPERATIVEN  
ROUTINEDIAGNOSTIK VOR KATARAKTOPERATION?**

**– Einverständniserklärung –**

---

Ich,

.....,  
wurde von meinem Arzt vollständig über Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Prüfung mit dem o.g. Titel aufgeklärt. Ich habe den Aufklärungstext gelesen und verstanden. Ich hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen, habe die Antworten verstanden und akzeptiere sie. Mein Arzt hat mich über die mit der Teilnahme an der Studie verbundenen Risiken und den möglichen Nutzen informiert.

Ich hatte ausreichend Zeit, mich zur Teilnahme an dieser Studie zu entscheiden und weiß, dass die Teilnahme an dieser klinischen Prüfung freiwillig ist. Ich weiß, dass ich jederzeit und ohne Angaben von Gründen diese Zustimmung widerrufen kann, ohne dass sich dieser Entschluss nachteilig auf die spätere Behandlung durch meinen Arzt auswirken wird. Die von mir gewonnenen Daten und Proben werden im Falle eines Studienrücktritts vernichtet.

**Bei dieser wissenschaftlichen Studie werden persönliche Daten und medizinische Befunde über mich erhoben, gespeichert und verarbeitet. Die Speicherung, Auswertung und Weitergabe dieser studienbezogenen Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt vor Teilnahme an der Studie folgende freiwillige Einwilligung voraus:**

- 1. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser Studie erhobene Daten/ Krankheitsdaten auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und ohne Namensnennung (verschlüsselt) verarbeitet werden.**
- 2. Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass ich jederzeit die Teilnahme an der wissenschaftlichen Prüfung beenden kann. Beim Widerruf meiner Einwilligung an der Studie teilzunehmen, werden meine bis dahin gespeicherten personenbezogenen Daten gelöscht.**

**Mir ist bekannt, dass alle Informationen über mich zu jeder Zeit mit der größtmöglichen Vertraulichkeit behandelt werden. Die medizinischen Daten und Messergebnisse werden in einer zentralen Datenbank gespeichert, die den jeweils geltenden datenschutzrechtlichen Auflagen Rechnung trägt. In keiner wissenschaftlichen Veröffentlichung wird mein Name erscheinen. Die personenbezogenen Studiendaten werden für 10 Jahre gespeichert und danach gelöscht.**

---

---

Ort und Datum

Unterschrift des Patienten

---

Ort und Datum

Unterschrift des aufklärenden Arztes

## 7 Literaturverzeichnis

Abbott RL (2009): Informed consent in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 20, 52–55

Abdelsalam A, Del Priore L, Zarbin MA (1999): Drusen in age-related macular degeneration: pathogenesis, natural course, and laser photocoagulation-induced regression. *Surv Ophthalmol* 44, 1–29

Ahlers C (2013): Wo kann die moderne OCT die Angiographie ersetzen? *Concept Ophthalmologie* 08, 16–21

Amstutz C, Thiel MA, Kaufmann C (2010): Kataraktoperation - Relevantes für den Grundversorger. *Praxis* 99, 971–976

Armbrecht AM, Findlay C, Kaushal S, Aspinall P, Hill AR, Dhillon B (2000): Is cataract surgery justified in patients with age related macular degeneration? A visual function and quality of life assessment. *Br J Ophthalmol* 84, 1343–1348

Blinder KJ, Bradley S, Bressler NM, Bressler SB, Donati G, Hao Y, Ma C, Menchini U, Miller J, Potter MJ et al. (2003): Effect of lesion size, visual acuity, and lesion composition on visual acuity change with and without verteporfin therapy for choroidal neovascularization secondary to age-related macular degeneration: TAP and VIP report no. 1. *Am J Ophthalmol* 136, 407–418

Brierley L (2006): Preoperative assessment of cataract patients. *J Cataract Refract Surg* 32, 2-3; author reply 3

Chen J, Connor KM, Smith LEH (2007): Overstaying their welcome: defective CX3CR1 microglia eyed in macular degeneration. *J Clin Invest* 117, 2758–2762

