

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

**Häufigkeit postoperativer
Metamorphopsie bei rhegmatogener
Ablatio retinae mit
Makulabeteiligung**

INAUGURAL-DISSERTATION

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

vorgelegt von

Hannah Verena Schmidt

aus

Bensheim

Göttingen 2022

Dekan: Prof. Dr. med. W. Brück

Betreuungsausschuss

Betreuer/in: Prof. Dr. med. H. Hoerauf

Ko-Betreuer/in: Prof. Dr. med. W. Lehmann

Prüfungskommission

Referent/in: Prof. Dr. med. H. Hoerauf

Ko-Referent/in: Prof. Dr. med. W. Lehmann

Drittreferent/in: Prof. Dr. med. R. Dressel

Datum der mündlichen Prüfung: 29.11.2022

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "Häufigkeit postoperativer Metamorphopsie bei rhegmatogener *Ablatio retinae* mit Makulabeteiligung" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den 07.02.2022

.....

(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Anatomische Grundlagen.....	2
1.1.1 Das Auge.....	2
1.1.2 Der Glaskörper	3
1.1.3 Die Netzhaut.....	4
1.2 Rhegmatogene <i>Ablatio retinae</i>	6
1.2.1 Risikofaktoren.....	7
1.2.2 Symptomatik und Diagnostik der Netzhautablösung.....	8
1.3 Operationsmethoden.....	11
1.3.1 Buckelchirurgie.....	13
1.3.2 Pars-Plana-Vitrektomie (PPV).....	14
1.4 Makuläre Folgekomplikationen nach <i>Ablatio</i> -Chirurgie	17
1.4.1 Metamorphopsie.....	17
1.4.2 Epiretinale Gliose	20
1.4.3 Zystoides Makulaödem	21
1.5 Fragestellung und Zielsetzung	23
2 Patienten und Methoden	24
2.1 Ethikvotum.....	24
2.2 Studienplan und Patientenrekrutierung	24
2.2.1 Einschlusskriterien	25
2.2.2 Ausschlusskriterien	25
2.3 Untersuchungen	26
2.3.1 Bestkorrigierte Sehschärfe (BCVA).....	26
2.3.2 Amsler-Gitter	28
2.3.3 M-CHARTS	29
2.3.4 OCT- und Multicolor-Untersuchung.....	31
2.3.5 Radner-Lesetafeln.....	33
2.4 Statistische Methoden	33
2.5 Archivierung und Datenschutz	34
3 Ergebnisse	35
3.1 Basischarakteristika der Patienten	36
3.2 Visus.....	37

3.3	Metamorphopsie.....	39
3.4	OCT-Bildgebung.....	42
3.4.1	Netzhautmorphologie	42
3.4.2	Zentrale Netzhautdicke	44
3.5	Lesevisus und Lesegeschwindigkeit	45
3.6	Korrelation Metamorphopsie und OCT-Veränderungen.....	48
3.7	Korrelation des Visus mit anderen funktionellen Parametern	50
3.8	Unterschiede mit und ohne Metamorphopsie.....	51
4	Diskussion.....	54
4.1	Besonderheiten der Studie.....	57
4.2	Diskussion des Studienaufbaus	57
4.3	Basischarakteristika im Literaturvergleich	58
4.3.1	Geschlecht	58
4.3.2	Alter	58
4.3.3	Auge	59
4.3.4	Linsenstatus	60
4.4	Diskussion der Ergebnisse.....	60
4.4.1	Metamorphopsie.....	60
4.4.2	Bestkorrigierte Sehschärfe (BCVA).....	62
4.4.3	Netzhautmorphologie	63
4.4.4	Lesevisus und Lesegeschwindigkeit	65
4.4.5	Korrelation des Visus mit anderen funktionellen Ergebnissen	66
4.4.6	Korrelation der Metamorphopsie mit OCT-Veränderungen.....	66
4.5	Limitationen der Studie.....	68
5	Zusammenfassung	69
6	Literaturverzeichnis.....	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des Auges	3
Abbildung 2: Netzhaut (Fundus Normalbefund)	5
Abbildung 3: Rhegmatogene Netzhautablösung mit Makulabeteiligung	7
Abbildung 4: Rhegmatogene Netzhautablösung (Funduskopie)	9
Abbildung 5: Aufbau der Netzhaut in der OCT	10
Abbildung 6: OCT-Schnittbild einer Netzhautablösung mit Makulabeteiligung	11
Abbildung 7: Pars-Plana-Vitrektomie.....	14
Abbildung 8: OCT-Schnittbild - epiretinale Gliose	21
Abbildung 9: OCT-Schnittbild - Makulaödem	23
Abbildung 10: ETDRS-Tafel zur Visusbestimmung.....	27
Abbildung 11: Amsler-Gitter	29
Abbildung 12: M-CHARTS.....	31
Abbildung 13: Netzhautdickenmessung mittels OCT	32
Abbildung 14: MultiColor-Aufnahme - epiretinale Gliose.....	32
Abbildung 15: Durchschnittliche Visusentwicklung.....	39
Abbildung 16: M-Score - Ergebnisse nach OP-Verfahren.....	41
Abbildung 17: Morphologische Veränderungen in der Gesamtgruppe.....	43
Abbildung 18: Morphologische Veränderungen in der PPV-Gruppe	44
Abbildung 19: Morphologische Veränderungen in der Buckelchirurgie-Gruppe.....	44
Abbildung 20: Änderung der durchschnittlichen Lesegeschwindigkeit (w/min) mit zunehmendem logRAD nach OP-Verfahren und gegenüber gesundem Partnerauge.....	47
Abbildung 21: Änderung der durchschnittlichen Lesegeschwindigkeit mit zunehmendem logRAD nach Metamorphopsie vorhanden (M+) vs. nicht vorhanden(M-)	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umrechnungstabelle Visusbestimmung	27
Tabelle 2: Geschlechterverteilung nach OP-Verfahren	36
Tabelle 3: Alter zum Operationszeitpunkt nach OP-Verfahren.....	36
Tabelle 4: Seitenverteilung des betroffenen (Studien-)Auges nach OP-Verfahren	37
Tabelle 5: Linsenstatus präoperativ nach OP-Verfahren.....	37
Tabelle 6: Visusergebnisse (logMAR-Werte) nach OP-Verfahren	38
Tabelle 7: Visusentwicklung (Differenz logMAR-Werte final/präoperativ)	39
Tabelle 8: Metamorphopsie-Bestimmung qualitativ (Amsler-Gitter) nach OP- Verfahren.....	40
Tabelle 9: Metamorphopsie-Bestimmung quantitativ (M-CHARTS) nach OP- Verfahren.....	41
Tabelle 10: Zentrale Netzhautdicke (μm) nach OP-Verfahren	45
Tabelle 11: Lesevisus (logRAD-Werte) nach OP-Verfahren	46
Tabelle 12: Lesegeschwindigkeit (w/min) nach OP-Verfahren.....	48
Tabelle 13: Metamorphopsie bei unauffälliger OCT	49
Tabelle 14: Metamorphopsie bei epiretinalen Veränderungen in der OCT	49
Tabelle 15: Metamorphopsie bei intraretinalen Veränderungen in der OCT	50
Tabelle 16: Metamorphopsie bei subretinalen Veränderungen in der OCT	50
Tabelle 17: Zusammenhang Visus (logMAR) mit Lesevisus (logRAD) bzw. M- Score.....	51
Tabelle 18: Vergleich Metamorphopsie vorhanden (M+) vs. nicht-vorhanden (M-).....	52
Tabelle 19: Übersicht Studien zu Metamorphopsie nach <i>Ablatio</i>	56

Abkürzungsverzeichnis

BCVA	bestkorrigierte Sehschärfe (<i>best corrected visual acuity</i>)
BRS	Blut-Retina-Schranke
C2F6	Hexafluorethan
dpt	Dioptrien
G	Gauge
GK	Glaskörper
ELM	<i>membrana limitans externa</i>
ILM	<i>membrana limitans interna</i>
IS/OS	<i>inner segment/outer segment junction layer</i>
IZ	Interdigitationszone
LogMAR	Logarithmus der visuellen Auflösungsschärfe (<i>minimum angle of resolution</i>)
MV	vertikaler M-Score
MH	horizontaler M-Score
OCT	optische Kohärenztomographie
PFCL	flüssige Perfluorocarbone
PPV	Pars-plana-Vitrektomie
PVR	proliferative Vitreoretinopathie
RPE	retinales Pigmentepithel
SD	Standardabweichung
SF6	Schwefelhexafluorid

1 Einleitung

Die rhegmatogene (rissbedingte) Netzhautablösung stellt einen der häufigsten ophthalmologischen Notfälle dar. Sie kann unbehandelt zur Erblindung führen (Heimann 2012). Die Inzidenz liegt in Europa laut einer Meta-Analyse, in der Daten von 1996 bis 2016 ausgewertet wurden, bei 13,3 pro 100.000 Einwohnern (Li et al. 2019).

Nur durch die chirurgische Intervention ist ein vollständiger Sehverlust zu vermeiden. Häufig kann die Sehkraft wieder hergestellt werden, das Ergebnis ist dabei jedoch abhängig vom Ausgangsbefund. Insbesondere eine Mitbeteiligung der Makula inklusive der *Fovea centralis*, dem Ort des schärfsten Sehens, kann die Prognose deutlich verschlechtern. Bei einer Ablösung der *Fovea* kommt es aufgrund von hypoxiegetriggerten apoptotischen Prozessen zu einer irreversiblen Schädigung der Photorezeptoren im Zentrum der Netzhaut (Schaub und Schick 2021). Trotz hoher anatomischer Erfolgsraten durch die beiden meist etablierten und angewandten Operationsverfahren, treten für Patienten postoperativ häufig funktionelle teilweise starke Beeinträchtigungen auf. Hierzu zählt zum Beispiel die Metamorphopsie. Dabei handelt es sich um Bildverzerrungen. Es konnte gezeigt werden, dass sich bis zu zwölf Monate postoperativ noch Verbesserungen der Funktion und ein Nachlassen solcher Metamorphopsie verzeichnen lassen (Okuda et al. 2018), sodass man ab diesem Zeitpunkt von einem dauerhaften und bleibenden Ergebnis sprechen kann, welches für den Patienten eine bleibende Relevanz hat. Mehrere Studien haben sich insbesondere in den vergangenen Jahren mit den funktionellen Resultaten nach Netzhautablösung mit Makulabeteiligung befasst (Wang et al. 2005; Rossetti A et al. 2010; Murakami et al. 2018; Okuda et al. 2018; Borowicz et al. 2019; Ng et al. 2020). Jedoch haben dabei nur wenige ihr Augenmerk auf das langfristige Ergebnis über ein Jahr hinaus und insbesondere die Persistenz und Häufigkeit von Metamorphopsie gelegt. Eventuell dabei bestehende Unterschiede hinsichtlich der beiden am häufigsten angewandten Operationsmethoden wurden bislang nicht beleuchtet. Diese Aspekte sollen mithilfe dieser retrospektiven Studie erfasst werden.

1.1 Anatomische Grundlagen

Zum besseren Verständnis der Pathogenese der rhegmatogenen Netzhautablösung ist es hilfreich, die Anatomie des Auges zu kennen. Daher soll im folgenden Abschnitt ein kurzer Überblick mit besonderem Augenmerk auf den hinteren Augenabschnitt erfolgen.

1.1.1 Das Auge

Das Auge ermöglicht uns Menschen die Wahrnehmung visueller Reize, wozu zum Beispiel Licht und Farbe gehören. Der Augapfel ist bei normalsichtigen Erwachsenen etwa 24mm lang und nahezu kugelförmig (Grehn 2012). Er ist beweglich in einer knöchernen Höhle des Schädels (Orbita) gelagert und von Fett- und Fasziengewebe umgeben. Der Sehnerv tritt etwas nasal am hinteren Pol des Augapfels aus und leitet die Sinneswahrnehmung an das Gehirn weiter.

Ein schematischer Schnitt des Auges ist in Abbildung 1 dargestellt. Man kann einen vorderen und einen hinteren Augenabschnitt unterscheiden. Der vordere Abschnitt wird nach ventral von Hornhaut (Cornea) und Bindehaut (Konjunktiva) begrenzt. Des Weiteren zählen die Regenbogenhaut (Iris) mit ihrer zentralen Öffnung, der Pupille, die Linse mit daran befestigten Zonulafasern und der Ziliarkörper mit der für den Vitrektomie-Zugang wichtigen Pars plana dazu. Die Lichtbrechung findet primär im vorderen Augenabschnitt statt, der Glaskörper (GK) trägt nur einen kleinen Teil dazu bei.

Der hintere Augenabschnitt wird von dorsal aus betrachtet von der festen, weißen Lederhaut (Sklera), der Aderhaut (Uvea) und der Netzhaut (Retina) gebildet. Das Innere der hinteren Augenkammer wird durch den GK ausgefüllt.

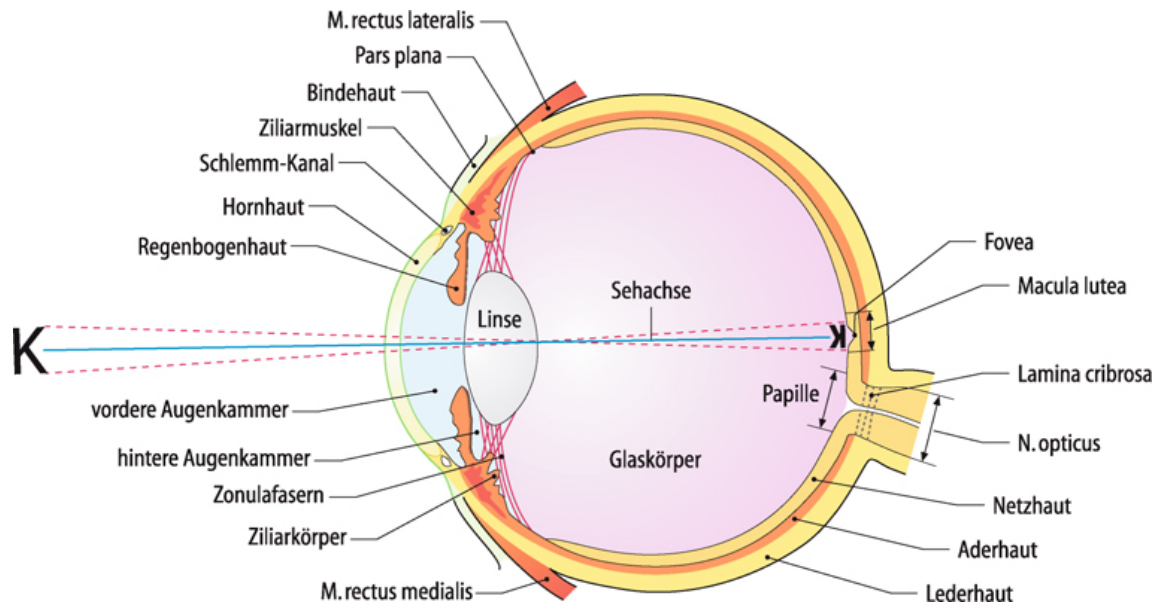


Abbildung 1: Aufbau des Auges

Grehn (2012); Genehmigung von Springer Nature erhalten
 Schematischer Schnitt durch den rechten Augapfel von oben gesehen mit nasal verlagertem Austrittspunkt des Nervus opticus. Übersicht über die einzelnen Kompartimente und Schichten des vorderen und hinteren Augenabschnittes.

1.1.2 Der Glaskörper

Der GK (Corpus vitreum) ist eine gelartige Struktur, welche das Innere des Auges zwischen Linse und Netzhaut ausfüllt. Er gewährleistet eine streuungsfreie Lichtdurchlässigkeit und trägt zur Aufrechterhaltung der intraokularen Homöostase bei (Szurman 2015). Bei Erwachsenen hat er ein durchschnittliches Volumen von etwa 4ml. Er besteht zu 98% aus Wasser, welches an Hyaluronsäure gebunden ist, sowie einer extrazellulären Matrix aus Kollagenfibrillen. Diese bestehen vor allem aus Kollagen Typ II und geben dem GK Stabilität und Flexibilität. An der Synthese bzw. dem Abbau von Kollagen und Hyaluronsäure scheinen Hyalozyten des GK-Kortex beteiligt zu sein. Der GK-Kortex bildet zusammen mit den Membranen der umliegenden Gewebe die Grenzflächen. Zur *Retina* besteht diese aus der inneren Grenzmembran der Netzhaut (ILM) und Ankerfibrillen des GK-Kortex, wodurch eine feste Anhaftung besteht. Diese Haftung ist im Bereich der GK-Basis, in der auch die höchste Kollagendichte besteht, sowie im Bereich der Papille, der *Fovea* und der retinalen Gefäße besonders stark ausgeprägt (Grehn 2012; Spitzer und Januschowski 2015).

1.1.3 Die Netzhaut

Die Netzhaut ist ein vorgelagerter Teil des Gehirns und stellt als innerste Schicht der Bulbuswand den lichtwahrnehmenden Teil des Auges dar. Hier werden optische Signale (Licht) in neuronale Impulse umgewandelt und dann über den Nervus opticus an das visuelle Zentrum im Gehirn geleitet. Die Netzhaut besteht aus mehreren Schichten, man unterscheidet das Stratum pigmentosum vom Stratum nervosum. Das Stratum pigmentosum entspricht dem retinalen Pigmentepithel (RPE), welches die für die Versorgung der Netzhaut wichtige Verbindung zur Aderhaut darstellt und von dieser durch die Bruch-Membran getrennt ist. Das Stratum nervosum enthält mehrere Zellschichten und liegt dem RPE innen an, jedoch besteht nur an wenigen Stellen (z.B. der Papille) eine feste Verbindung. Die äußerste Schicht bildet die äußere Körnerschicht, in welcher sich die Fotorezeptoren (Zapfen und Stäbchen) befinden. Im zentralen Bereich der Netzhaut finden sich vorwiegend die für das Farben- und Helligkeitssehen zuständigen Zapfen. In der Peripherie überwiegt die Zahl der Stäbchen, welche besonders für das Dämmerungs- und Nachtsehen zuständig sind. Im Bereich der Papille, dem Austrittspunkt des Nervus opticus, finden sich keine Fotorezeptoren, weshalb dieser Bereich im Gesichtsfeld auch als blinder Fleck bezeichnet wird. Lichtreize müssen die Netzhaut vollständig durchdringen, um von den Rezeptoren aufgenommen zu werden. Anschließend werden die Signale über bipolare Zellen, Horizontalzellen und amakrine Zellen, welche die innere Körnerschicht bilden, ins Innere zu den Ganglienzellen fortgeleitet. Die Horizontalzellen und die amakrinen Zellen sind dabei vor allem für die Kontrastverstärkung zuständig. Die Ganglienzellen bilden die innerste Schicht, ihre Axone ziehen zur Papille und leiten die Informationen Richtung Gehirn weiter. Um die Lichtdurchlässigkeit der Netzhaut zu ermöglichen, sind diese Axone bis zur Papille nicht myelinisiert.

Blickt man - zum Beispiel mittels Funduskopie - auf die Netzhaut (siehe Abbildung 4), findet man temporal der Papille die Makula (gelber Fleck) mit der *Fovea centralis*, dem Ort des schärfsten Sehens. In diesem Bereich ist die sonst übliche Schichtung der Netzhaut nicht vorhanden, die den Fotorezeptoren nachfolgenden Zellen und Neurone sind zur Seite verdrängt, sodass sich eine zentrale Vertiefung bildet. Das Licht fällt direkt auf die dort befindlichen dicht gereihten

Zapfen, die eins zu eins mit den nachfolgenden bipolaren und Ganglienzellen verschaltet sind. Dadurch ergibt sich eine hohe bildliche Auflösung.

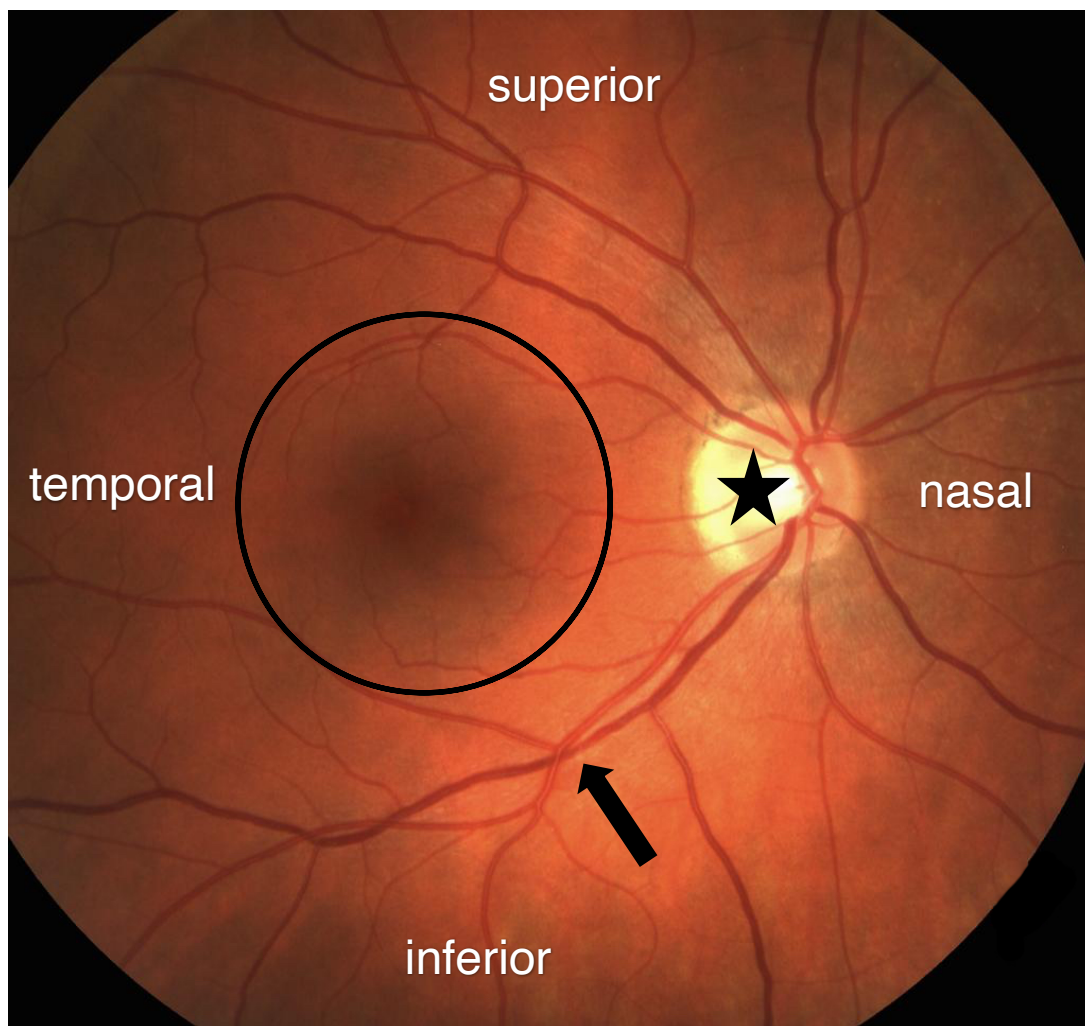


Abbildung 2: Netzhaut (Fundus Normalbefund)

Fundus eines rechten Auges mit Papille (Stern), der temporal davon gelegenen dunkler pigmentierten Makula (Kreis) und den retinalen Gefäßen (Pfeil).

Neben der Kenntnis des anatomischen Aufbaus ist auch die Kenntnis der embryonalen Entwicklung des Auges und der Netzhaut hilfreich. Hierdurch erklärt sich, weshalb die Netzhaut als vorgelagerter Teil des Gehirns bezeichnet werden kann und wie sich bereits durch die Entwicklung eine gewisse Prädilektionsstelle für eine Netzhautablösung gebildet hat. In der dritten Embryonalwoche entstehen zwei Augenbläschen mit jeweils einem Augenbecherstiel. Dieser hält die Verbindung zum späteren Diencephalon aufrecht und entwickelt sich im Verlauf zum Nervus opticus. Aus dem angrenzenden Ektoderm bildet sich die Linsenanlage, welche in Richtung des Augenbläschens wächst und so für eine Einstülpung und

die Bildung des Augenbechers sorgt. Dieser umschließt die spätere Linse nicht vollständig, die verbleibende Lücke bildet später die Pupille. Die durch die Einstülpung entstandene innere Lage des Augenbechers bildet im Verlauf den sensorischen Teil der Netzhaut, die äußere Lage wird zum RPE (Trepel 2012).

1.2 Rhegmatogene *Ablatio retinae*

Bei der Netzhautablösung kommt es zu einer Ablösung der neurosensorischen Netzhaut vom darunterliegenden RPE, also zu einer Trennung der beiden Schichten im während der Embryonalphase vorgeformten Spalt (Grehn 2012). Hierbei lassen sich verschiedene Ausprägungsformen unterscheiden: die rhegmatogene, traktive (z.B. bei diabetischer Retinopathie) und die exsudative (z.B. bei intraokularen Tumoren) *Ablatio*. Bei allen Formen ist eine Ansammlung subretinaler Flüssigkeit vorhanden.

Ursächlich für die rhegmatogene *Ablatio* sind degenerative Veränderungen des GK. Im Verlauf des Lebens kommt es zu einer zunehmenden Verflüssigung des gelartigen GKs und gleichzeitig zu einer zunehmenden Verdichtung der Kollagenfibrillen (Mitry Danny et al. 2010; Spitzer und Januschowski 2015). Diese Verdichtungen können seitens des Patienten in Form von sich bewegenden GK-Trübungen (*Mouches Volantes*), ähnlich sich bewegenden Flusen, wahrgenommen werden. Der GK verliert an Elastizität und löst sich letztlich von der Netzhaut ab. Diese Abhebung des Glaskörpers tritt am häufigsten im Alter zwischen 45 und 65 Jahren auf (Bechrakis und Dimmer 2018). Aufgrund von noch punktuell bestehenden peripheren Anheftungsstellen entsteht ein mechanischer Zug auf die Netzhaut (vitreoretinale Traktion), welcher zu Einrissen beziehungsweise Löchern führen kann. Die Löcher sind meist am Äquator des Auges lokalisiert, da die Netzhaut an dieser Stelle am dünnsten und die Zugkraft des GK durch dessen Eigengewicht im Verhältnis stärker ist (Feltgen und Walter 2014). Durch diese kann Flüssigkeit unter die Netzhaut strömen, sich dort anreichern und zu einer zunehmenden Ablösung vom retinalen Pigmentepithel führen (Abbildung 3). Das Risiko, dass aus einem Riss eine Netzhautablösung entsteht, beträgt bei symptomatischen Patienten 30-50% und bei asymptomatischen Patienten 5% (Bechrakis und Dimmer 2018).

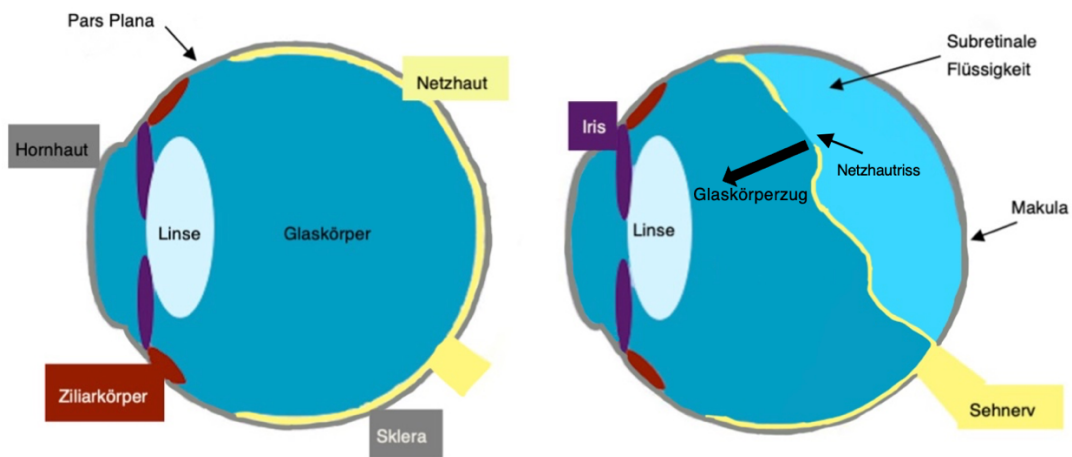


Abbildung 3: Rhegmatogene Netzhautablösung mit Makulabeteiligung

(Eigene Darstellung in Anlehnung an Feltgen und Walter (2014)).

Schematische Darstellung der rhegmatogenen Netzhautablösung mit Netzhauttriss, Glaskörperzug und subretinaler Flüssigkeit.

1.2.1 Risikofaktoren

Als einer der Risikofaktoren ist das Alter zu nennen. Das größte Risiko für eine rhegmatogene Netzhautablösung besteht aufgrund der degenerativen Veränderungen des GK im 6. und 7. Lebensjahrzehnt. Danach scheint das Risiko wieder zu sinken, vermutlich aufgrund der dann abgeschlossenen GK-Abhebung und des somit verminderten Risikos für neue Defekte (Van de Put et al. 2013). Auch das Geschlecht scheint einen gewissen Einfluss zu haben, insgesamt sind Männer häufiger von einer Netzhautablösung betroffen als Frauen (Heimann 2012).

Als weiterer Risikofaktor ist vor allem eine ausgeprägte Myopie (Kurzsichtigkeit) aufzuzählen. Aufgrund der Myopie kommt es zu einer früheren Verflüssigung und Abhebung des GKs, was zu einem früheren Auftreten einer Netzhautablösung führen kann. Das Risiko für eine *Ablatio* steigt mit zunehmender Achsenlänge, sodass es sich bei einer Ausprägung der Myopie von -1dpt (Dioptrien) bis -3dpt vervierfacht und von mehr als -3dpt verzehnfacht (Mitry D. et al. 2010; Bechrakis und Dimmer 2018).

Zudem erhöht sich das Risiko durch eine stattgehabte Kataraktoperation langfristig, selbst wenn diese komplikationslos verlief (Heimann 2012). Eine Analyse aus Dänemark ergab einen mittleren Anstieg des Risikos für eine *Ablatio* nach

Kataraktoperation um das Vierfache, wobei insbesondere jüngere Patienten gefährdet waren (Bjerrum und Mikkelsen 2013).

Auch ein stumpfes Bulbustraua kann aufgrund von GK-Beschleunigungen zu Netzhautrissen und infolgedessen einer Netzhautablösung führen (Feltgen und Walter 2014). Der Anteil ist hierbei jedoch mit einer Inzidenz von 0,6 – 2 pro 100.000 eher gering (Mitry D. et al. 2010).

Auch die Netzhautablösung selbst stellt einen Risikofaktor dar. Nicht selten kommt es bei stattgehabter Netzhautablösung an einem Auge im Verlauf auch zu einer Ablösung der Netzhaut des anderen Auges. Laut einer Registerstudie aus Dänemark liegt das Risiko für eine *Ablatio* am anderen Auge bei 1,3% pro Jahr, ist also 100-fach höher als normalerweise (Hajari et al. 2014). Mitry et al. (2010) fanden in einer Analyse mehrerer Studien ein Risiko für eine *Ablatio* am zweiten Auge von 3,5 – 5,8% im ersten Jahr und von 9 – 10% innerhalb von vier Jahren.

1.2.2 Symptomatik und Diagnostik der Netzhautablösung

Bei der hinteren GK-Abhebung bemerkt der Patient häufig die genannten GK-Trübungen (*Mouches Volantes*), Schliere (Floater) oder Lichtblitze. Das Symptom der Lichtblitze wird durch die Traktion an der Netzhaut verursacht (Spitzer und Januschowski 2015). Kommt es zu einer Netzhautablösung sind vor allem eine akute Visusminderung und ein Gesichtsfeldausfall zu bemerken. Den Gesichtsfeldausfall kann man sich wie einen undurchsichtigen Vorhang vorstellen, welcher – im Gegensatz zu GK-Trübungen – bei Augenbewegungen an derselben Stelle bleibt. Sind durch den Netzhautriss Gefäße verletzt worden, zeigt sich die Blutung in Form von dunkeln Trübungen (Rußregen). Auch weiterhin können *Mouches Volantes* und Lichtblitze auffallen (Grehn 2012; Feltgen und Walter 2014). Netzhautablösungen können jedoch auch asymptomatisch verlaufen und im Rahmen einer Routineuntersuchung auffallen (Heimann 2012). Um eine Netzhautablösung frühzeitig diagnostizieren und therapieren zu können und eine Beteiligung der Makula möglichst zu vermeiden, ist die Aufklärung über diese Symptome besonders wichtig. Der Anteil von Patienten, bei denen zum

Zeitpunkt der ärztlichen Vorstellung die Makula bereits beteiligt ist liegt zwischen 46 und 68% (Feltgen et al. 2020).

Zur Diagnostik der Netzhautablösung ist vor allem die direkte und indirekte Ophthalmoskopie von Bedeutung, bei der man den Augenfundus betrachtet. Um den gesamten Fundus betrachten zu können, ist eine Dilatation der Pupille notwendig. Die Netzhaut selbst ist durchsichtig damit Lichtreize von den Fotorezeptoren aufgenommen werden können. Man sieht also bei Betrachtung des Fundus die retinalen Gefäße, das Pigmentepithel und die Aderhaut, durch deren starke Durchblutung die rötliche Färbung entsteht. Das individuelle Fundusbild wird beeinflusst von Pigmentgehalt, Lebensalter und der Refraktion (Grehn 2012). Eine rhegmatogene Netzhautablösung stellt sich hell schimmernd, nicht selten bullös und mit zunehmendem Transparenzverlust dar (Abbildung 4). Ursächlich finden sich ein oder mehrere Netzhautlöcher. Das mittels Funduskopie gesehene Bild wird zur Dokumentation des Netzhautbefundes in der Regel in Form einer Fundusskizze festgehalten, um so die spätere Planung der operativen Versorgung zu erleichtern.

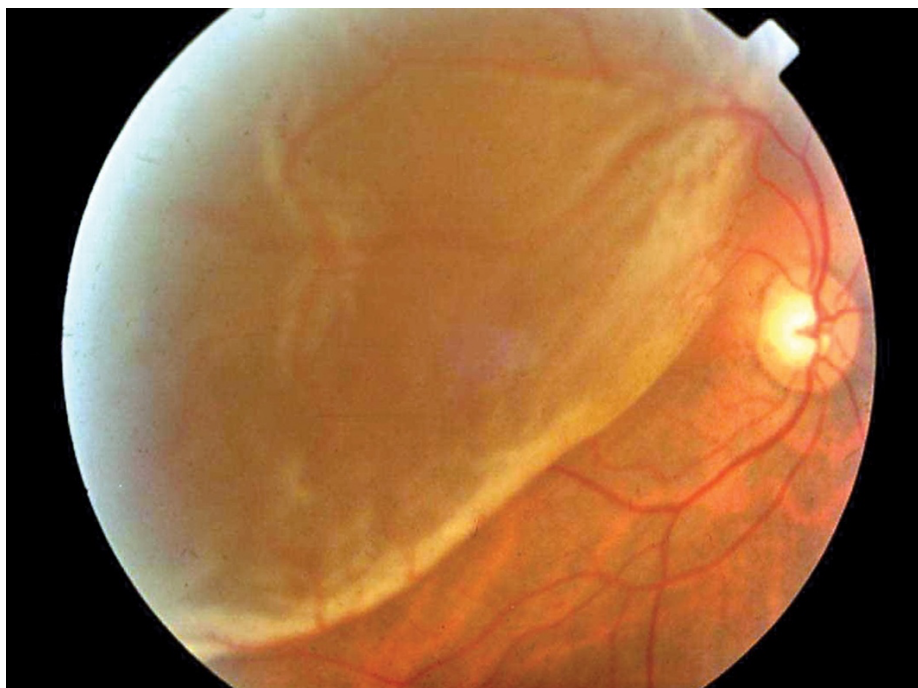


Abbildung 4: Rhegmatogene Netzhautablösung (Funduskopie)

Genehmigung von Flickr, Verwendung unter einer CC BY-NC 4.0 Lizenz (<https://www.flickr.com/photos/communityeyehealth/5618386657/in/album-72157627897573549/>)

Zur genaueren Beurteilung der Netzhaut, insbesondere hinsichtlich der Makula, ist die optische Kohärenztomographie (OCT) das Verfahren der Wahl. Sie ist eine nichtinvasive Untersuchungsmethode, welche die in-vivo-Darstellung der vitreo-retinalen Grenzfläche, sowie der darunterliegenden Netzhautschichten ermöglicht (Mayer und Haritoglou 2016). Durch unterschiedlich starke Reflexionen des Lichtes an Grenzflächen war durch die OCT erstmalig die Visualisierung struktureller Veränderungen der Netzhaut ähnlich eines histologischen Schnittbildes möglich (Fujimoto et al. 2000). Für die Beurteilung der einzelnen Schichten in der OCT wurde eine einheitliche Nomenklatur festgelegt (Abbildung 5) (Starengi et al. 2014).

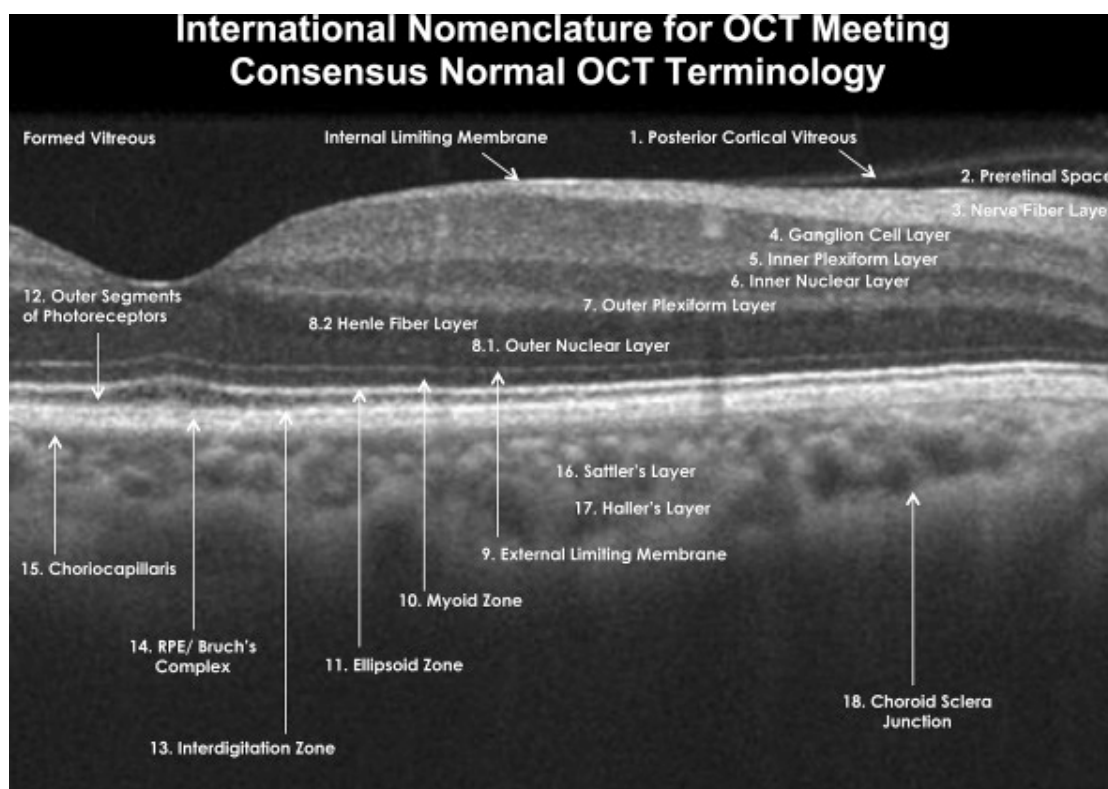


Abbildung 5: Aufbau der Netzhaut in der OCT

Starengi et al. (2014), Genehmigung von Elsevier erhalten.