Chew EY, Clemons TE, Sangiovanni JP, Danis RP, Ferris FL, Elman MJ, Antoszyk AN, Ruby AJ, Orth D, Bressler SB et al. (2014): Secondary analyses of the effects of lutein/zeaxanthin on age-related macular degeneration progression: AREDS2 report No. 3. *JAMA Ophthalmol* 132, 142–149

Chuo JY, Lee TYY, Hollands H, Morris AH, Reyes RC, Rossiter JD, Meredith SP, Maberley DAL (2006): Risk factors for posterior vitreous detachment: a case-control study. *Am J Ophthalmol* 142, 931–937

Contreras I, Noval S, Tejedor J (2008): Prevalencia de membranas epirretinianas mediante tomografía de coherencia óptica en pacientes remitidos para cirugía de cataratas. *Arch Soc Esp Oftalmol* 83, 89–94

Creese K, Ong D, Zamir E (2012): Should macular optical coherence tomography be part of routine preoperative cataract assessment? *Clin Experiment Ophthalmol* 40, e118-9

Cronin TH, Hertle RW, Ishikawa H, Schuman JS (2009): Spectral domain optical coherence tomography for detection of foveal morphology in patients with nystagmus. *J AAPOS* 13, 563–566

Delcourt C, Cristol JP, Tessier F, Léger CL, Michel F, Papoz L (2000): Risk factors for cortical, nuclear, and posterior subcapsular cataracts: the POLA study. *Pathologies Oculaires Liées à l'Age. Am J Epidemiol* 151, 497–504

Delcourt C, Carrière I, Ponton-Sanchez A, Fourrey S, Lacroux A, Papoz L (2001): Light exposure and the risk of age-related macular degeneration: the Pathologies Oculaires Liées à l'Age (POLA) study. *Arch Ophthalmol* 119, 1463–1468

Do DV, Cho M, Nguyen QD, Shah SM, Handa JT, Campochiaro PA, Zimmer-Galler I, Sung JU, Haller JA (2006): The impact of optical coherence tomography on surgical decision making in epiretinal membrane and vitreomacular traction. *Trans Am Ophthalmol Soc* 104, 161–166

Do DV, Pieramici DJ, van Lookeren Campagne M, Beres T, Friesenhahn M, Zhang Y, Strauss EC (2014): A phase Ia dose-escalation study of the anti-factor D monoclonal antibody fragment FCFD4514S in patients with geographic atrophy. *Retina* 34, 313–320

Drexler W (2004): Methodische Weiterentwicklungen. *Ophthalmologe* 101, 804–812

Drexler W, Morgner U, Ghanta RK, Kärtner FX, Schuman JS, Fujimoto JG (2001): Ultrahigh-resolution ophthalmic optical coherence tomography. *Nat Med* 7, 502–507

Drexler W, Sattmann H, Hermann B, Ko TH, Stur M, Unterhuber A, Scholda C, Findl O, Wirtitsch M, Fujimoto JG et al. (2003): Enhanced visualization of macular pathology with the use of ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 121, 695–706

Dugas B, Ouled-Moussa R, Lafontaine P, Guillaubey A, Berrod J, Hubert I, Bron AM, Creuzot-Garcher CP (2010): Idiopathic epiretinal macular membrane and cataract extraction: combined versus consecutive surgery. *Am J Ophthalmol* 149, 302–306

Fercher AF, Mengedocht K, Werner W (1988): Eye-length measurement by interferometry with partially coherent light. *Opt Lett* 13, 186–188

Figurska M, Robaszkiewicz J, Wierzbowska J (2010): Optical coherence tomography in imaging of macular diseases. *Klin Oczna* 112, 138–146

Fujimoto JG, Brezinski ME, Tearney GJ, Boppart SA, Bouma B, Hee MR, Southern JF, Swanson EA (1995): Optical biopsy and imaging using optical coherence tomography. *Nat Med* 1, 970–972