Bildbeschriftungen: Formed Vitreous – Glaskörper, *Internal Limiting Membrane* – Membrana limitans interna, 1. *Posterior Cortical Vitreous* – Hinterer Glaskörperkortex, 2. *Preretinal Space* – präretinaler Raum, 3. *Nerve Fiber Layer* – Nervenfaserschicht, 4. *Ganglion Cell Layer* – Ganglienzellschicht, 5. *Inner Plexiform Layer* – innere plexiforme Schicht, 6. *Inner Nuclear Layer* – innere Körnerschicht, 7. *Outer Plexiform Layer* – äußere plexiforme Schicht, 8.1 *Henle Fiber Layer* – Henle-Faserschicht, 8.2 *Outer Nuclear Layer* – äußere Körnerschicht, 9. *External Limiting Membrane* – Membrana limitans externa, 10. *Myoid Zone* – Myoide Zone, 11. *Ellipsoid Zone* – Ellipsoide Zone, 12. *Outer Segments of Photoreceptors* – äußere Anteile der Photorezeptoren, 13. *Interdigitation Zone* – Verzahnungszone, 14. *RPE/Bruch's Complex* – retinales Pigmentepithel (RPE) und Bruch-Membran, 15. *Choriocapillaris* – Choriokapillaris, 16. *Sattler's Layer* – Sattler-Schicht der Aderhaut, 17. *Haller's Layer* – Haller-Schicht der Aderhaut, 18. *Choroid Sclera Junction* – Verbindung von Aderhaut und Sklera.

Die Netzhautablösung präsentiert sich in der OCT durch einen dunklen Spalt zwischen Netzhaut und Pigmentepithel, welcher der subretinalen Flüssigkeitsansammlung entspricht. Somit kann mithilfe der OCT insbesondere eine Makulabeteiligung durch eine Abhebung der fovealen Senke exakt festgestellt werden (Abbildung 6).

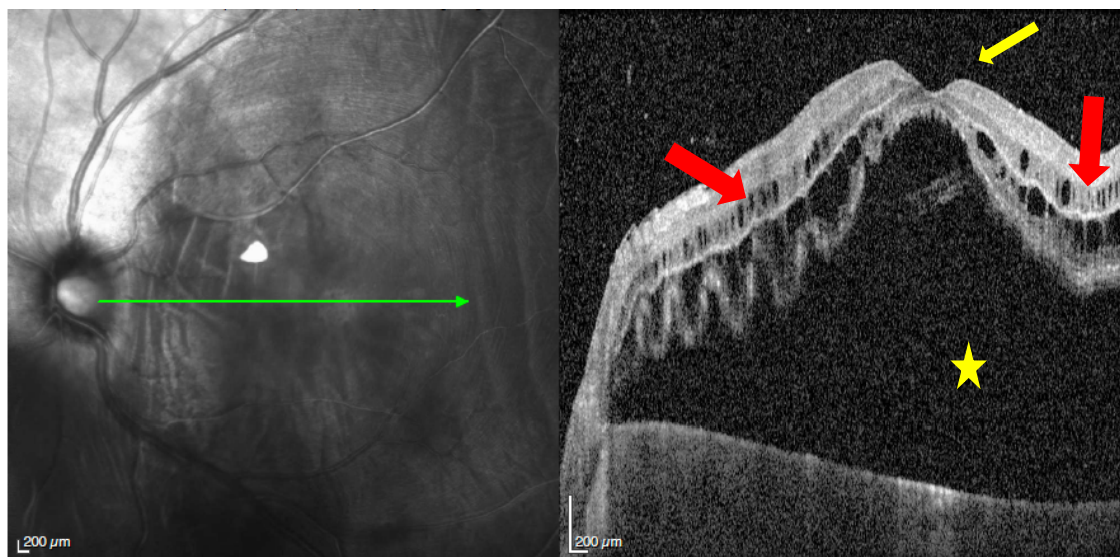


Abbildung 6: OCT-Schnittbild einer Netzhautablösung mit Makulabeteiligung

(Universitätsmedizin Göttingen, Augenklinik, Studienpatient PM-22)

Linkes Bild: Übersichtsinfrarot-Aufnahme mit horizontaler grüner OCT-Scanlinie von nasal nach temporal verlaufend

Rechtes Bild: Korrespondierender horizontaler OCT-Scan durch die Makula mit Netzhautablösung im Schnittbild zeigt die abgehobene *Fovea centralis* (gelber Pfeil), sowie reichlich subretinale Flüssigkeit (gelber Stern) unter einer verdickten abgehobenen Netzhaut mit intraretinaler Flüssigkeit (rote Pfeile).

1.3 Operationsmethoden

Die *Ablatio retinae* kann wie bereits erwähnt bei Fortschreiten und unbehandelt bis zur Erblindung führen. Daher ist, insbesondere wenn die Makula initial noch nicht beteiligt ist, eine zeitnahe Intervention wichtig, um die bestehende volle Sehschärfe zu erhalten. Durch Verzögerungen kann es zu einem Fortschreiten der Netzhautablösung mit Ablösung der Makula kommen, welche die postoperative funktionelle Prognose erheblich verschlechtert. In der Zeit zwischen Diagnosestellung und Operation kann durch strikte Lagerung des Patienten und Vermeidung von Kopfbewegungen häufig ein Fortschreiten der Netzhautablösung verhindert oder zumindest verzögert werden (Ho et al. 2006; de Jong et al. 2019). Ist die Makula bereits initial mitbetroffen, so stellt die Operation weniger

eine notfallmäßige als eine dringliche Indikation dar und sollte bestmöglich geplant werden (Feltgen et al. 2020).

Die meistangewandten operativen Methoden zur Therapie der Netzhautablösung sind die konventionelle Buckelchirurgie bzw. die Pars-Plana-Vitrektomie (PPV). Die jeweilige Operationsmethode wird entweder durch eine Laser- oder eine Kryokoagulation (Vereisung) der Netzhautlöcher und Risse ergänzt. Das Ziel der jeweiligen Verfahren ist es, den Zug des Glaskörpers auf die Retina zu entlasten, den ursächlichen Riss zu verschließen und eine wasserdichte Narbe um das ursächliche Netzhautloch zu erzeugen. Beide Verfahren werden in der Regel in Allgemeinanästhesie durchgeführt, sind aber auch in Retrobulbäranästhesie möglich (Schaub und Schick 2021). Die Entscheidung, welches der Verfahren oder ob eine Kombination beider angewandt wird, entscheidet sich meist anhand der Ausgangssituation: wie ist der Einblick, gibt es mehrere Löcher oder nur eines, sind die Löcher groß oder eher klein? Nicht selten spielt auch die Linsensituation eine beeinflussende Rolle. Anhand der Ergebnisse einer multizentrischen Studie ergab sich die Empfehlung, bei noch vorhandener eigener Linse (phak) ein skleraeindellendes Verfahren durchzuführen. Bei Patienten, die bereits eine Kunstlinse haben (pseudophak), wurde eine primäre PPV empfohlen (Heimann et al. 2007). Abgesehen von diesen Empfehlungen spielen auch die persönlichen Präferenzen und Erfahrungen des Operateurs eine Rolle (Feltgen et al. 2020).

Die primäre Vitrektomie zur Therapie der Netzhautablösung hat sich in den letzten Jahrzehnten immer mehr durchgesetzt (Heimann et al. 2008). Eine Befragung von Netzhautchirurgen zur Vorgehensweise bei *Ablatio*, durchgeführt von Fischer et al. aus dem Jahr 2017, zeigt den fortschreitenden Trend zur primären Vitrektomie. Insbesondere im Vergleich zu einer 2001 durchgeführten Befragung, würde die Wahl auch bei Buckelchirurgie-fähigen Situationen zunehmend zugunsten der Vitrektomie fallen. Auffallend war dabei zudem der zunehmend sinkende Anteil von in der Buckelchirurgie erfahrenen Netzhautchirurgen. Fischer et al. sehen den Trend auch in Zukunft voranschreiten, möglicherweise bis hin zur Verdrängung der skleraeindellenden Operationsverfahren (Fischer et al. 2018).

1.3.1 Buckelchirurgie

Die konventionelle Buckelchirurgie, auch skleraeindellende Operationsweise genannt, ist durch die Anbringung einer Silikonschaumstoffplombe oder eines Silikonbandes von außen auf die Sklera an der Stelle des Einrisses gekennzeichnet. Durch das Festnähen dellt sich der Augapfel ein, wodurch es im Bereich des Loches sofort zur Entlastung des GK-Zuges kommt und der Kontakt zwischen Netzhaut und Pigmentepithel wiederhergestellt wird, nachdem sich die subretinale Flüssigkeit resorbiert hat. Diese Resorption kann dauern (Fischer et al. 2018), weshalb insbesondere bei hochblasiger Ablösung mit reichlich subretinaler Flüssigkeit eine chirurgische Ablassung der subretinalen Flüssigkeit durch eine Punktion von außen durchgeführt werden kann. Nachdem die Lage der Plombe mittels Ophthalmoskop kontrolliert und der betroffene Bereich von außen vereist wurde, verschließt man die Bindehaut über der Plombe wieder. Je nach Befund kann zudem noch eine zusätzliche Luft- oder Gasinjektion in das glaskörperhaltige Auge zur zusätzlichen Tamponade von innen verwendet werden. Nach ca. 10 – 14 Tagen sollte sich eine wasserdichte Narbe um das Loch herum gebildet haben. Dennoch wird die Plombe nicht entfernt, da sie auch langfristig den Glaskörperzug entlastet. Bei komplexeren *Ablatio*-Situationen, wie zum Beispiel multiplen Löchern gibt es auch die Möglichkeit ein Silikonband, auch Cerclage genannt, um den Augapfel zu legen und so eine zirkuläre Eindellung zu erzeugen. Auch dieses bleibt in der Regel dauerhaft bestehen. Erfahrungsgemäß kann mittels dieser externen Operationsweisen eine Wiederanlegerate bzw. anatomische Erfolgsrate von 85 – 90% erzielt werden (Feltgen und Walter 2014). Postoperativ ist zu beachten, dass es durch die Eindellung des Augapfels vor allem bei Verwendung einer Cerclage durch induzierte Verlängerung des Bulbus zu Refraktionsänderungen (Myopisierung um 1 – 2 dpt) kommen kann (Schaub und Schick 2021). Vor allem anfänglich können Schmerzen, Bulbusbewegungsstörungen und Doppelbilder auftreten. In seltenen Fällen kann es zu einer Plomben- oder Cerclageinfektion kommen, sodass diese wieder entfernt werden müssen (Hoerauf et al. 2008). Um den anatomischen Erfolg zu fördern, kann postoperativ eine Lagerung des Patienten auf der Seite des Foramens erfolgen. Bei Beteiligung der *Fovea* ist eine Lagerung auf dem Rücken oder auf der temporalen Seite zu empfehlen (Schaub und Schick 2021).

1.3.2 Pars-Plana-Vitrektomie (PPV)

Die PPV beinhaltet eine mikrochirurgische Vorgehensweise mit einer kompletten Entfernung des Glaskörpers. Der Zugang erfolgt dabei - wie in der Bezeichnung ersichtlich - über die sich etwa 3 – 4mm hinter dem Limbus befindliche Pars plana des Ziliarkörpers. An dieser Stelle birgt die notwendige Perforation des Augapfels eine geringe Gefahr für die iatrogene Entstehung einer Netzhautablösung und die Linse wird geschont.

Die Operationsinstrumente bestehen aus einer Infusionskanüle zur Aufrechterhaltung des intraokularen Drucks mittels Kochsalzlösung, einem sogenannten Vitrektom (Kombination aus einem Saug- und Schneideinstrument zur Abtragung des Glaskörpers) und einer Beleuchtungsquelle (Abbildung 7). Um das durch wiederholtes Wechseln bzw. Ein- und Ausführen der Instrumente entstehende Trauma zu minimieren und eine nahtfreie Vitrektomie zu ermöglichen, werden an den Sklerotomiestellen spezielle Trokarsysteme verwendet (Heimann et al. 2008; Aylward 2011).

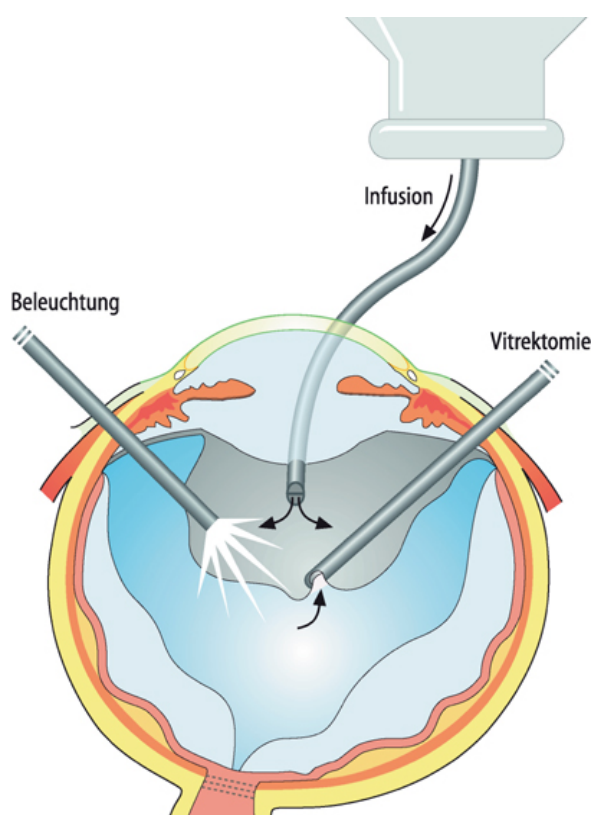


Abbildung 7: Pars-Plana-Vitrektomie

(Grehn 2012); Genehmigung von Springer Nature erhalten
Schematische Darstellung der Pars-Plana-Vitrektomie mit Beleuchtung, Infusion und Vitrektom. Die Linse ist zur besseren Veranschaulichung nicht dargestellt.

Das erste aus drei Instrumenten bestehende Vitrektomie-System mit 20G (Gauge) wurde 1974 von O-Mailley et al. beschrieben. Bis zum Beginn der 2000er war jedoch zum Einbringen der Instrumente noch eine Eröffnung der Bindehaut nötig, die Sklerotomien sowie die Bindehaut mussten im Anschluss an den Eingriff mittels resorbierbarem Nahtmaterial verschlossen werden (Fabian und Moisseiev 2011). Bei komplexen Fällen oder kombiniertem buckelchirurgischem Vorgehen wird dies immer noch so durchgeführt. Im weiteren Verlauf gab es eine stetige Weiterentwicklung der Instrumente und Beobachtungssysteme, um die Operationszeit und das durch die Operation entstehende Trauma am Auge zu minimieren sowie den Heilungsprozess zu fördern. Zunächst wurde ein nahtloses 20-Gauge-System entwickelt, durch welches die Naht der Sklerotomien entfiel, die Bindehaut jedoch weiterhin am Ende der Operation verschlossen werden musste (Aylward 2011). Als vollständig nahtlose, transkonjunktivale Systeme (d.h. die Kanülen werden direkt über Trokare durch Bindehaut und Sklera eingebracht) folgten ein 25-Gauge-, ein 23-Gauge- und zuletzt ein 27-Gauge-System mit leicht variierenden Vorgehensweisen bezüglich des Einbringens der Instrumente (Eckardt 2005; Oshima et al. 2010). Die einzelnen Systeme unterscheiden sich in Durchmesser (20G 0,91mm, 23G 0,61mm, 25G 0,51mm und 27G 0,42mm), damit einhergehender Instrumentenstabilität und -funktionalität (Fabian und Moisseiev 2011). Das 23-Gauge-System zum Beispiel scheint hinsichtlich der Instrumentenstabilität gegenüber dem 25-Gauge-System im Vorteil zu sein (Eckardt 2005). Möglicherweise ist dies mit einer der Gründe, weshalb sich in einer Umfrage zeigte, dass der Großteil der befragten Netzhautoperateure (72,7 %) im deutschsprachigen Raum vor allem das 23-Gauge-System verwendet haben (Fischer et al. 2018).

Der Ablauf der Vitrektomie gestaltet sich folgendermaßen: nach Einbringen der Instrumente durch die Sklerotomien wird der Glaskörper vom Operateur mithilfe des Vitrektoms entfernt und mögliche vorhandene Adhäsionen und Traktionen an der Netzhaut gelöst. Einsicht ins Operationsgebiet erhält der Operateur dabei mithilfe des OP-Mikroskops und eines speziellen Weitwinkelbeobachtungssystems durch die Pupille. Diese wird dafür vor der Operation weitgetropft. Die subretinale Flüssigkeit wird durch das Foramen oder eine angelegte Retinotomie

drainiert. Reicht dies nicht aus, um eine intraoperative Netzhautanlage zu erreichen, kann die Verwendung von schwerer Flüssigkeit, sogenannten flüssigen Perfluorokarbonen (PFCL), helfen. Vorhandene Löcher werden entweder mittels Laser umstellt oder transskleral vereist (Kryopexie). Das PFCL und die fortlaufende Infusion werden gegen ein Luft-/Gas-Gemisch (z.B. SF₆ (Schwefelhexafluorid) oder C₂F₆ (Hexafluorethan)) oder bei länger benötigter Tamponade, z.B. wegen komplizierterem Netzhautbefund, gegen Silikonöl ausgetauscht. Die Tamponade soll ausreichend lang verhindern, dass Flüssigkeit durch das Loch unter die Netzhaut läuft, bis sich eine Narbe um das Loch ausgebildet hat. Die Gastamponade hat dabei den Vorteil, dass das Gas innerhalb weniger Wochen resorbiert wird und sich gegen die vom Ziliarkörper produzierte Kammerwasserflüssigkeit austauscht. Nachteilig ist die schlechte Sicht des Patienten durch die Gasfüllung. Das Silikonöl hingegen muss in einer zweiten Operation entfernt werden, erlaubt jedoch sofort ein besseres Sehvermögen, sodass es oft bei einzigem Auge zum Einsatz kommt. Postoperativ ist bei einer Gastamponade durch Herstellung eines Luft-Gasgemisches im richtigen Verhältnis zu beachten, dass eine Expansion des Gases und damit ein Druckanstieg im Auge verhindert wird. Daher sind auch Aktivitäten wie Fliegen oder Bergsteigen aufgrund der Höhenänderung zu vermeiden, bis das Gas vollständig resorbiert ist (Grehn 2012). Für den Patienten bedeutet die Tamponade immer eine gewisse Einschränkung, da sowohl das Luft/Gasgemisch (ca. -50dpt), als auch das Silikonöl (ca. +6dpt) für eine Brechkraftveränderung sorgen (Feltgen und Walter 2014). Im Vergleich zur Buckelchirurgie, bei der die subretinale Flüssigkeit häufig erst im Verlauf resorbiert wird, kommt es jedoch durch die Tamponade zu einer direkten Wiederanlage der Netzhaut (Fischer et al. 2018). Trotzdem ist postoperativ zur Förderung des Erfolges bei verwendeter Endotamponade eine Lagerung des Patienten auf die der Pathologie gegenüberliegende Seite oder gegebenenfalls auf dem Rücken zu empfehlen (Otsuka et al. 2018).