Gabriele ML, Wollstein G, Ishikawa H, Kagemann L, Xu J, Folio LS, Schuman JS (2011): Optical coherence tomography: history, current status, and laboratory work. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 52, 2425–2436

Gallemore RP, Jumper JM, McCuen BW, Jaffe GJ, Postel EA, Toth CA (2000): Diagnosis of vitreoretinal adhesions in macular disease with optical coherence tomography. *Retina* 20, 115–120

Geerling G, Müller M, Winter C, Hoerauf H, Oelckers S, Laqua H, Birngruber R (2005): Intraoperative 2-dimensional optical coherence tomography as a new tool for anterior segment surgery. *Arch Ophthalmol* 123, 253–257

Georgopoulos M, Geitzenauer W, Ahlers C, Simader C, Scholda C, Schmidt-Erfurth U (2008): Untersuchung von vitreomakulären Traktionen vor und nach Membranpeeling mittels hochauflösendem Raster-OCT. *Ophthalmologe* 2008, 1–7

Gerste R (2012): Komplikation der Kataraktoperation: Konstanter Rückgang der Netzhautablösung. *Dtsch Arztebl*, A-2468 / B-2021 / C-1977

Gloesmann M, Hermann B, Schubert C, Sattmann H, Ahnelt PK, Drexler W (2003): Histologic correlation of pig retina radial stratification with ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 44, 1696–1703

Grehn F: *Augenheilkunde*. Mit 20 Tabellen, 30. Auflage; Springer, Heidelberg 2008

Hahn U, Krummenauer F, Neuhann I (2012): Ergebnisbezogene Erfolgsraten der Kataraktoperation. Ergebnisse einer systematischen Literaturübersicht. *Ophthalmologe* 109, 575–582

Hannan SR, Salvo G de, Stinghe A, Shawkat F, Lotery AJ (2013): Common spectral domain OCT and electrophysiological findings in different pattern dystrophies. *Br J Ophthalmol* 97, 605–610

Hariri LP, Mino-Kenudson M, Mark EJ, Suter MJ (2012): In vivo optical coherence tomography: the role of the pathologist. *Arch Pathol Lab Med* 136, 1492–1501

Hassenstein A, Scholz F, Richard G (2005): OCT bei epiretinaler Gliose. *Ophthalmologe* 102, 127–132

Hayashi K, Hayashi H (2009): Influence of phacoemulsification surgery on progression of idiopathic epiretinal membrane. *Eye* 23, 774–779

Hee MR, Izatt JA, Swanson EA, Huang D, Schuman JS, Lin CP, Puliafito CA, Fujimoto JG (1995): Optical coherence tomography of the human retina. *Arch Ophthalmol* 113, 325–332

Heilskov TW, Massicotte SJ, Folk JC (1996): Epiretinal macular membranes in eyes with attached posterior cortical vitreous. *Retina* 16, 279–284

Hoerauf H, Scholz C, Koch P, Engelhardt R, Laqua H, Birngruber R (2002a): Transscleral optical coherence tomography: a new imaging method for the anterior segment of the eye. *Arch Ophthalmol* 120, 816–819

Hoerauf H, Winkler J, Scholz C, Wirbelauer C, Gordes RS, Koch P, Engelhardt R, Laqua H, Birngruber R (2002b): Transscleral optical coherence tomography--an experimental study in ex-vivo human eyes. *Lasers Surg Med* 30, 209–215

Hoerster R, Muether PS, Hermann MM, Koch K, Kirchhof B, Fauser S (2011): Subjective and functional deterioration in recurrences of neovascular AMD are often preceded by morphologic changes in optic coherence tomography. *Br J Ophthalmol* 95, 1424–1426

Hrynchak P, Simpson T (2000): Optical coherence tomography: an introduction to the technique and its use. *Optom Vis Sci* 77, 347–356