Die primäre PPV weist eine Wiederanlagerate von ca. 85-90% auf, die häufigsten Komplikationen sind eine postoperative Linsentrübung innerhalb eines Jahres in

77% der Fälle (Heimann et al. 2007), durch den Eingriff neu erzeugte Netzhautlöcher, GK-Blutungen, postoperative Hypotonie oder in seltenen Fällen eine Endophthalmitis (Fabian und Moisseiev 2011).

1.4 Makuläre Folgekomplikationen nach *Ablatio*-Chirurgie

1.4.1 Metamorphopsie

Unter Metamorphopsie versteht man die verzerrte Wahrnehmung gerader Linien als Zeichen einer visuellen Funktionsstörung. Die erste Definition für diesen Begriff formulierte Plenck im Jahr 1782 als eine Verzerrung der Formwahrnehmung und Änderung der Größenwahrnehmung (Simunovic 2015). Diese Änderung der Größenwahrnehmung kann sich in Form einer vergrößerten (Makropsie) oder einer verkleinerten (Mikropsie) Wahrnehmung von Objekten äußern.

Metamorphopsie kann bei verschiedenen Erkrankungen des Auges - insbesondere des hinteren Augenabschnittes - auftreten. Ein Beispiel hierfür sind Makulalerkrankungen wie die altersbedingte Makuladegeneration (AMD), ein Makulaloch oder ein Makulaödem. Desweiteren tritt Metamorphopsie bei epiretinaler Gliose, Netzhautablösungen und auch nach erfolgreicher Netzhautoperation auf (Midena und Vujosevic 2015).

Es gibt verschiedene Theorien bezüglich der Auslöser der Metamorphopsie. Neben anderen Auslösern von Verzerrungen, wie zum Beispiel optischen Hilfsmitteln oder brechenden Medien des Auges, spielen vor allem retinale Ursachen eine Rolle (Simunovic 2015). Man geht davon aus, dass die Metamorphopsie durch eine strukturelle Veränderung innerhalb der Retina verursacht wird. Durch eine Verschiebung der retinalen Schichten - insbesondere der Fotorezeptoren - kommt es zu einer veränderten Signalwahrnehmung und -übertragung. Durch die Entwicklung der OCT konnten genauere Zusammenhänge von Metamorphopsie und strukturellen Veränderungen, z.B. verdickte innere Körner- und Ganglienzellschichten, erfasst werden (Okamoto et al. 2012). Wiecek et al. (2015) vermuten, dass nicht nur Verschiebungen retinaler Schichten, sondern auch kortikale Verarbeitungsprozesse zur Entstehung der Metamorphopsie beitragen.

Im Fall der Netzhautablösung tritt Metamorphopsie häufiger auf, wenn die Makula initial beteiligt war oder es intraoperativ zu einer Ablösung der Makula kam (Okamoto et al. 2014; Murakami et al. 2018). Als unabhängige Risikofaktoren für eine Makulabeteiligung konnten Potic et al. (2018) eine vorhandene Pseudophakie sowie eine Achsenlänge des Bulbus von $<25\text{mm}$ evaluieren.

Unter anderem Saleh et al. (2018) konnten über signifikant mehr Metamorphopsie bei Makulabeteiligung berichten. In ihrer Studie trat bei 48,5% der Patienten mit initialer Makulabeteiligung Metamorphopsie auf, wohingegen dies nur bei 13% der Patienten mit anliegender Makula der Fall war. In Verbindung mit Metamorphopsie konnten in der OCT eine epiretinale Gliose, IS/OS-Unterbrechungen, ELM-Unterbrechungen, ein Makulaödem, ein Makulaforamen oder subretinale Flüssigkeit festgestellt werden. Doch auch ohne erkennbare Veränderungen in der OCT trat Metamorphopsie auf (Okamoto et al. 2014; Zhou et al. 2017).

Für betroffene Patienten bedeutet Metamorphopsie häufig eine Einschränkung der Lebensqualität und des Alltags, was zu Unzufriedenheit mit dem Operationsergebnis führt. Durch die Verzerrungen kann die Lesefähigkeit oder das Erkennen von Gesichtern eingeschränkt sein. Eine Studie von van de Put et al. (2015) konnte zeigen, dass mit dem Vorhandensein von Metamorphopsie auch ein signifikant schlechterer postoperativer Visus korreliert.

Die einfachste Möglichkeit Metamorphopsie zu erfassen stellt das Amsler-Gitter dar. Es erfasst den zentralen Bereich der Netzhaut qualitativ. Eine sehr gute und gleichzeitig einfache Möglichkeit zur quantitativen Erfassung stellen die sog. M-CHARTS dar (Simunovic 2015). Mithilfe der M-CHARTS konnte bereits eine Metamorphopsie erfasst werden, auch wenn ein vorausgegangener Amsler-Test normal ausgefallen war (Nowomiejska et al. 2013). Der genaue Ablauf und die Funktionsweise der Testverfahren werden in den Kapiteln 2.3.2 und 2.3.3 erläutert.

Das funktionelle Ergebnis nach erfolgreicher Netzhautchirurgie ist in der Forschung ein viel untersuchtes Themengebiet. Dabei fokussieren die Studien meist auf den erreichten Visus und niederrangig auf verbliebene Metamorphopsie und Lesegeschwindigkeit. Die Ursachen und die Entstehung der Metamorphopsie

sind dabei bis heute nicht eindeutig geklärt. Die vorhandenen Studien vergleichen dabei selten, welchen Einfluss das jeweilige Operationsverfahren hat.

In einer großen vergleichenden Querschnittsstudie versuchten Zhou et al. (2017) zu evaluieren, welche Faktoren die Entstehung von Metamorphopsie beeinflussen. Sie untersuchten dafür insgesamt 380 mittels Buckelchirurgie oder PPV versorgte Patienten mit und ohne initiale Makulabeteiligung. Metamorphopsie konnten sie bei 56,69% der Patienten mit und bei 26% der Patienten ohne Makulabeteiligung feststellen. Als unabhängige signifikante Faktoren, die die Entstehung von Metamorphopsie beeinflussen, zeigten sich ein junges Alter, eine Makulabeteiligung, postoperative subretinale Flüssigkeit und Unterbrechungen der ELM. Aufgrund ihrer Ergebnisse vermuteten die Autoren, dass eine Regeneration der Fotorezeptorschicht möglich ist, solange deren Zellkörper (befinden sich in der ELM) nicht beteiligt sind.

Rossetti et al. (2010) berichteten in einer Studie mit einem Beobachtungszeitraum bis zu sechs Jahren postoperativ über länger bestehende Metamorphopsie nach erfolgter skleraeindellender Operation einer *Ablatio* mit Makulabeteiligung, ohne dass sich Veränderungen in der OCT entdecken ließen. In diesen Fällen wird vermutet, dass die Metamorphopsie durch mikrostrukturelle Veränderungen an den abgelösten Photorezeptoren bedingt werden, die auch in der hochauflösenden, heute weit verbreiteten, *spectral domain*-OCT nicht entdeckt werden können. In den Fällen, in denen Unterbrechungen im Bereich der Photorezeptorzellschicht in der OCT erkennbar waren, nahmen diese im zeitlichen Verlauf ab oder waren nicht mehr wiederzufinden.

In einer weiteren Studie untersuchten Wang et al. (2005) das Auftreten von Metamorphopsie bei Patienten mit primär beteiligter Makula nach erfolgter Buckelchirurgie. Hierbei konnte bei 67% der untersuchten Patienten zwei Monate nach der Operation mithilfe des Amsler-Testes Metamorphopsie festgestellt werden. Von diesen Patienten zeigten 77% Veränderungen der Makula in der OCT, am häufigsten war dabei eine neurosensorische zentrale persistierende und flache Abhebung der Netzhaut zu finden.

Okuda et al. (2018) hingegen betrachteten Patienten nach erfolgter Vitrektomie. Mithilfe der M-CHARTS untersuchten sie Patienten einen, sechs und 12 Monate

postoperativ und konnten feststellen, dass das Auftreten der Metamorphopsie bei „Makula-off- Patienten“ im Verlauf weniger wurde. Bei 88% (23 von 26 Augen) der Patienten mit Makulabeteiligung zeigte sich sechs Monate nach der Operation Metamorphopsie, nach 12 Monaten waren es noch 64% (14 von 22 Augen). Wiederum Ng et al. (2020) untersuchten in ihrer Studie sowohl mittels PPV (92%) als auch mittels Buckelchirurgie (8%) versorgte Patienten mit initialer Makulabeteiligung. Mittels M-CHARTS konnte bei insgesamt 88% der Untersuchten Metamorphopsie nachgewiesen werden. Dabei war die Häufigkeit der Metamorphopsie abhängig vom Ausmaß der Makulabeteiligung. Bei allen Patienten, die in der präoperativen OCT eine komplette peri- oder parafoveale Abhebung aufwiesen, konnte 12 Monate postoperativ Metamorphopsie festgestellt werden.

1.4.2 Epiretinale Gliose

Eine häufig mit Metamorphopsie assoziierte Veränderung der Netzhaut ist die epiretinale Gliose. Sie tritt entweder idiopathisch oder sekundär (z.B. nach hinterer GK-Abhebung oder Netzhautoperationen) auf und entsteht durch Lücken in der ILM, durch die Gliazellen auf die Netzhautoberfläche wandern und dort eine zusätzliche Membran bilden. Diese Membran schrumpft im Verlauf und sorgt durch den entstehenden Zug für eine Fältelung der Netzhaut (Abbildung 8). Nach einer erfolgten *Ablatio*-Operation entsteht in 3 – 17% der Fälle nach Buckelchirurgie und in etwa 9% der Fälle nach Vitrektomie eine epiretinale Membran. Dabei handelt es sich dann um eine sekundäre epiretinale Gliose. Meist entsteht diese innerhalb der ersten drei postoperativen Monate (Martínez-Castillo et al. 2012; Schaub und Schick 2021).

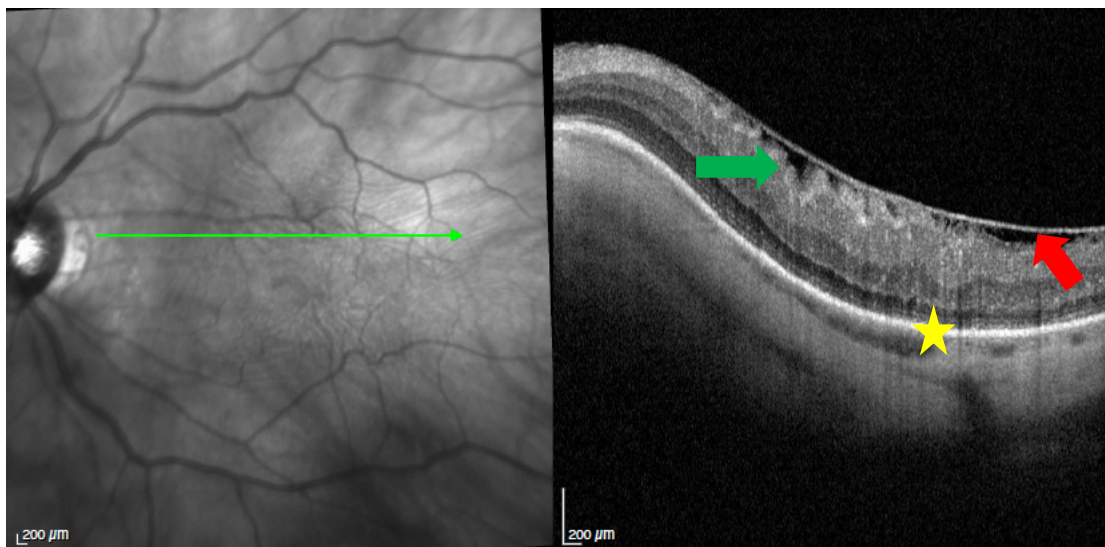


Abbildung 8: OCT-Schnittbild - epiretinale Gliose

(Universitätsmedizin Göttingen, Augenklinik, Studienpatient PM-04)

Linkes Bild: Infrarotbild mit grüner horizontaler OCT-Scanlinie etwas oberhalb der Makula/Fovea
 Rechtes Bild: Korrespondierender horizontaler OCT-Scan der Netzhaut zeigt eine aufgelagerte epiretinale Gliose (roter Pfeil) und durch deren Zug entstandene Fältelung der inneren Netzhautschicht (grüner Pfeil) im Bereich eines posterioren Staphyloms (gelber Stern)

1.4.3 Zystoides Makulaödem

Auch das zystoide Makulaödem (Abbildung 9) kann ursächlich für eine Metamorphose sein. Es kann im Rahmen verschiedener Pathologien entstehen. Dazu gehören zum Beispiel intraokuläre Entzündungsprozesse, retinale Venenverschlüsse oder die diabetische Retinopathie. Ein weiterer Auslöser können operative Eingriffe am Auge wie die Kataraktoperation oder aber auch die Netzhautchirurgie sein (Loewenstein 2010; Bertelmann et al. 2012). Der Begriff des Makulaödems bezeichnet eine Schwellung der Netzhaut durch Ansammlungen extrazellulärer Flüssigkeit in Hohlräumen der äußeren Nervenfaserschicht und der inneren Körnerschicht. Histologisch zeigen sich radiär angeordnete perifoveale zystenartige Räume, in deren Bereich die Zellen der Retina verdrängt werden (Rotsos und Moschos 2008). Die genaue Entstehung ist noch unklar. Eine der Erklärungen ist ein Zusammenbruch der Blut-Retina-Schranke (BRS) infolge von postoperativen metabolischen Veränderungen durch eine vermehrte Ausschüttung von Entzündungsmediatoren. Die BRS verhindert normalerweise den Austritt von Flüssigkeit und Proteinen aus den retinalen Gefäßen und hält so die Homöostase aufrecht. Durch ihren Zusammenbruch kommt es zum Austritt von Proteinen aus den Gefäßen, welchen aufgrund des entstehenden Gradienten

Flüssigkeit passiv folgt. Dabei reagiert die Makula besonders anfällig auf Störungen der Homöostase und es kommt in diesem Bereich schneller zu einer Dekompensation. Zum einen, da in diesem Bereich die höchste metabolische Aktivität der Retina besteht und zum anderen, da aufgrund der fovealen avaskulären Zone die für die Resorption der intraretinalen Flüssigkeit wichtigen retinalen Gefäße fehlen (Scholl et al. 2010). Durch die wiederum starke Perfusion des perifovealen Areals können die Entzündungsmediatoren die BRS schädigen, in die Makularegion diffundieren und dort ein Ödem auslösen. Neben der extrazellulären Flüssigkeitsansammlung kann es auch zu intrazellulären Ödemen kommen. Durch Herunterregulierung von Kaliumkanälen kommt es zur intrazellulären Anhäufung von Kalium in den betroffenen Müllerzellen, woraufhin vermehrt Flüssigkeit in die Zelle gezogen wird und diese anschwillt. Normalerweise sind wiederum die Müllerzellen für die Resorption intraretinaler Flüssigkeit zuständig (Bringmann et al. 2004; Ascaso et al. 2014). Durch das Anschwellen der Zellen werden weitere Stoffe freigesetzt, die die BRS schädigen. Das postoperative zystoide Makulaödem entsteht in der Regel innerhalb von 3 – 12 Wochen postoperativ, kann jedoch auch mit einigen Monaten Verzögerung auftreten (Zur et al. 2011; Bertelmann et al. 2012). Durch die Aufwölbung der Netzhaut in Folge des Ödems bilden sich Lücken zwischen den Sinneszellen. Bei langanhaltendem Ödem kann es durch die andauernde Verdrängung der Neurone zur Apoptoseinduktion kommen. Dies äußert sich in Form einer Visusverschlechterung sowie durch Auftreten von verzerrter Wahrnehmung oder Skotomen.

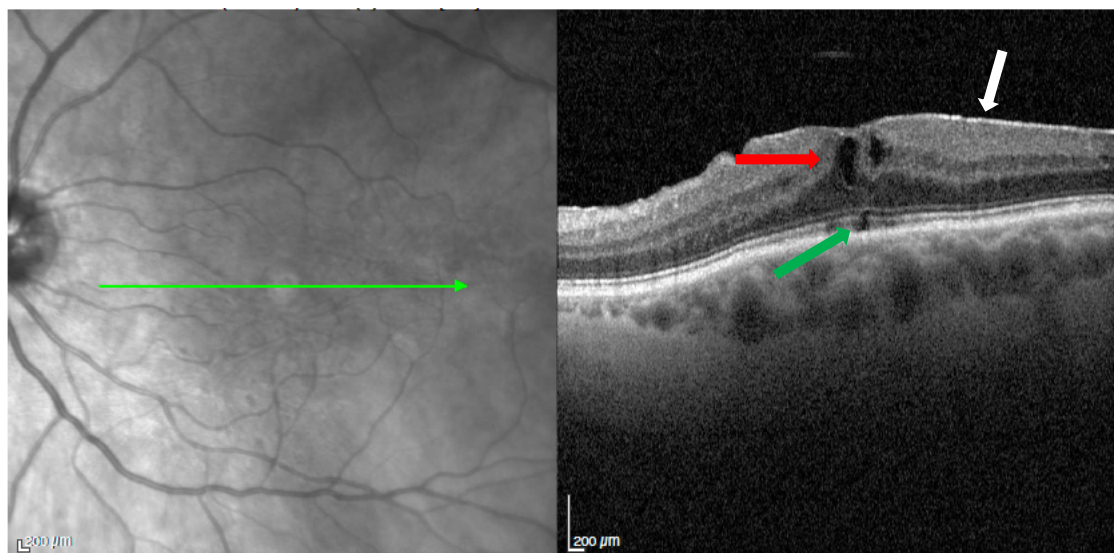


Abbildung 9: OCT-Schnittbild - Makulaödem

(Universitätsmedizin Göttingen, Augenklinik, Studienpatient PM-03)

Linkes Bild: Infrarotbild mit grüner horizontaler OCT-Scanlinie im Bereich der Makula/Fovea
Rechtes Bild: Korrespondierender horizontaler OCT-Scan mit erkennbarem zystoidem Makulaödem (roter Pfeil), darüberliegender geringer epiretinärer Gliose (weißer Pfeil), sowie einer gut erkennbaren Unterbrechung der ELM (grüner Pfeil).

1.5 Fragestellung und Zielsetzung

In dieser retrospektiven Studie soll das langfristige funktionelle Ergebnis nach erfolgreicher operativer Versorgung einer Netzhautablösung untersucht werden. Ein besonderes Interesse gilt dabei der Häufigkeit und der Ausprägung einer Metamorphopsie. Zudem wird zur Erfassung potenzieller Alltagseinschränkungen der Lesevisus und die Lesegeschwindigkeit bestimmt. Schließlich soll festgestellt werden, ob sich bezüglich des langfristigen Ergebnisses Unterschiede hinsichtlich der beiden meist angewandten Operationsverfahren feststellen lassen.

Hierzu erfolgt bei erfolgreich operierten Patienten mit durchgemachter rhegmatogener Netzhautablösung und Makulabeteiligung eine zusätzliche Untersuchung mindestens sechs Monate nach der Operation. Es wurden explizit nur Patienten berücksichtigt, deren Netzhautablösung die Makula miteingeschlossen hatte, da vor allem bei diesen Metamorphopsie zu erwarten war. Die Metamorphopsie wurde qualitativ und quantitativ erfasst und jeweils mit der Operationsmethode korreliert.