Huang D, Swanson EA, Lin CP, Schuman JS, Stinson WG, Chang W, Hee MR, Flotte T, Gregory K, Puliafito CA (1991): Optical coherence tomography. *Science* 254, 1178–1181

Hüttmann G, Lankenau E, Schulz-Wackerbarth C, Müller M, Steven P, Birngruber R (2009): Übersicht der apparativen Entwicklungen in der optischen Kohärenztomografie: von der Darstellung der Retina zur Unterstützung therapeutischer Eingriffe. *Klin Monbl Augenheilkd* 226, 958–964

Ito Y, Terasaki H, Suzuki T, Kojima T, Mori M, Ishikawa K, Miyake Y (2003): Mapping posterior vitreous detachment by optical coherence tomography in eyes with idiopathic macular hole. *Am J Ophthalmol* 135, 351–355

Ivasticovic D, Schwab C, Borkenstein A, Lackner E, Wedrich A, Velikay-Parel M (2012): Evolution of early changes at the vitreoretinal interface after cataract surgery determined by optical coherence tomography and ultrasonography. *Am J Ophthalmol* 153, 705–709

Ivasticovic D, Pöschl EM, Schwab C, Borkenstein A, Lackner E, Wedrich A, Velikay-Parel M (2013): Evolution of early changes at the vitreoretinal interface after cataract surgery determined by optical coherence tomography and ultrasonography. *Am J Ophthalmol* 155, 404–405

Jaffe GJ, Caprioli J (2004): Optical coherence tomography to detect and manage retinal disease and glaucoma. *Am J Ophthalmol* 137, 156–169

Jahn CE, Minich V, Moldaschel S, Kron M (1999): Perioperative Prävalenz von epiretinalen Membranen bei Augen mit seniler Katarakt. *Klin Monbl Augenheilkd* 215, 252–254

Jain N, Farsiu S, Khanifar AA, Bearely S, Smith RT, Izatt JA, Toth CA (2010): Quantitative comparison of drusen segmented on SD-OCT versus drusen delineated on color fundus photographs. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 51, 4875–4883

Johnson MW (2010): Posterior vitreous detachment: evolution and complications of its early stages. *Am J Ophthalmol* 149, 371-82.e1

Keane PA, Sadda SR (2010): Imaging chorioretinal vascular disease. *Eye* 24, 422–427

Kirwan C, Nolan JM, Stack J, Moore TCB, Beatty S (2015): Determinants of patient satisfaction and function related to vision following cataract surgery in eyes with no visually consequential ocular co-morbidity. (*Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, im Druck)

Klein R, Klein BE, Wang Q, Moss SE (1994): The epidemiology of epiretinal membranes. *Trans Am Ophthalmol Soc* 92, 403-25; discussion 425-30

Koerner F, Garweg J (1999): Vitrectomy for macular pucker and vitreomacular traction syndrome. *Doc Ophthalmol* 97, 449–458

Leitgeb R, Hitzenberger C, Fercher A (2003): Performance of fourier domain vs. time domain optical coherence tomography. *Opt Express* 11, 889–894

Margolis R, Spaide RF (2009): A pilot study of enhanced depth imaging optical coherence tomography of the choroid in normal eyes. *Am J Ophthalmol* 147, 811–815

McCarty CA, Mukesh BN, Fu CL, Taylor HR (1999): The epidemiology of cataract in Australia. *Am J Ophthalmol* 128, 446–465

McLellan GJ, Rasmussen CA (2012): Optical coherence tomography for the evaluation of retinal and optic nerve morphology in animal subjects: practical considerations. *Vet Ophthalmol* 15 Suppl 2, 13–28

Milani P, Raimondi G, Morale D, Scialdone A (2012): Biomicroscopy versus optical coherence tomography screening of epiretinal membranes in patients undergoing cataract surgery. *Retina* 32, 897–904

Mitchell P, Smith W, Chey T, Wang JJ, Chang A (1997): Prevalence and associations of epiretinal membranes. The Blue Mountains Eye Study, Australia. *Ophthalmology* 104, 1033–1040

Mori K, Gehlbach PL, Sano A, Deguchi T, Yoneya S (2004): Comparison of epiretinal membranes of differing pathogenesis using optical coherence tomography. *Retina* 24, 57–62

Morrow T (2013): Injectable drug may help avoid eye surgery in patients with vitreomacular adhesion. *Manag Care* 22, 49–50

Park K, Oh SY (2013): Clinical characteristics of high grade foveal hypoplasia. *Int Ophthalmol* 33, 9–14

Pearlstone AD (1985): The incidence of idiopathic preretinal macular gliosis. *Ann Ophthalmol* 17, 378–380

Pieroni CG, Witkin AJ, Ko TH, Fujimoto JG, Chan A, Schuman JS, Ishikawa H, Reichel E, Duker JS (2006): Ultrahigh resolution optical coherence tomography in non-exudative age related macular degeneration. *Br J Ophthalmol* 90, 191–197

Povazay B, Bizheva K, Hermann B, Unterhuber A, Sattmann H, Fercher A, Drexler W, Schubert C, Ahnelt P, Mei M et al. (2003): Enhanced visualization of choroidal vessels using ultrahigh resolution ophthalmic OCT at 1050 nm. *Opt Express* 11, 1980–1986

Prokofyeva E, Wegener A, Zrenner E (2013): Cataract prevalence and prevention in Europe: a literature review. *Acta Ophthalmol* 91, 395–405

Puliafita CA, Hee MR, Lin CP, Reichel E, Schuman JS, Duker JS, Izatt JA, Swanson EA, Fujimoto JG (1995): Imaging of macular diseases with optical coherence tomography. *Ophthalmology* 102, 217–229

Querques G, Prascina F, Iaculli C, Delle Noci N (2009): Isolated foveal hypoplasia. *Int Ophthalmol* 29, 271–274

Radhakrishnan S, Rollins AM, Roth JE, Yazdanfar S, Westphal V, Bardenstein DS, Izatt JA (2001): Real-time optical coherence tomography of the anterior segment at 1310 nm. *Arch Ophthalmol* 119, 1179–1185

Ramrattan RS, van der Schaft TL, Mooy CM, Bruijn WC de, Mulder PG, Jong PT de (1994): Morphometric analysis of Bruch's membrane, the choriocapillaris, and the choroid in aging. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 35, 2857–2864

Rathmann W, Scheidt-Nave C, Roden M, Herder C (2013): Type 2 diabetes: prevalence and relevance of genetic and acquired factors for its prediction. *Dtsch Arztebl Int* 110, 331–337

Recchia FM, Carvalho-Recchia CA, Trese MT (2002): Optical coherence tomography in the diagnosis of foveal hypoplasia. *Arch Ophthalmol* 120, 1587–1588

Sachsenweger M: *Augenheilkunde*. (Duale Reihe) 73 Tabellen, 2. Auflage; Thieme, Stuttgart, New York 2003

Sakamoto A, Hangai M, Yoshimura N (2008): Spectral-domain optical coherence tomography with multiple B-scan averaging for enhanced imaging of retinal diseases. *Ophthalmology* 115, 1071-1078.e7

Schlanitz FG, Ahlers C, Sacu S, Schütze C, Rodriguez M, Schriefl S, Golbaz I, Spalek T, Stock G, Schmidt-Erfurth U (2010): Performance of drusen detection by spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 51, 6715–6721

Schuman JS (2008): Spectral domain optical coherence tomography for glaucoma (an AOS thesis). *Trans Am Ophthalmol Soc* 106, 426–458

Sebag J (1993): Abnormalities of human vitreous structure in diabetes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 231, 257–260

Sebag J (2004): Anomalous posterior vitreous detachment: a unifying concept in vitreo-retinal disease. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 242, 690–698

Sidd RJ, Fine SL, Owens SL, Patz A (1982): Idiopathic preretinal gliosis. *Am J Ophthalmol* 94, 44–48