2 Patienten und Methoden

2.1 Ethikvotum

Der Antrag 15/12/17 wurde durch die Ethik-Kommission der Universitätsmedizin Göttingen durch ein positives Votum bestätigt. Weder ethische noch rechtliche Belange wurden geäußert.

2.2 Studienplan und Patientenrekrutierung

Für die Studie war eine Anzahl von 50 Patienten vorgesehen, die aufgrund einer Netzhautablösung mit Makulabeteiligung in der Augenlinik der Universitätsmedizin Göttingen operiert wurden. Dabei sollte eine etwa gleichmäßige Verteilung der Patienten auf die jeweiligen Operationsverfahren vorliegen.

Die Rekrutierung erfolgte retrospektiv anhand der vorhandenen Patientendaten der Augenlinik der Universitätsmedizin Göttingen. Die Akten der Patienten, die aufgrund der ICD H33.0 in Behandlung waren wurden gesichtet. Die Patienten, die nach ausführlicher Durchsicht der Akten für eine Teilnahme an der Studie in Frage kamen, wurden schriftlich über die Möglichkeit der Studienteilnahme informiert und anschließend telefonisch kontaktiert. Hierbei wurde das Interesse zur Studienteilnahme abgefragt sowie etwaige offene Fragen adressiert.

Nach schriftlicher Einwilligung erfolgte eine einmalige Untersuchung in der Poliklinik der Augenlinik, wobei ein zeitlicher Mindestabstand der Nachuntersuchung zur Operation von sechs Monaten zu beachten war. Die präoperativen Untersuchungsergebnisse, wie Visus und OCT, sowie die Informationen zur jeweiligen Operation wurden der Patientenakte entnommen. Zur Bewertung möglichst vieler Aspekte des funktionellen Ergebnisses beinhaltete die Nachuntersuchung nicht nur die Erfassung eines bestkorrigierten Visus, sondern auch die Durchführung der unten beschriebenen Untersuchungen zur Erfassung von Metamorphopsie, sowie eines Testes zur Erfassung der Lesegeschwindigkeit. Dem Lesen kommt im Alltag eine sehr große Bedeutung zu. Lesevermögen wird erst ab einer Sehschärfe von >0.3 erreicht. Daher ist dieser Parameter ein sehr

patientenrelevanter Endpunkt, der hier zusätzlich erfasst werden sollte. Zur Korrelation mit morphologischen Veränderungen erfolgte eine bildgebende Untersuchung der Netzhaut mittels OCT- und Multicolor-Technik – inklusive Vermessung der zentralen Netzhautdicke – sowie eine vollständige klinische Untersuchung aller Augenabschnitte insbesondere des Augenhintergrundes. Da die OCT-Bild-Aufnahme mittels Infrarot-Technik auch bei enger Pupille möglich war, mussten die Untersuchungen nicht zwingend in vollständiger Mydriasis stattfinden.

2.2.1 Einschlusskriterien

Alle Patienten, die im Zeitraum von Januar 2017 bis Februar 2019 in der Augenklinik der Universitätsmedizin Göttingen aufgrund einer rhegmatogenen *Ablatio retinae* mit Makulabeteiligung mittels PPV oder Buckelchirurgie operativ erfolgreich versorgt wurden, konnten an der Studie teilnehmen. Die Operation musste zum gegebenen Zeitpunkt mindestens sechs Monate zurückliegen. Weitere Voraussetzungen waren ein Mindestalter von 18 Jahren und die schriftliche Einverständniserklärung.

2.2.2 Ausschlusskriterien

Patienten, die präoperativ dokumentierte andere Augenerkrankungen hatten, welche die Sehschärfe oder die Entstehung von Metamorphopsien beeinflussen, konnten nicht in die Studie aufgenommen werden. Hierzu zählen insbesondere Makulopathien (AMD, diabetische Retinopathie, Makulaforamen), Glaukomerkrankungen und vorbekannte Veränderungen der Netzhaut (stark ausgeprägte proliferative Vitreoretinopathie, vorbekannte epiretinale Gliose). Auch eine *Re-Ablatio*, sowie die intraoperative Verwendung von Silikonöl als Tamponade stellen Ausschlusskriterien dar.

2.3 Untersuchungen

2.3.1 Bestkorrigierte Sehschärfe (BCVA)

Unter der Sehschärfe (Visus) versteht man die Fähigkeit des Auges zwei Objektpunkte bei adäquater Refraktionsfehlerkorrektur getrennt wahrzunehmen (Grehn 2012). Bei der Testung des bestkorrigierten Visus erfolgt eine bestmögliche Brillenkorrektur für den Patienten. Im Fall einer erfolgten Operation der Netzhautablösung ist dies besonders relevant, da sich die Brechkraft des Auges durch die Intervention verändern kann. Mithilfe des Autorefraktometers und anhand von bekannten Vorwerten des Patienten wurde eine passende Glaslinse zum bestmöglichen Ausgleich der Fehlsichtigkeit ermittelt, sodass die Testung bei maximaler individueller Sehkraft durchgeführt werden kann. Die Glaslinse wird bei der monokularen Testung vor das entsprechende Auge gehalten, das jeweils andere Auge wird abgedunkelt. Für den Ablauf der Testung sind Normwerte hinsichtlich der Beleuchtung und der Sehtafeln vorgegeben. Im Rahmen dieser Studie wurden die im Rahmen von Studien bewährten ETDRS-Tafeln verwendet (Abbildung 10). Der Begriff ETDRS kommt von der ersten Anwendung dieser Tafeln im Rahmen der „*Early Treatment Diabetic Retinopathy Study*“.

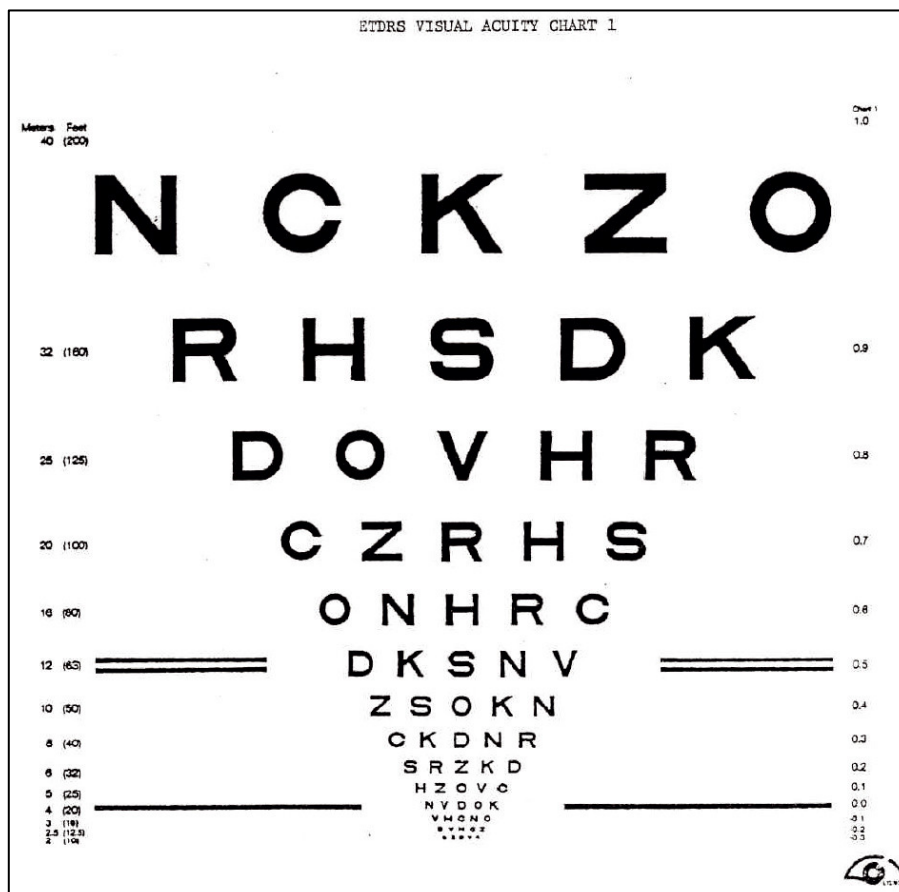


Abbildung 10: ETDRS-Tafel zur Visusbestimmung

(Community Eye Health Journal 2012, Genehmigung von Flickr, Verwendung unter einer CC BY-NC 4.0 Lizenz, <https://www.flickr.com/photos/communityeyehealth/7371293166/in/dateposted/>)

Der Patient wird aufgefordert die Buchstaben aus einem Abstand von vier Metern vorzulesen. Ist dies nicht möglich, z.B. wenn der Patient eine Mindestanzahl an Buchstaben nicht lesen kann, wird der Abstand auf einen Meter verkürzt. Dies wird in der späteren Berechnung anhand eines Korrekturfaktors berücksichtigt.

Aus der Buchstabenanzahl ergibt sich die Sehkraft, welche in Form einer Dezimalzahl oder als logMAR-Wert angegeben wird. LogMAR bezeichnet den Logarithmus der visuellen Auflösungsschärfe („*minimum angle of resolution*“). Es ist möglich, die Werte untereinander umzurechnen. Für diese Studie haben wir uns an den in Tabelle 1 aufgelisteten Werten orientiert, um die präoperativ in Dezimalzahlen bestimmten Visuswerte umzurechnen und die klinisch üblichen Visusbezeichnungen FZ (Finger zählen), HBW (Handbewegungen) und LS (Lichtschein) durch entsprechende logMAR-Werte zu ersetzen.

Tabelle 1: Umrechnungstabelle Visusbestimmung

Dezimal	Buchstaben	logMAR	Dezimal	Buchstaben	logMAR
1,6	95	-0,20	0,1	35	1,00
1,25	90	-0,10	0,08	30	1,10
1,0	85	0,00	0,06	25	1,20
0,8	80	0,10	0,05	20	1,30
0,63	75	0,20	0,04	15	1,40
0,5	70	0,30	0,032	10	1,50
0,4	65	0,40	0,025	5	1,60
0,32	60	0,50	0,02		1,70
0,25	55	0,60	0,016		1,80
0,2	50	0,70	FZ		1,90
0,16	45	0,80	HBW		2,30
0,125	40	0,90	LS		2,70

(Eigene Darstellung)

Werte in Anlehnung an <https://michaelbach.de/sci/acuity.html>, abgerufen am 24.02.2021

2.3.2 Amsler-Gitter

Zur qualitativen Erfassung einer Metamorphopsie verwendeten wir das Amsler-Gitter. Es stellt eine einfache und häufig verwendete Möglichkeit dar, Metamorphopsie zu erfassen. Insbesondere in der Verlaufsbeobachtung bei AMD findet dieser Test häufig Anwendung, da Patienten ihn auch zu Hause zur Selbsttestung durchführen können.

Wir verwendeten die Variante des Gitters mit schwarzem Druck auf weißem Untergrund (Abbildung 11). Der Test wurde monokular und mit Nahkorrektur durchgeführt, das heißt der Patient wurde dazu aufgefordert ein Auge mit seiner Hohlhand zu verdecken. Brillenträger bekamen eine Abdeckung vor das nicht getestete Auge positioniert. Das Gitter wurde dem Patienten bei ausreichender Beleuchtung in etwa 30cm Abstand präsentiert. Die Aufgabe des Patienten war

es, den in der Mitte des Gitters befindlichen Punkt zu fixieren. Wurden die umgebenden Linien als verzerrt wahrgenommen, so war der Test positiv. Waren die Linien für den Patienten gerade, so fiel der Test negativ aus.

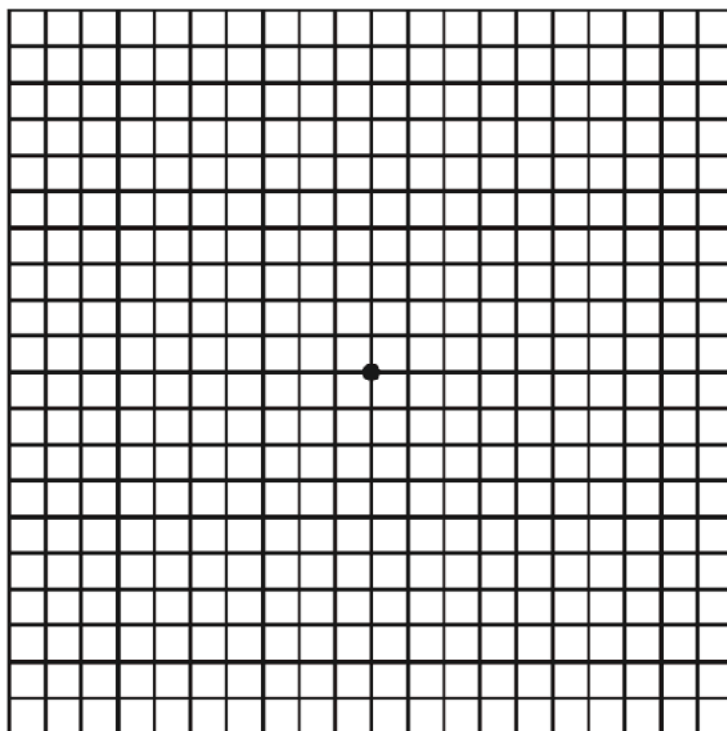


Abbildung 11: Amsler-Gitter

2.3.3 M-CHARTS

Patienten mit Metamorphopsie nehmen gerade Linien irregulär oder kurvig verzerrt wahr. Basierend auf dem Phänomen, dass bei Verwendung gepunkteter Linien und zunehmender Vergrößerung des Punktabstandes die Metamorphopsie weniger wird, bis sie ganz verschwindet, entwickelten Matsumoto et al im Jahr 1999 die M-CHARTS (Inami Co., Tokio, Japan) zur Quantifizierung einer Metamorphopsie (Matsumoto et al. 2003).

Es gibt zwei Typen von M-CHARTS: den aus einer Linie bestehenden Typ I und den aus zwei parallelen Linien bestehenden Typ II (Wada et al. 2017). Wir verwendeten in dieser Studie die M-CHARTS Typ I. Sie bestehen aus einer durchgezogenen geraden Linie sowie 19 gepunkteten Linien mit Punktabständen zwischen $0,2^\circ$ und $2,0^\circ$ Blickwinkel. Es hat sich gezeigt, dass mit zunehmendem

Punktintervall die Linien für Patienten, die die durchgezogene gerade Linie fälschlicherweise kurvig wahrnehmen, gerader erscheint (Matsumoto et al. 2003). Anhand dieser Linien kann in vertikaler und horizontaler Ausrichtung ein Wert für das Maß der Metamorphopsie des jeweiligen Patienten erfasst werden, der sogenannte M-Score (MH = vertikaler M-Score, MV = horizontaler M-Score, Abbildung 12). Dafür bekommt der Patient die M-CHARTS bei ausreichender Raumbelichtung in einem Abstand von etwa 30cm präsentiert, der Test wird dabei monokular und mit Nahkorrektur durchgeführt. Im Zentrum jeder der Linien befindet sich ein Fixationspunkt mit $0,3^\circ$, welchen der Patient fixieren soll. Begonnen wird mit einer durchgezogenen Linie, entsprechend $0,0^\circ$, in vertikaler Ausrichtung. Empfindet der Patient bereits diese Linie als gerade, so ist der M-Score 0° , es besteht also keine Metamorphopsie. Wird die Linie verzerrt wahrgenommen, so werden die folgenden Linien präsentiert, bis der Patient eine entsprechende Linie als gerade bezeichnet. Dabei werden die Punktintervalle immer größer und der entsprechende Blickwinkel der Linie, die vom Patienten als gerade wahrgenommen wird, ist als der sogenannte M-Score zu werten. Somit fällt der M-CHART positiv aus, sobald ein Wert zwischen $0,2^\circ$ und $2,0^\circ$ erfasst werden kann. Anschließend wird das Testheft um 90° gedreht und die Linien werden dem Patienten in horizontaler Ausrichtung präsentiert. Der gesamte Ablauf wurde zweimal durchgeführt und für die statistische Auswertung wurde der Mittelwert aus beiden Ergebnissen verwendet.

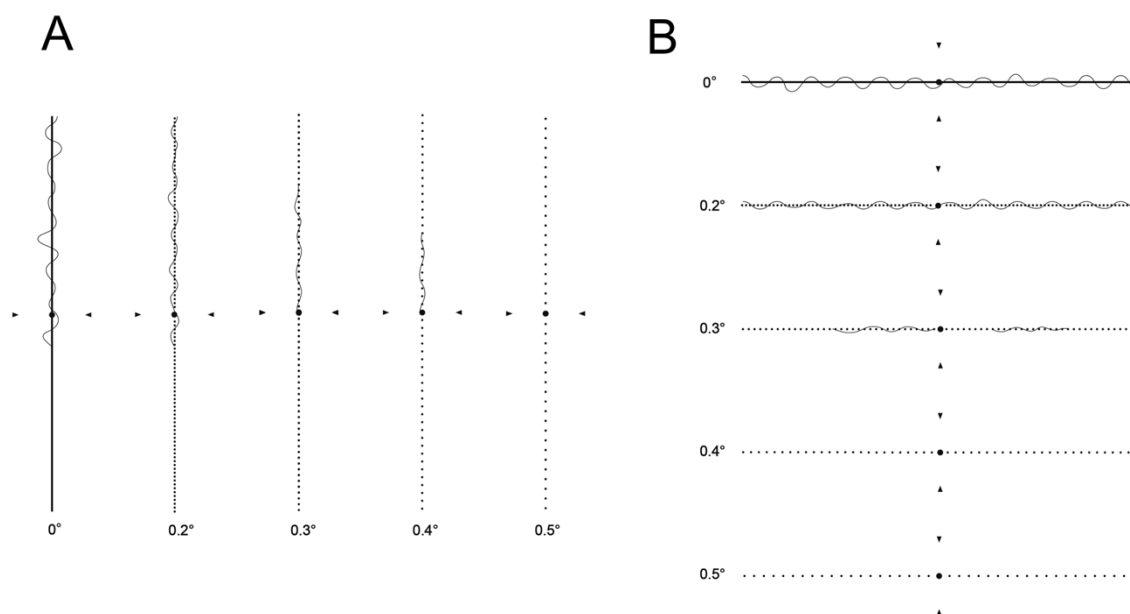


Abbildung 12: M-CHARTS

(Manabe et al. 2016), Verwendung unter einer CC BY-NC 4.0 Lizenz.

A: Beispiel für M-CHARTS in vertikaler Ausrichtung zur Bestimmung des MV, hier 0,5°

B: Beispiel für M-CHARTS in horizontaler Ausrichtung zur Bestimmung des MH, hier 0,4°.

2.3.4 OCT- und Multicolor-Untersuchung

Zur Erfassung möglicher morphologischer Ursachen der Metamorphopsie, insbesondere auch im Bereich der Makula wurde die OCT durchgeführt (Abbildung 8, Abbildung 9). Es wurde ermittelt, ob epiretinale (epiretinale Gliose), intraretinale (Unterbrechungen der *external limiting membrane* (ELM) oder der *inner segment/outer segment line* (IS/OS), Makulaödem, Makulaforamen) oder subretinale (neurosensorische Abhebungen, RPE-Defekte) Veränderungen bestehen. Zudem wurde die foveale Dicke bestimmt, welche als Durchschnittsdicke im zentralen Netzhautbereich (Durchmesser von 1000 μ m) definiert ist (Abbildung 13).

Zur Betrachtung des Fundus und Beurteilung retinaler Gefäßverziehungen ergänzten wir die Untersuchung um eine MultiColor-Aufnahme. Die Scanning-Laser-Bildgebung mittels MultiColor basiert auf der Anwendung von Lasern mit drei verschiedenen Wellenlängen (Infrarot 815nm, Grün 518nm, Blau 488nm). Dadurch werden Aufnahmen der einzelnen verschieden tief liegenden Schichten der Netzhaut ermöglicht (Netzhautoberfläche, Netzhautgefäße, RPE). Die entstandenen Bilder können einzeln oder als zusammengesetztes detailreiches Farbfoto betrachtet werden (Abbildung 14). So können Veränderungen dargestellt werden, welche mittels Funduskopie oder Fundusfotographie nicht gut

erkennbar sind (Heidelberg Engineering). Wir verwendeten ausschließlich das Gerät von Heidelberg Engineering SPECTRALIS mit Multicolor-Modul.

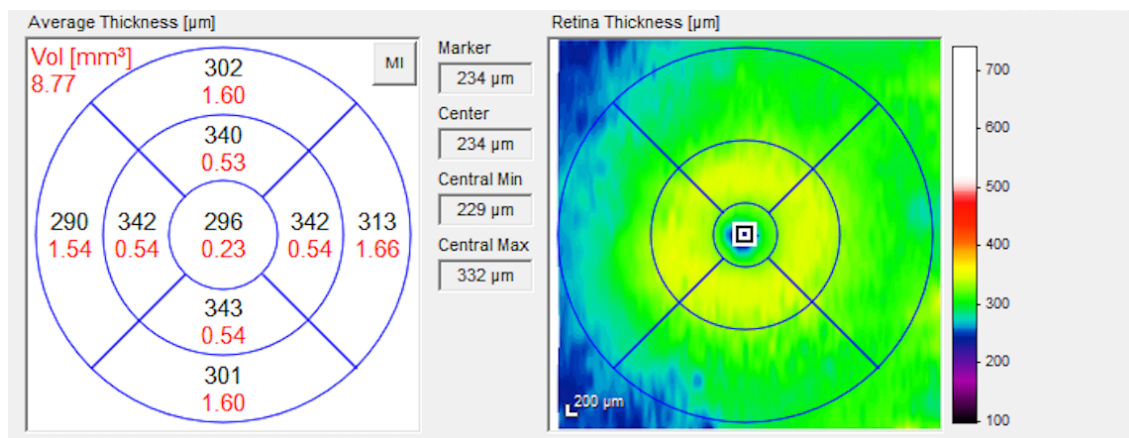


Abbildung 13: Netzhautdickenmessung mittels OCT

(Universitätsmedizin Göttingen, Augenklinik, Studienpatient PM-50)

Linkes Bild: Durchschnittliche Dickenmessung (schwarze Zahlen) und Volumen (rote Zahlen). Der mittlere Kreis stellt den Bereich der Makula dar.

Rechtes Bild: Darstellung der retinalen Dicke farblich hinterlegt. Jeder Netzhautdicke ist eine Farbe zugeordnet, die entsprechende Farbskala ist rechts neben dem Übersichtsbild abzulesen.



Abbildung 14: MultiColor-Aufnahme - epiretinale Gliose

(Universitätsmedizin Göttingen, Augenklinik, PM-18)

Im zentralen Bereich der Netzhaut sind grünlich/bläuliche Gliosereflexe sowie Verziehungen bzw. Fältelungen der perimakulären Netzhaut zu erkennen.

2.3.5 Radner-Lesetafeln

Mithilfe der Radner-Lesetafeln ist es möglich die Lesegeschwindigkeit sowie einen Lesevisus zu ermitteln. Die Testsätze sind hinsichtlich der Schwierigkeit vergleichbar gestaltet. Jeder enthält drei Zeilen, 14 Wörter und 22 bis 24 Silben (Radner et al. 1998). Ein Beispielsatz lautet:

**„Vor der Einfahrt stand lange
der Kleinwagen, der auch uns
gute Dienste geleistet hatte.“**

Die Zeichengrößen sind logarithmisch abgestuft und werden als logRAD-Wert für die jeweilige Prüfdistanz definiert. Die Lesegeschwindigkeit (Wörter pro Minute) lässt sich aus der für den jeweiligen Satz benötigten Zeit (in Sekunden) mithilfe der folgenden Formel berechnen: $\frac{14}{\text{Sekunden}} \times 60 = \frac{840}{\text{Sekunden}}$.

Im Fall dieser Studie wurde den Patienten die Lesetafel in einem Abstand von 32cm präsentiert. Der Test wurde zuerst mit dem rechten, dann mit dem linken Auge und zuletzt mit beiden Augen jeweils mit entsprechender Nahkorrektur durchgeführt. Die Sätze wurden einzeln angeboten, nachfolgende Sätze waren verdeckt. Der Patient wurde aufgefordert den Satz so schnell und fehlerfrei wie möglich zu lesen. Sobald der zu lesende Satz aufgedeckt wurde, wurde die Zeit gestoppt. Sobald ein Satz nicht mehr innerhalb von 20 Sekunden gelesen werden konnte, wurde der Test beendet. Der logRAD-Wert des letzten Satzes, der innerhalb von 20 Sekunden gelesen werden kann, stellt den individuellen Lesevisus des Patienten dar und kann dem Fernvisus (logMAR) gegenübergestellt werden.

2.4 Statistische Methoden

Die Daten wurden in Kooperation mit der wissenschaftlichen Serviceeinheit Medizinische Biometrie und Statistische Bioinformatik der Universitätsmedizin Göttingen analysiert.

Für die erhobenen Variablen wurden zunächst deskriptive Werte (Mittelwert \pm Standardabweichung, Median mit Minimum und Maximum, absolute/relative Häufigkeiten) berechnet.

Anschließend wurden die Variablen zwischen den beiden Gruppen (PPV vs. Buckelchirurgie und Metamorphopsie vorhanden vs. Metamorphopsie nicht vorhanden) mittels Welch-Two-Sample-t-Test oder Fishers Exact Test verglichen. Der Zusammenhang zwischen Visus und Metamorphopsie (M-Score) bzw. Lesevisus wurde mittels Pearsons Korrelationskoeffizient quantifiziert und auf Signifikanz getestet.

Es erfolgte eine Adjustierung des p-Wertes nach Holm für multiples Testen. In allen statistischen Tests wurde das Signifikanzniveau auf $\alpha = 5\%$ ($p < 0,05$) gesetzt. Alle Analysen wurden mit der statistischen Programmierumgebung R (Version 3.6.2; R Core Team 2018) durchgeführt.

2.5 Archivierung und Datenschutz

Die Befunde der präoperativen Diagnostik, der Operation sowie des postoperativen Verlaufs sind Bestandteil der Patientenakte und unterliegen dem Datenschutz. Patienten, die der Teilnahme an der Studie zugestimmt haben, wurden durch eine vierstellige Buchstaben-Zahlen-Kombination pseudonymisiert. Außer Geburtsdatum und Geschlecht war die Zuordnung der Daten nur mittels der Verschlüsselungsmethode möglich. Die entsprechende Entschlüsselung war nur durch die an der Studie beteiligten Mitarbeiter möglich. Dritte erhielten keinen Einblick in die Originalunterlagen. Die Untersuchungsergebnisse wurden dokumentiert und auch nach Studienabschluss gemäß der Datenschutzvorgaben aufbewahrt.

3 Ergebnisse

Aus der Durchsicht der Patientenakten ergaben sich 137 Patienten, welche schriftlich über die Möglichkeit der Studienteilnahme informiert wurden. Bereits die telefonische Kontaktaufnahme war nicht bei allen diesen Patienten möglich. Von den kontaktierten Patienten war es einem erheblichen Anteil nicht möglich, an der Studie teilzunehmen. Gründe hierfür waren vor allem die weite Anreise, keine Transportmöglichkeit, fehlende Zeit der Patienten, fortgeschrittenes Alter – häufig verbunden mit anderen Erkrankungen – oder fehlende Motivation an der Studie teilzunehmen. Schließlich konnten im Zeitraum von Februar 2019 bis Januar 2021 51 Augen von 50 Patienten in die Studie eingeschlossen und in der Augenklinik untersucht werden. Aufgrund von widersprüchlichen Informationen hinsichtlich des präoperativen Makulastatus musste ein Patient nachträglich aus der Studie ausgeschlossen werden. Somit konnten schließlich die Datensätze von 50 Augen (49 Patienten) analysiert werden. Die Operationen wurden von fünf erfahrenen Netzhautchirurgen der Augenklinik durchgeführt.

Insgesamt wurden 30 Augen mittels PPV (6 mit zusätzlicher Cerclage) operiert. Dabei wurde in den 24 Fällen einer reinen PPV ein 25G-Vitrektomie-System verwendet, in den 6 Fällen mit zusätzlicher Cerclage verwendete der Operateur ein 20G-System. In insgesamt drei Fällen erfolgte ein gleichzeitiger Linsenaustausch. Wenn im Rahmen einer Vitrektomie eine Endotamponade verwendet wurde, so war dies meist ein Luft-Gas-Gemisch. Als Luft-Gas-Gemisch wurden dabei 15% – 20% C_2F_6 bzw. 20% oder 25% SF_6 -Gas verwendet. Pures SF_6 -Gas (0,4-0,5ml) wurde nur bei konventioneller Buckelchirurgie verwendet. In 29 von 30 Fällen wurde PFCL zur intraoperativen Netzhautanlage angewendet. In allen Fällen erfolgte zudem die Endolaser- und/oder Kryopexie-Anwendung.

Mittels alleiniger externer Buckelchirurgie wurden insgesamt 20 Patienten versorgt, davon 13 mittels Plombe (radiär oder limbusparallel) und 7 mittels Cerclage. In allen Fällen erfolgte eine subretinale Punktion mit externer Drainage der dort befindlichen Flüssigkeit, sowie die Anwendung von Kryopexie.

Bei allen in die Studie eingeschlossenen Patienten kam es zu einer primären Netzhautanlage, in keinem der Fälle war eine erneute Operation notwendig.

Die Untersuchungen fanden im Durchschnitt 1,9 ($\pm 0,33$) Jahre nach der erfolgten Operation statt. Der kürzeste Abstand betrug ein Jahr, der größte zeitliche Abstand betrug 2,7 Jahre.

3.1 Basischarakteristika der Patienten

Insgesamt wurden 31 Männer (62%) und 19 Frauen (38%) in die Studie eingeschlossen. Auf die beiden Operationsmethoden bezogen wick die Verteilung etwas ab. In der PPV-Gruppe war der Anteil der Männer etwas höher (66,7%), in der Buckelchirurgie-Gruppe hingegen niedriger (55%) (Tabelle 2).

Tabelle 2: Geschlechterverteilung nach OP-Verfahren

	Gesamt	PPV	Buckelchirurgie	P-Wert
Geschlecht				0,55
Männlich (%)	31 (62%)	20 (66,7%)	11 (55%)	
Weiblich (%)	19 (38%)	10 (33,3%)	9 (45%)	

(Fisher's Exact Test)

Das durchschnittliche Lebensalter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation betrug 65 Jahre. Der größte Anteil der Patienten war zwischen 56 und 74 Jahre alt (Mittelwert \pm Standardabweichung). Patienten, die mittels PPV operiert wurden, waren im Durchschnitt etwas älter (66 ± 10 Jahre). Hingegen waren die mittels Buckelchirurgie versorgten Patienten etwas jünger ($63 \pm 7,7$ Jahre). Der jüngste Patient war 46 Jahre alt und wurde vitrektomiert, der älteste war 85 Jahre und skleraeindellend therapiert (Tabelle 3).

Tabelle 3: Alter zum Operationszeitpunkt nach OP-Verfahren

	Gesamt	PPV	Buckelchirurgie	P-Wert
Alter zum OP-Zeitpunkt				0,35
Mittelwert (\pm SD)	65 ($\pm 9,1$)	66 (± 10)	63 ($\pm 7,7$)	
Median (Min; Max)	65 (46; 85)	65 (48; 85)	65 (46; 75)	

(Welch Two Sample t-test)

Bei etwa zwei Drittel der Patienten (68%) war das linke Auge von der Netzhautablösung betroffen. Beim übrigen Drittel (32%) betraf die *Ablatio* das rechte Auge. Auch bei einzelner Betrachtung der jeweiligen Operationsmethode zeigte sich eine vergleichbare Verteilung bezüglich des betroffenen Auges (Tabelle 4).

Tabelle 4: Seitenverteilung des betroffenen (Studien-)Auges nach OP-Verfahren

OP-Auge	Gesamt	PPV	Buckelchirurgie
Rechtes Auge (%)	16 (32 %)	10 (33,3%)	6 (30%)
Linkes Auge (%)	34 (68%)	20 (67,7%)	14 (70%)

Insgesamt waren 56% der Patienten zum Zeitpunkt der Netzhautablösung noch im Besitz ihrer eigenen Linse, während bei 44% der Patienten bereits eine Kataraktoperation durchgeführt worden war. Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden ($p < 0,01$). Alle Patienten (100%), die mittels Buckelchirurgie versorgt wurden, besaßen zum Zeitpunkt der Operation ihre eigene Linse. In der PPV-Gruppe war dies nur bei 26,7% der Patienten der Fall. 73,3% der vitrektomierten Patienten war zum Zeitpunkt der Operation bereits pseudophak (Tabelle 5).

Tabelle 5: Linsenstatus präoperativ nach OP-Verfahren

	Gesamt	PPV	Buckelchirurgie	p-Wert
Linsenstatus				<0,01
Phak (%)	28 (56%)	8 (26,7%)	20 (100%)	
Pseudophak (%)	22 (44%)	22 (73,3%)	0 (0%)	

(Fisher's Exact Test)

3.2 Visus

Der durchschnittliche präoperative Visus (Tabelle 6) lag bei 1,8 logMAR (entspricht 0,016 dezimale Sehschärfe), in der PPV-Gruppe war er mit 1,9 logMAR (entspricht FZ) etwas schlechter, in der Buckelchirurgie-Gruppe mit 1,7 logMAR

(entspricht 0,2 dezimale Sehschärfe) etwas besser. Insgesamt war der präoperative Visus bei 64% der Patienten FZ, HBW oder LS. Der beste präoperativ festgestellte Visus war 0,2 logMAR (entspricht 0,63 dezimale Sehschärfe), der schlechteste betrug 2,7 logMAR (entspricht LS). Der Großteil des Patientenkollektivs lag im Bereich zwischen 1,1 und 2,5 logMAR (Mittelwert \pm Standardabweichung).

Bei der im Rahmen der Studie durchgeführten Nachuntersuchung lag der durchschnittliche Visus in der Gesamtgruppe bei 0,24 logMAR (entspricht etwa 0,63 dezimale Sehschärfe). Der Höchstwert lag dabei bei -0,2 logMAR (entspricht 1,63 dezimale Sehschärfe), der niedrigste Wert bei 1,0 logMAR (entspricht 0,1 dezimale Sehschärfe). Für die Vitrektomie-Gruppe ergab sich mit 0,15 logMAR (entspricht etwa 0,8 dezimale Sehschärfe) ein im Vergleich zur Gesamtgruppe besserer Wert, die Buckelchirurgie-Gruppe lag mit 0,36 logMAR (entspricht etwa 0,4 – 0,5 dezimale Sehschärfe) schlechter. Im Vergleich der beiden Operationsmethoden bezüglich der erhobenen langfristigen Visus-Ergebnisse ergab sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,01$). Nach Adjustierung der P-Werte verblieb dieser Unterschied mit $p = 0,06$ nicht signifikant.

Tabelle 6: Visusergebnisse (logMAR-Werte) nach OP-Verfahren

	Gesamt	PPV	Buckelchirurgie	P-Wert	Adj. P-Wert
logMAR präop				0,54	1,0
Mittelwert (\pm SD)	1,8 (\pm 0,69)	1,9 (\pm 0,73)	1,7 (\pm 0,65)		
Median (Min; Max)	2,3 (0,2; 2,7)	2,3 (0,2; 2,7)	1,9(0,6; 2,7)		
logMAR final				<0,01	0,06
Mittelwert (\pm SD)	0,24 (\pm 0,26)	0,15 (\pm 0,23)	0,36 (\pm 0,25)		
Median (Min; Max)	0,2 (-0,2; 1)	0,1 (-0,2; 1)	0,4 (0; 0,9)		

(Welch Two Sample t-test)

Insgesamt verbesserte sich der Visus um durchschnittlich -1,6 logMAR (Tabelle 7). Dabei betrug die stärkste Verbesserung -2,6 logMAR und die geringste -0,1 logMAR. Die durchschnittliche Visuentwicklung bzw. -verbesserung (Abbildung

15) war in der PPV-Gruppe am deutlichsten ausgeprägt. Hinsichtlich der Visusdifferenz zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Operationsmethoden.

Tabelle 7: Visusentwicklung (Differenz logMAR-Werte final/präoperativ)

	Gesamt	PPV	Buckelchirurgie	P-Wert	Adj. P-Wert
logMAR-Differenz				0,11	1,00
Mittelwert (\pm SD)	-1,6 (\pm 0,73)	-1,7 (\pm 0,73)	-1,4 (\pm 0,68)		
Median	-1,8	-1,9	-1,5		
(Min; Max)	(-0,1; -2,6)	(-0,1; -2,6)	(-0,1; -2,2)		

(Welch Two Sample t-test)

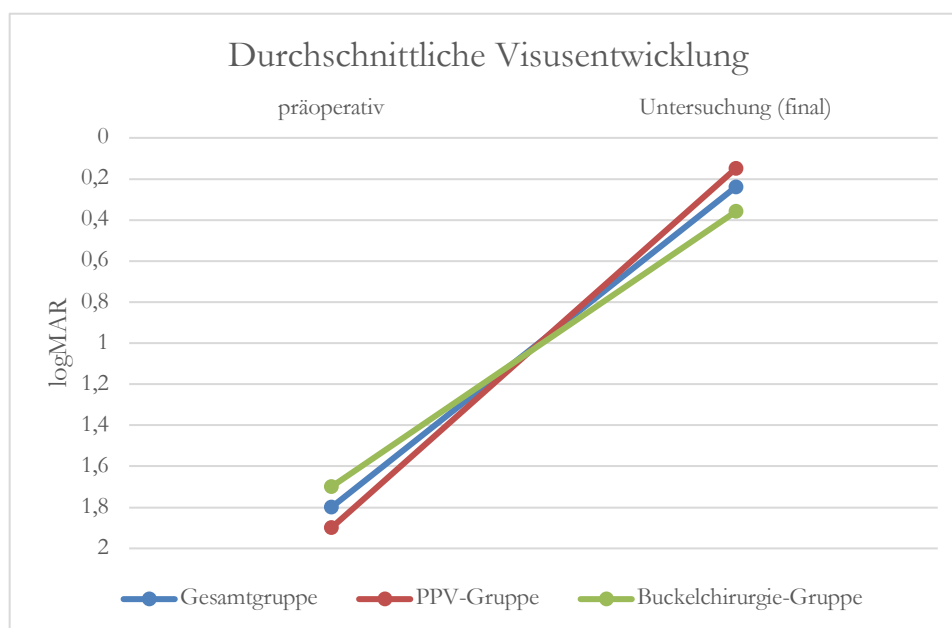


Abbildung 15: Durchschnittliche Visusentwicklung

3.3 Metamorphopsie

Insgesamt gaben zum Untersuchungszeitpunkt mehr als die Hälfte (62%) der Patienten an, im Amsler-Gitter Verzerrungen wahrzunehmen, das heißt, dass bei ihnen qualitativ eine Metamorphopsie festzustellen war (Tabelle 8). In der Buckelchirurgie-Gruppe war der Anteil der Patienten, bei denen eine Metamorphopsie

festzustellen war mit 65% nur geringfügig höher gegenüber der PPV-Gruppe mit 60%.