Sigler EJ, Randolph JC, Calzada JI (2013): Incidence, morphology, and classification of epimacular membrane rip. *Retina* 33, 1158–1165

Smeeth L, Boulis M, Hubbard R, Fletcher AE (2003): A population based case-control study of cataract and inhaled corticosteroids. *Br J Ophthalmol* 87, 1247–1251

Solomon R, Donnenfeld ED (2003): Recent advances and future frontiers in treating age-related cataracts. *JAMA* 290, 248–251

Spaide RF, Koizumi H, Pozzoni MC, Pozzoni MC (2008): Enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 146, 496–500

Srinivasan VJ, Adler DC, Chen Y, Gorczynska I, Huber R, Duker JS, Schuman JS, Fujimoto JG (2008): Ultrahigh-speed optical coherence tomography for three-dimensional and en face imaging of the retina and optic nerve head. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 49, 5103–5110

Swanson EA, Izatt JA, Hee MR, Huang D, Lin CP, Schuman JS, Puliavito CA, Fujimoto JG (1993): In vivo retinal imaging by optical coherence tomography. *Opt Lett* 18, 1864–1866

Tearney GJ, Waxman S, Shishkov M, Vakoc BJ, Suter MJ, Freilich MI, Desjardins AE, Oh W, Bartlett LA, Rosenberg M et al. (2008): Three-dimensional coronary artery microscopy by intracoronary optical frequency domain imaging. *JACC Cardiovasc Imaging* 1, 752–761

Thomas MG, Kumar A, Mohammad S, Proudlock FA, Engle EC, Andrews C, Chan W, Thomas S, Gottlob I (2011): Structural grading of foveal hypoplasia using spectral-domain optical coherence tomography a predictor of visual acuity? *Ophthalmology* 118, 1653–1660

Toth CA, Narayan DG, Boppart SA, Hee MR, Fujimoto JG, Birngruber R, Cain CP, DiCarlo CD, Roach WP (1997): A comparison of retinal morphology viewed by optical coherence tomography and by light microscopy. *Arch Ophthalmol* 115, 1425–1428

Uchino E, Uemura A, Ohba N (2001): Initial stages of posterior vitreous detachment in healthy eyes of older persons evaluated by optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 119, 1475–1479

Unterhuber A, Povazay B, Hermann B, Sattmann H, Chavez-Pirson A, Drexler W (2005): In vivo retinal optical coherence tomography at 1040 nm - enhanced penetration into the choroid. *Opt Express* 13, 3252–3258

Wang JJ, Foran S, Smith W, Mitchell P (2003a): Risk of age-related macular degeneration in eyes with macular drusen or hyperpigmentation: the Blue Mountains Eye Study cohort. *Arch Ophthalmol* 121, 658–663

Wang JJ, Klein R, Smith W, Klein BEK, Tomany S, Mitchell P (2003b): Cataract surgery and the 5-year incidence of late-stage age-related maculopathy: pooled findings from the Beaver Dam and Blue Mountains eye studies. *Ophthalmology* 110, 1960–1967

Wang JJ, Fong CS, Rochtchina E, Cugati S, Loryn T de, Kaushik S, Tan JSL, Arnold J, Smith W, Mitchell P (2012): Risk of age-related macular degeneration 3 years after cataract surgery: paired eye comparisons. *Ophthalmology* 119, 2298–2303

Weber-Krause B, Eckardt C (1997): Häufigkeit einer hinteren Glaskörperabhebung im Alter. *Der Ophthalmologe* 94, 619–623

Wilkins JR, Puliafito CA, Hee MR, Duker JS, Reichel E, Coker JG, Schuman JS, Swanson EA, Fujimoto JG (1996): Characterization of epiretinal membranes using optical coherence tomography. *Ophthalmology* 103, 2142–2151

Wirbelauer C, Scholz C, Hoerauf H, Pham DT, Laqua H, Birngruber R (2002): Noncontact corneal pachymetry with slit lamp-adapted optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 133, 444–450