Tabelle 8: Metamorphopsie-Bestimmung qualitativ (Amsler-Gitter) nach OP-Verfahren

	Gesamt	PPV	Buckelchirurgie	P-Wert	Adj. P-Wert
Amsler-Gitter				0,77	1,00
Positiv (%)	31 (62%)	18 (60%)	13 (65%)		
Negativ (%)	19 (38%)	12 (49%)	7 (35%)		

(Fisher's Exact Test)

Bezüglich der Quantifizierung der Metamorphopsie (Tabelle 9) ergab sich ein durchschnittlicher vertikaler M-Score (MV) von $0,45^\circ$. Der geringste Wert entsprach 0° , also keinerlei Metamorphopsie, die stärkste Ausprägung betrug 2° . Der Großteil der Studienpatienten verblieb hinsichtlich des MV unter 1° . In der PPV-Gruppe war die Metamorphopsie in vertikaler Ausrichtung durchschnittlich minimal geringer (MV $0,44^\circ$) ausgeprägt, in der Buckelchirurgie-Gruppe minimal stärker (MV $0,48^\circ$). Der durchschnittliche horizontale M-Score (MH) betrug $0,34^\circ$. Das heißt, in horizontaler Ausrichtung war die Metamorphopsie im Durchschnitt etwas geringer ausgeprägt als in vertikaler. Die minimale (MH = 0°) und die maximale (MH = 2°) Ausprägung entsprach dabei den vertikalen Werten. In der horizontalen Betrachtung war die Metamorphopsie in der Gruppe der skleraeindellenden Operationsmethode durchschnittlich geringer (MH = $0,28^\circ$) und in der vitrektomierten Gruppe stärker (MH = $0,39^\circ$) ausgeprägt. Die Werte entsprachen einem Unterschied von etwa einer Linie der M-CHARTS. Insgesamt war die Metamorphopsie durchschnittlich in der vertikalen Ausrichtung stärker ausgeprägt (Abbildung 16). In der mittels skleraeindellender Methoden operierten Gruppe war der Unterschied am größten.

Bei 16 Patienten (32%) waren sowohl MH als auch MV 0° , was als Abwesenheit von Metamorphopsien zu werten ist. Das bedeutet wiederum, dass mittels M-CHARTS bei 68% der Patienten Metamorphopsie nachgewiesen wurde (MH und MV $\geq 0,2^\circ$). Für die beiden Operationsmethoden einzeln betrachtet wurde

mittels M-CHARTS bei 60% (n = 18) der PPV- und bei 80% (n = 16) der Buckelchirurgie-Gruppe Metamorphopsie festgestellt.

Tabelle 9: Metamorphopsie-Bestimmung quantitativ (M-CHARTS) nach OP-Verfahren

M-Score (°)	Gesamt	PPV	Buckelchirurgie	P-Wert	Adj. P-Wert
Vertikal (MV)				0,76	1,00
Mittelwert (± SD)	0,45 (± 0,52)	0,44 (± 0,58)	0,48 (± 0,41)		
Median (Min; Max)	0,4 (0; 2)	0,3 (0;2)	0,5 (0; 1,4)		
Horizontal (MH)				0,39	1,00
Mittelwert (± SD)	0,34 (± 0,48)	0,39 (± 0,53)	0,28 (± 0,41)		
Median (Min; Max)	0,2 (0; 2)	0,2 (0; 2)	0,1 (0; 1,5)		

(Welch Two Sample t-test)



Abbildung 16: M-Score - Ergebnisse nach OP-Verfahren

Bei 29 Patienten (58%) folgte auf einen positiven Amsler Test auch ein positiver M-CHARTS-Test. Davon waren 17 (58,6%) mittels Vitrektomie und 12 (41,4%) mittels skleraeindellender Methode operiert worden. In 2 Fällen (4%) wurde Metamorphopsie mittels Amsler erfasst, im M-CHARTS zeigte sich jedoch keine.

Umgekehrt konnte in 5 Fällen (10%) Metamorphopsie mittels des M-CHARTS nachgewiesen werden, nachdem der Amsler zuvor negativ ausgefallen war. In 14 Fällen (28%) waren sowohl Amsler als auch die M-CHARTS negativ, es ließ sich also weder qualitativ noch quantitativ Metamorphopsie nachweisen. Von den Patienten ohne jeglichen Nachweis wurden 12 (85,7%) mittels Vitrektomie und 2 (14,3%) mittels Buckelchirurgie versorgt.

Weder bezüglich der Ergebnisse des Amsler-Gitter-Tests, noch bezüglich der M-Score-Werte ließen sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Operationsmethoden feststellen.

3.4 OCT-Bildgebung

3.4.1 Netzhautmorphologie

Insgesamt zeigte das OCT-Schnittbild bei etwa einem Drittel der Patienten (n = 17; 34%) einen unauffälligen Befund und somit keinerlei Veränderungen. Von diesen 17 Patienten wurden 13 vitrektomiert (43,3% der PPV-Gruppe) und 4 mittels Buckelchirurgie (20% der Buckelchirurgie-Gruppe) behandelt. Von den Patienten mit strukturellen Netzhautveränderungen war die am häufigsten festgestellte Pathologie die epiretinale Gliose. Sie war bei fast zwei Drittel der Fälle (n = 31; 62%) in unterschiedlichem Ausprägungsgrad zu erkennen (Abbildung 17). Von diesen 31 Patienten waren 14 (70%) mittels skleraeindellender Operationsmethode (Abbildung 19) und 17 (56,7%) mittels Vitrektomie (Abbildung 18) versorgt worden. Neurosensorische Abhebungen oder ein Makulaforamen konnten bei keinem der Patienten nachgewiesen werden. Unterbrechungen der IS/OS-Schicht zeigten sich insgesamt in 7 Fällen (14%), davon waren drei 3 Patienten aus der PPV-Gruppe (10%) und vier Patienten aus der Buckelchirurgie-Gruppe (20%). Ein Makulaödem (n = 3; 6%), Unterbrechungen der ELM (n = 2; 4%) und RPE-Defekte (n = 4; 8%) konnten nur in wenigen Fällen nachgewiesen werden. Dabei traten Makulaödem und RPE-Defekte jeweils bei einem Patienten, der eine PPV in Kombination mit Cerclage erhalten hatte, auf. In allen anderen Fällen, in denen die genannten Pathologien (Makulaödem, ELM-Unterbrechungen, RPE-Defekte) auftraten, erfolgte eine buckelchirurgische Operation.

Zu beachten ist an dieser Stelle, dass ein Teil der Patienten nicht nur eine dieser Veränderungen aufwies, sondern eine Kombination aus zwei oder mehr Pathologien, wobei die epiretinale Gliose regelhaft eine Pathologie der Kombination darstellte. Beispielsweise zeigte sich bei drei Patienten sowohl eine epiretinale Gliose als auch Unterbrechungen der IS/OS-Schicht, zwei weitere Patienten hatten eine epiretinale Gliose und RPE-Defekte.

Für den statistischen Vergleich wurden die einzelnen Veränderungen in die Gruppen der epi-, intra- und subretinalen Veränderungen eingeordnet. Für keine der Gruppen zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Operationsmethoden hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens (Fisher's Exact Test; $p = 0,39$; $p = 0,13$; $p = 0,29$).

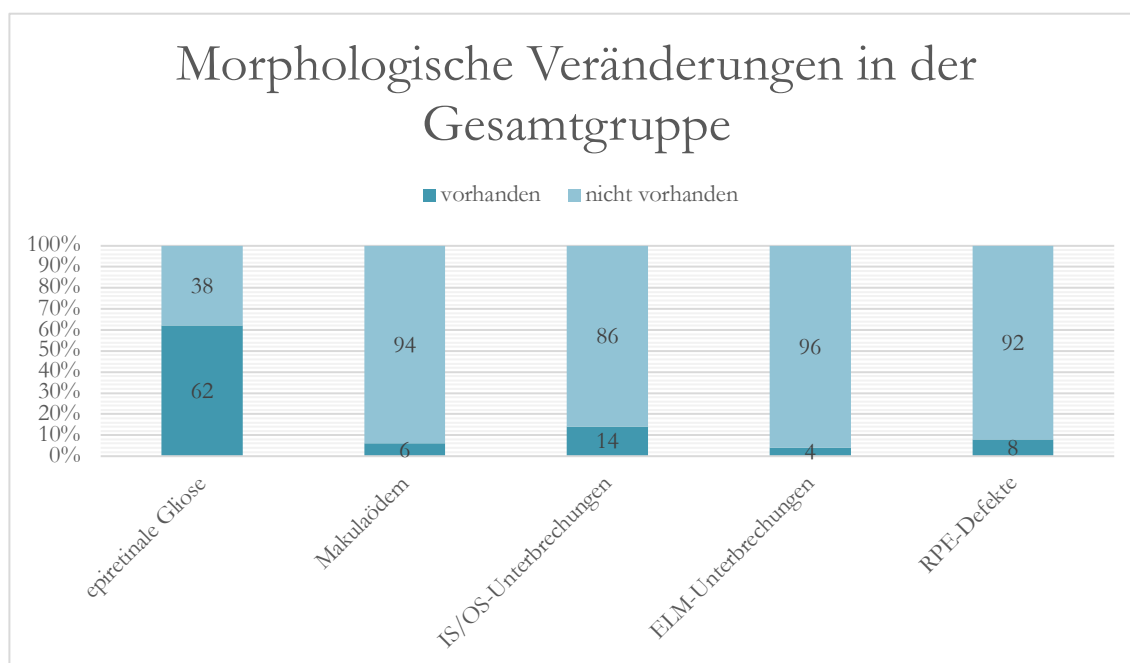


Abbildung 17: Morphologische Veränderungen in der Gesamtgruppe

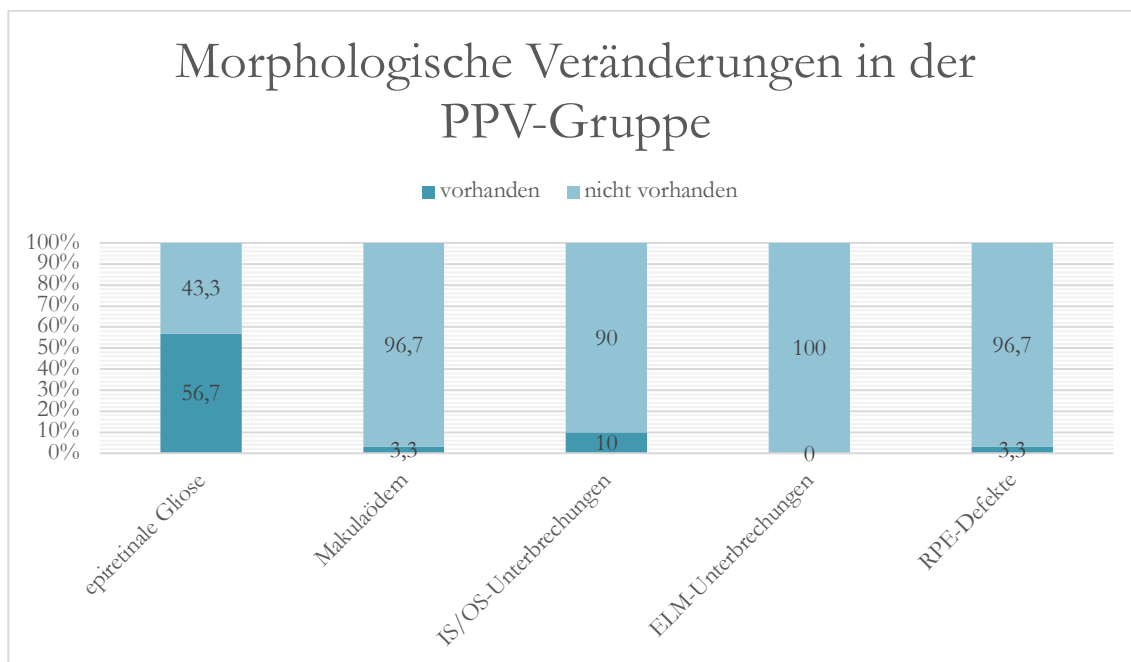


Abbildung 18: Morphologische Veränderungen in der PPV-Gruppe

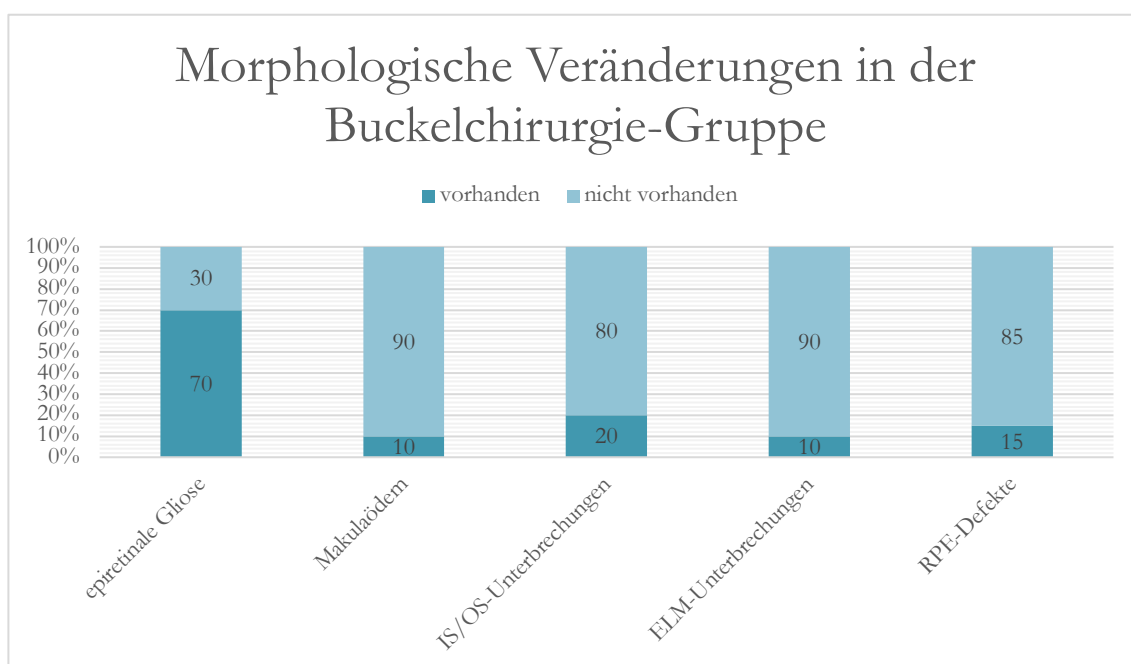


Abbildung 19: Morphologische Veränderungen in der Buckelchirurgie-Gruppe

3.4.2 Zentrale Netzhautdicke

Die durchschnittliche zentrale Netzhautdicke, welche mittels OCT gemessen wurde, ergab $307\mu\text{m}$ (Tabelle 10) und war somit etwas erhöht gegenüber dem Normalwert. Die geringste Netzhautdicke betrug $230\mu\text{m}$, die größte wiederum

betrug 619 μ m. Sowohl die dünnsten als auch die dicksten zentralen Netzhautwerte wurden nach erfolgter Buckelchirurgie gemessen. Die Durchschnittswerte waren in den beiden nach Operationsmethode getrennten Gruppen in etwa gleich, sodass sich kein signifikanter Unterschied feststellen ließ.

Tabelle 10: Zentrale Netzhautdicke (μ m) nach OP-Verfahren

	Gesamt	PPV	Buckelchirurgie	P-Wert	Adj. P-Wert
Zentrale				0,97	1,00
Netzhautdicke (μm)					
Mittelwert (\pm SD)	307 (\pm 67)	308 (\pm 49)	307 (\pm 89)		
Median	290	293	276		
(Min; Max)	(230; 619)	(235; 475)	(230; 619)		

(Welch Two Sample t-test)

3.5 Lesevisus und Lesegeschwindigkeit

Die Werte des Lesevisus und der Lesegeschwindigkeit für das operierte Auge konnten bei 48 Patienten erhoben werden, in zwei Fällen (beide aus der Buckelchirurgie-Gruppe) war die Durchführung der Testung nicht möglich. Die beiden betroffenen Patienten konnten bereits den aus nur drei Worten bestehenden Probesatz nicht lesen.

Der durchschnittliche Lesevisus (Tabelle 11) des betroffenen Auges betrug 0,61 logRAD. Der höchste Wert lag bei 0,1 logRAD und niedrigste Wert bei 1,2 logRAD. In der PPV-Gruppe war der durchschnittliche Lesevisus etwas besser (0,54 logRAD) und in der Buckelchirurgie-Gruppe etwas schlechter (0,74 log-RAD) als in der Gesamtgruppe. Es zeigte sich ein signifikant besserer Lesevisus in der Vitrektomie-Gruppe ($p = 0,01$). Nach Adjustierung war der Wert allerdings außerhalb des signifikanten Bereiches ($p = 0,16$).

Tabelle 11: Lesevisus (logRAD-Werte) nach OP-Verfahren

	Gesamt	PPV	Buckelchirurgie	P-Wert	Adj. P-Wert
logRAD				0,01	0,16
Mittelwert (\pm SD)	0,61 (\pm 0,25)	0,54 (\pm 0,2)	0,74 (\pm 0,27)		
Median (Min; Max)	0,6 (0,1; 1,2)	0,5 (0,1; 1,1)	0,75 (0,3; 1,2)		
Fehlende Werte	2	0	2		

(Welch Two Sample t-test)

Die durchschnittliche Lesegeschwindigkeit (Tabelle 12) für den Satz mit einem logRAD-Wert von 1,2, welchen noch alle der getesteten Patienten lesen konnten ($n = 48$), betrug 148,8 Wörter/Minute (w/min). Der Großteil des Patientenkollektivs las mit einer Geschwindigkeit zwischen 97,3 w/min und 200,3 w/min (Mittelwert \pm SD). In dieser Schriftgröße (logRAD 1,2) lasen die Vitrektomie-Patienten (151,4 w/min) durchschnittlich etwas schneller als die mittels skleraeindellender Methode operierten Patienten (144,4 w/min).

Mit kleiner werdender Schrift (zunehmender logRAD) nahm sowohl die Anzahl derjenigen Patienten, die den Satz noch innerhalb der vorgegebenen 20 Sekunden lesen konnten, als auch die durchschnittliche Lesegeschwindigkeit (Abbildung 20) ab. Den Satz mit 0,6 logRAD konnten noch 31 Patienten lesen, bei 0,4 logRAD waren es noch 14 und bei 0,2 logRAD nur noch ein Patient.

Bei den monokular beeinträchtigten Patienten ($n = 41$) konnten wir das gesunde Partnerauge zum Vergleich verwenden (lila Linie in Abbildung 20). Auch in dieser Vergleichsgruppe verringerte sich mit zunehmendem logRAD sowohl die Zahl derer, die den Satz lesen konnten, als auch die durchschnittliche Lesegeschwindigkeit. Festzustellen war jedoch, dass die durchschnittliche Lesegeschwindigkeit länger auf einem höheren Niveau blieb und mehr Patienten auch die kleinsten Schriftgrößen noch lesen konnten ($n = 5$ bei 0,2 logRAD).