Wise GN (1975): Clinical features of idiopathic preretinal macular fibrosis. Schoenberg Lecture. Am J Ophthalmol 79, 349-7

Wojtkowski M, Srinivasan V, Fujimoto JG, Ko T, Schuman JS, Kowalczyk A, Duker JS (2005): Three-dimensional retinal imaging with high-speed ultrahigh-resolution optical coherence tomography. Ophthalmology 112, 1734–1746

Yasuno Y, Sugisaka J, Sando Y, Nakamura Y, Makita S, Itoh M, Yatagai T (2006): Non-iterative numerical method for laterally superresolving Fourier domain optical coherence tomography. Opt Express 14, 1006–1020

Yehoshua Z, Wang F, Rosenfeld PJ, Penha FM, Feuer WJ, Gregori G (2011): Natural history of drusen morphology in age-related macular degeneration using spectral domain optical coherence tomography. Ophthalmology 118, 2434–2441

Yehoshua Z, Gregori G, Sadda SR, Penha FM, Goldhardt R, Nittala MG, Konduru RK, Feuer WJ, Gupta P, Li Y et al. (2013): Comparison of drusen area detected by spectral domain optical coherence tomography and color fundus imaging. Invest Ophthalmol Vis Sci 54, 2429–2434

## **Danksagung**

Herrn Prof. Dr. med. Hans Hoerauf möchte ich ganz herzlich für die Bereitstellung des Themas, die Betreuung der Arbeit durch ständige Erreichbarkeit und für die stetige Vermittlung von Begeisterung an dem Projekt danken.

Des Weiteren danke ich Prof. Dr. rer. nat. Reinhard Hilgers, der mir den Start in die Arbeit erleichtert hat.

Ein besonderer Dank richtet sich an alle Mitarbeiter der Klinik für Augenheilkunde der Universitätsmedizin Göttingen für die Unterstützung bei der Durchführung der Studie. Hier gilt mein Dank vor allem Frau Stefanie Fischer, Frau Katharina Quast und Frau Ansu Volbrecht für die Einarbeitung in die OCT-Diagnostik und die Hinweise bei OCT-Untersuchungen.

Ebenso möchte ich allen Patienten danken, die sich für die Studie zur Verfügung gestellt haben.

## **Lebenslauf**

Ich wurde am 18. März 1989 in Berlin als Tochter meiner Eltern Dr. med. Anja Erdmann, geb. Dietrich, und Dr. med. Alf-Peter Erdmann geboren.

In Berlin besuchte ich von 1995 bis 1997 die Sonnenuhr-Grundschule und anschließend von 1997 bis 2001 die Friedrich-Ludwig-Jahn-Grundschule in Luckenwalde. Meine Schulzeit am Friedrich-Gymnasium in Luckenwalde von 2001 bis 2009 beendete ich mit dem Erwerb der Allgemeinen Hochschulreife. Zwischenzeitlich verbrachte ich ein Jahr an der Mabank-High-School im amerikanischen Bundesstaat Texas.

Im Oktober 2009 begann ich mein Studium der Humanmedizin an der Georg-August-Universität Göttingen. Im September 2011 absolvierte ich dort den Ersten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung sowie im Oktober 2014 den schriftlichen Teil des Zweiten Abschnitts der Ärztlichen Prüfung. Von April 2012 bis Februar 2015 arbeitete ich im Studentischen Trainingszentrum Ärztlicher Praxis und Simulation (STÄPS) der Universitätsmedizin Göttingen als Tutor für Augenheilkunde und Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde.

In der Zeit von November 2014 bis Juni 2015 war ich im Rahmen des Praktischen Jahres in der Chirurgie an der Universitätsmedizin Göttingen sowie in der Inneren Medizin am Kantonsspital Winterthur/Schweiz tätig. Momentan absolviere ich den dritten Teil des Praktischen Jahres in der Klinik für Augenheilkunde an der Universitätsmedizin Göttingen.