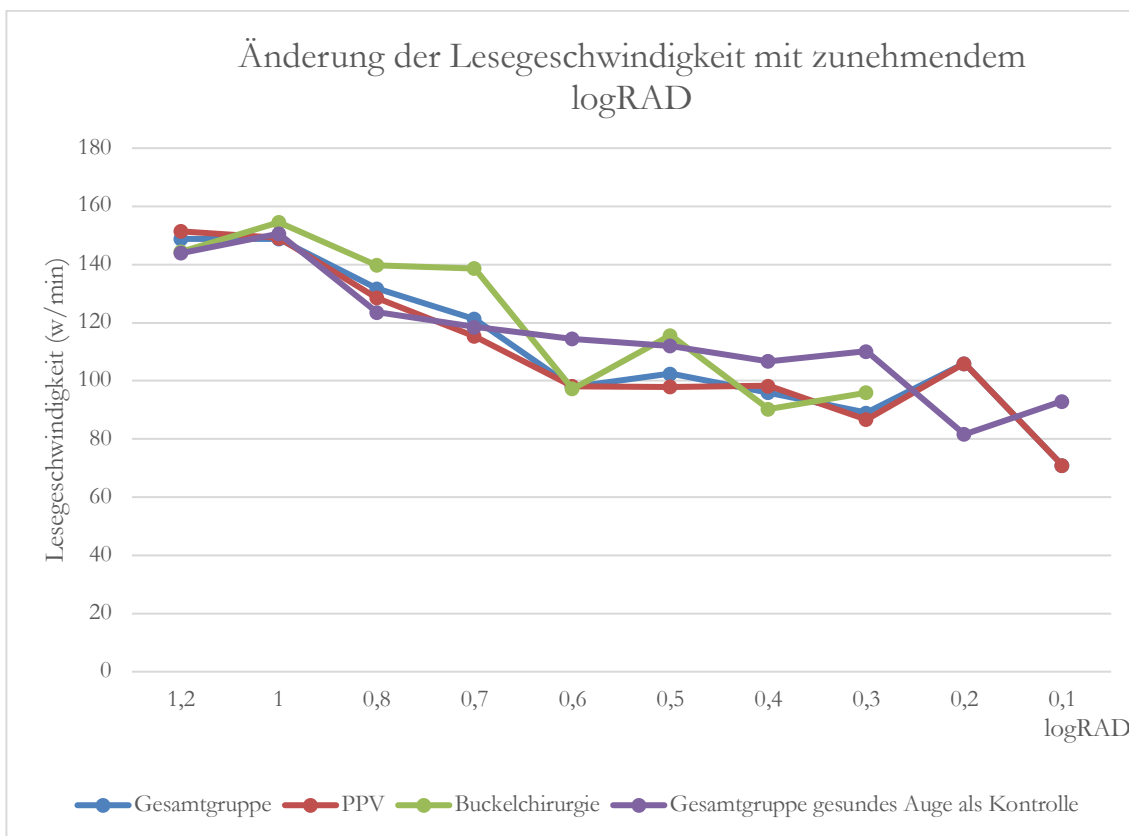


Abbildung 20: Änderung der durchschnittlichen Lesegeschwindigkeit (w/min) mit zunehmendem logRAD nach OP-Verfahren und gegenüber gesundem Partnerauge

Tabelle 12: Lesegeschwindigkeit (w/min) nach OP-Verfahren

		Gesamt	PPV	Buckelchirurgie
1.2	Anzahl (n)	48	30	18
	Mittelwert (\pm SD)	148,8 (\pm 51,5)	151,4 (\pm 49)	144,4 (\pm 56,5)
	Min; Max	48; 247	48; 233	64; 247
1.0	Anzahl (n)	44	29	15
	Mittelwert (\pm SD)	148,8 (\pm 44,5)	149,1 (\pm 41,3)	154,5 (\pm 51,8)
	Min; Max	45; 240	56; 221	45; 240
0.8	Anzahl (n)	39	28	11
	Mittelwert (\pm SD)	131,7 (\pm 47,5)	128,5 (\pm 46,9)	139,8 (\pm 50,5)
	Min; Max	42; 263	57; 263	42; 215
0.6	Anzahl (n)	31	23	8
	Mittelwert (\pm SD)	97,97 (\pm 39,6)	98,3 (\pm 39)	97,3 (\pm 43,96)
	Min; Max	45; 205	45; 205	61; 187
0.4	Anzahl (n)	14	10	4
	Mittelwert (\pm SD)	96 (\pm 34,2)	98,3 (\pm 32,4)	90,3 (\pm 42,8)
	Min; Max	45; 175	63; 175	45; 133
0.3	Anzahl (n)	4	3	1
	Mittelwert (\pm SD)	89 (\pm 53,5)	86,7 (\pm 65,2)	96
	Min; Max	49; 162	49; 162	96
0.2	Anzahl (n)	1	1	
	Mittelwert (\pm SD)	106	106	

3.6 Korrelation Metamorphopsie und OCT-Veränderungen

Um zu erfassen, inwiefern bei Patienten mit im M-CHARTS-Test nachgewiesener Metamorphopsie ($n = 34$) deren Ausprägung mit verschiedenen OCT-Veränderungen zusammenhängt, wurden die M-Score-Werte hinsichtlich des Vorhandenseins oder Nicht-Vorhandenseins von OCT-Veränderungen verglichen (Welch-Two-Sample-T-Test). Bei vorhandenen epiretinalen Veränderungen war der durchschnittliche MV im Vergleich deutlich höher, der Unterschied war signifikant ($p = 0,03$, Tabelle 14). Knapp an der Grenze zur Signifikanz lag der

Vergleich des MV bezüglich des generellen Vorhandenseins von Veränderungen in der OCT. Bei unauffälliger OCT fiel der MV deutlich niedriger aus ($p = 0,05$, Tabelle 13). Im Zuge der multiplen Testung konnte keine Signifikanz mehr festgestellt werden ($p = 0,35$, $p = 0,25$). Für keine der sonstigen möglichen OCT-Veränderungen konnten signifikante Unterschiede bezüglich des M-Scores festgestellt werden (Tabelle 15; Tabelle 16). Auch bei keinerlei Veränderungen in der OCT ließ sich in einigen Fällen Metamorphopsie nachweisen (MH durchschnittlich $0,49^\circ$, MV durchschnittlich $0,48^\circ$). Die stärkste durchschnittliche Ausprägung der Metamorphopsie bestand bei vorhandenen subretinalen OCT-Veränderungen (MH = $0,5^\circ$, MV = $0,97^\circ$).

Tabelle 13: Metamorphopsie bei unauffälliger OCT

OCT unauffällig	Nicht-vorhanden (n = 21)	Vorhanden (n = 13)	P-Wert	Adj. P-Wert
M-Score MH ($^\circ$)			0,91	1,0
Mittelwert (\pm SD)	0,51 (\pm 0,52)	0,49 (\pm 0,53)		
Median (Min; Max)	0,3 (0; 2)	0,4 (0; 1,9)		
M-Score MV ($^\circ$)			0,05	0,35
Mittelwert (\pm SD)	0,79 (\pm 0,55)	0,48 (\pm 0,34)		
Median (Min; Max)	0,6 (0; 2)	0,5 (0; 1,2)		

Tabelle 14: Metamorphopsie bei epiretinalen Veränderungen in der OCT

Epiretinale Veränderungen	Nicht-vorhanden. (n = 15)	Vorhanden (n = 19)	P-Wert	Adj. P-Wert
M-Score MH ($^\circ$)			0,51	1,0
Mittelwert (\pm SD)	0,44 (\pm 0,51)	0,56 (\pm 0,53)		
Median (Min; Max)	0,4 (0; 1,9)	0,4 (0; 2)		
M-Score MV ($^\circ$)			0,03	0,25
Mittelwert (\pm SD)	0,47 (\pm 0,32)	0,82 (\pm 0,56)		
Median (Min; Max)	0,5 (0; 1,2)	0,6 (0; 2)		

Tabelle 15: Metamorphopsie bei intraretinalen Veränderungen in der OCT

Intraretinale Veränderungen	Nicht-vorhanden (n = 28)	Vorhanden (n = 6)	P-Wert	Adj. P-Wert
M-Score MH (°)			0,68	1,0
Mittelwert (± SD)	0,53 (± 0,51)	0,42 (± 0,56)		
Median (Min; Max)	0,4 (0; 2)	0,25 (0; 1,5)		
M-Score MV (°)			0,42	1,0
Mittelwert (± SD)	0,7 (± 0,52)	0,53 (± 0,41)		
Median (Min; Max)	0,6 (0; 2)	0,6 (0; 1,2)		

Tabelle 16: Metamorphopsie bei subretinalen Veränderungen in der OCT

Subretinale Veränderungen	Nicht-vorhanden (n = 30)	Vorhanden (n = 4)	P-Wert	Adj. P-Wert
M-Score MH (°)			0,99	1,0
Mittelwert (± SD)	0,51 (± 0,5)	0,5 (± 0,68)		
Median (Min; Max)	0,4 (0; 2)	0,25 (0; 1,5)		
M-Score MV (°)			0,45	1,0
Mittelwert (± SD)	0,63 (± 0,45)	0,97 (± 0,79)		
Median (Min; Max)	0,6 (0; 1,9)	0,8 (0,3; 2)		

3.7 Korrelation des Visus mit anderen funktionellen Parametern

Um eine mögliche Korrelation des Visus mit anderen funktionellen Parametern festzustellen, wurden die Daten von logRAD und M-Score (MH, MV) mittels *Pearson's Product-moment Correlation* analysiert (Tabelle 17). Es zeigte sich eine starke und statistisch signifikante Korrelation zwischen Visus (logMAR) und Lesevisus (logRAD) ($r = 0,73$; $p < 0,001$). Bezüglich der Metamorphopsie zeigte sich nur zu MV eine signifikante Korrelation, die jedoch verhältnismäßig schwach ausfiel ($r = 0,29$, $p = 0,039$). Nach erfolgter Adjustierung blieb einzig der Lesevisus als statistisch signifikante Korrelation bestehen ($\text{adj.}p < 0,001$). Man kann also davon ausgehen, dass ein gutes Lesevermögen mit einem guten Fernvisus assoziiert ist.

Tabelle 17: Zusammenhang Visus (logMAR) mit Lesevisus (logRAD) bzw. M-Score

Parameter	r	CI	P-Wert	Adj. P-Wert
logRAD	0,73	[0,57; 0,84]	<0,001	<0,001
M-Score MH (°)	0,27	[-0,01; 0,51]	0,059	0,078
M-Score MV (°)	0,29	[0,02; 0,53]	0,039	0,078

(Pearson's product-moment correlation)

3.8 Unterschiede mit und ohne Metamorphopsie

Wir verglichen verschiedene Parameter zwischen den Patienten, bei denen mittels M-CHARTS-Test Metamorphopsie festgestellt werden konnte (MV und MH=0°) und denen, bei denen MH oder MV $\geq 0,2^\circ$ war (Tabelle 18). Für die Operationsmethode und den Linsenstatus verwendeten wir Fisher's-exact-Test, für alle anderen Parameter wurde der Welch-Two-Sample-t-Test angewendet.

Bezüglich des Alters, der Operationsmethode, dem präoperativen Visus und der zentralen Netzhautdicke konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Man kann jedoch festhalten, dass die Patienten mit Metamorphopsie tendenziell etwas älter waren (M+ = 65 Jahre; M- = 63 Jahre), einen schlechteren präoperativen Visus hatten (M+ = 1,9; M- = 1,6) und eine dünnere zentrale Netzhautdicke aufwiesen (M+ = 301 μ m; M- = 320 μ m).

Sowohl Visus (logMAR) als auch Lesevisus (logRAD) waren zum Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe ohne eine Metamorphopsie signifikant besser ($p < 0,01$; $p = 0,01$). Auch hinsichtlich des präoperativen Linsenstatus ließ sich ein signifikanter Unterschied feststellen, deutlich mehr initial phake Patienten entwickelten im Verlauf eine Metamorphopsie ($p = 0,03$). Nach Durchführung der multiplen Testung bestand nur noch für den Visus ein signifikantes Niveau ($p = 0,01$).

Tabelle 18: Vergleich Metamorphopsie vorhanden (M+) vs. nicht-vorhanden (M-)

Parameter	M- (n = 16)	M+ (n = 34)	P-Wert	Adj. P-Wert
Alter			0,42	0,82
Mittelwert (\pm SD)	63 (\pm 8,5)	65 (\pm 9,5)		
Median (Min; Max)	63 (48; 77)	66 (46; 85)		
OP-Methode			0,22	0,65
Buckelchirurgie	4 (25%)	16 (47,1%)		
PPV	12 (75%)	18 (52,9%)		
Visus präoperativ (logMAR)			0,14	0,54
Mittelwert (\pm SD)	1,6 (\pm 0,79)	1,9 (\pm 0,62)		
Median (Min; Max)	1,7 (0,2; 2,7)	2,3 (0,5; 2,7)		
Visus final (logMAR)			<0,01	0,01
Mittelwert (\pm SD)	0,094 (\pm 0,17)	0,31 (\pm 0,27)		
Median (Min; Max)	0,1 (-0,2; 0,6)	0,2 (-0,1; 1)		
Linsenstatus			0,03	0,15
phak	5 (31,2%)	23 (67,6%)		
pseudophak	11 (68,8%)	11 (32,4%)		
Zentrale Netzhautdicke (μ m)			0,41	0,82
Mittelwert (\pm SD)	320 (\pm 85)	301 (\pm 57)		
Median (Min; Max)	301 (254; 619)	284 (230; 475)		
Lesevisus (logRAD)			0,01	0,09
Mittelwert (\pm SD)	0,49 (\pm 0,25)	0,68 (\pm 0,22)		
Median (Min; Max)	0,4 (0,1; 1,2)	0,6 (0,4; 1,1)		
Fehlende Daten	0	2		

Wie in Abbildung 21 erkennbar ist, lasen Patienten mit Metamorphopsie (n = 32) durchschnittlich langsamer als Patienten, bei denen keine Metamorphopsie nachgewiesen werden konnte (n = 16). Beispielsweise bei einem logRAD von 0,8 lag die Lesegeschwindigkeit in der Gruppe M+ bei 119 w/min (n = 24), wohingegen sie in der Gruppe M- bei 152 w/min (n = 15) lag. Zudem konnten in der

Gruppe ohne Metamorphopsie mehr Patienten bis zu einer kleineren Schriftgröße lesen (M+ bis logRAD 0,4; M- bis logRAD 0,1).

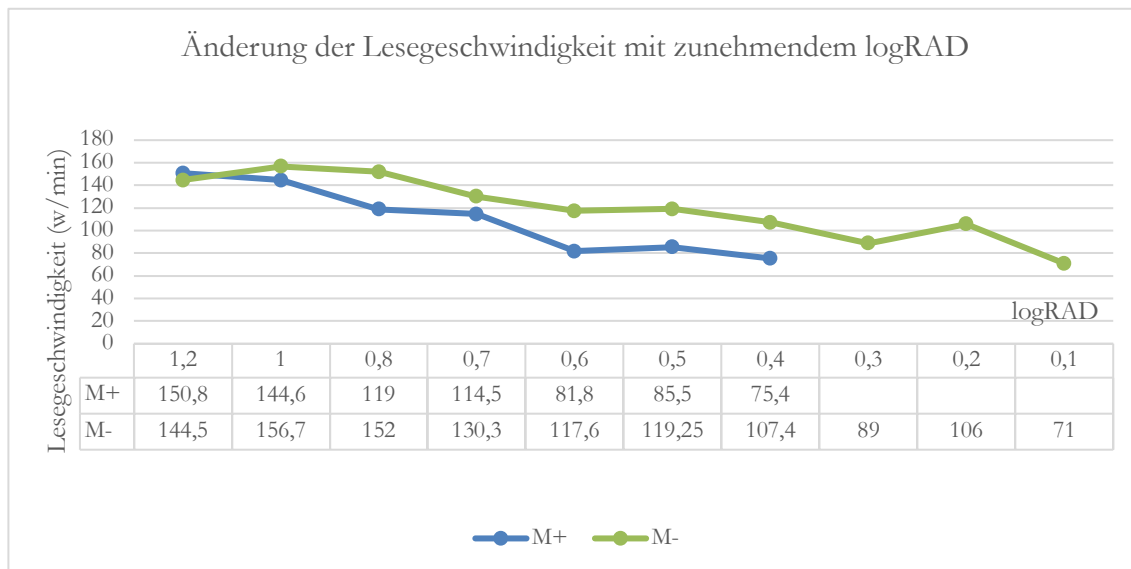


Abbildung 21: Änderung der durchschnittlichen Lesegeschwindigkeit mit zunehmendem logRAD nach Metamorphopsie vorhanden (M+) vs. nicht vorhanden (M-)

4 Diskussion

Einige Studien haben bereits die Häufigkeit einer Metamorphopsie nach erfolgreicher *Ablatio*-Operation erfasst und dabei versucht, Ursachen und Einflussfaktoren zu evaluieren. Eine Übersicht über die bisherige Forschung bietet Tabelle 19. Die Inzidenz einer Metamorphopsie bezogen auf den Anteil der Patienten mit Makulabeteiligung zeigte dabei eine breite Spanne von 24% – 88,6%. Diese Streuung lässt sich durch sehr heterogene Studiendesigns (retrospektiv, prospektiv, Querschnittsstudie), verschiedene Patientenkollektive und vor allem verschiedene Nachbeobachtungszeiträume (3 Wochen bis 81 Monate) erklären. Zum Teil haben die Studien Patienten mit und ohne Makulabeteiligung eingeschlossen und dabei nicht selten einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Metamorphopsie-Prävalenz festgestellt, der als signifikanter Einflussfaktor die initial abgehobene Makula zugrundelag (Lina et al. 2016; Murakami et al. 2018; Okuda et al. 2018). Die am häufigsten verwendeten Methoden zur Erfassung einer Meta-morphopsie waren das Amsler-Gitter und die M-CHARTS. Dabei haben insbesondere in den letzten Jahren immer mehr die M-CHARTS Anwendung gefunden, da diese nicht nur das Erfassen, sondern auch das Quantifizieren der Metamorphopsie ermöglichen. Nur eine weitere Studie hat, wie die vorliegende, beide Methoden angewendet (Borowicz et al. 2019).

Das primäre Ziel dieser Studie war die Erfassung der Häufigkeit von postoperativer Metamorphopsie nach erfolgreicher Netzhautchirurgie bei rhegmatogener Netzhautablösung. Da bereits ein vermehrtes Auftreten bei initialer Makulabeteiligung festgestellt werden konnte, wurden nur Patienten mit betroffener Makula eingeschlossen (Okamoto et al. 2014). Zum Ausschluss anderer Ursachen wurden Patienten mit zusätzlichen Makulopathien, vorbekannter epiretinale Gliose und anderen möglichen Metamorphopsien auslösenden Erkrankungen des Auges ausgeschlossen. Der Anteil der 50 *Ablatio*-Patienten, die mehr als 12 Monate postoperativ eine Metamorphopsie beklagten, lag in dieser retrospektiven Studie bei 62% (Amsler-Gitter) beziehungsweise 68% (M-CHARTS-Test). Die erfassten Werte liegen im oberen Bereich der in der Literatur beschriebenen Spanne und bestätigen, dass mithilfe der M-CHARTS Metamorphopsie detektiert werden

kann, die im Amsler-Gitter nicht aufgefallen ist (Nowomiejska et al. 2013; Borowicz et al. 2019).

Mögliche Unterschiede des langfristigen funktionellen Ergebnisses zwischen den beiden Operationsmethoden aufzudecken war definiertes Nebenziel dieser Studie. Dieser Aspekt wurde in der bisherigen Forschung im Zusammenhang mit Metamorphopsie bislang kaum betrachtet. Viele Studien haben jeweils nur ein Operationsverfahren evaluiert, also entweder die Vitrektomie (Okuda et al. 2018; Saleh et al. 2018; Borowicz et al. 2019; Fukuyama et al. 2019; Schawkat et al. 2020) oder die Buckelchirurgie (Wang et al. 2005; Rossetti A et al. 2010). Nur wenige Studien haben beide Operationsmethoden eingeschlossen, wobei dabei das Verhältnis der jeweiligen Patientenzahl in der Regel recht unausgeglichen und somit schlechter zu vergleichen war (Okamoto et al. 2014; van de Put et al. 2015; Lina et al. 2016; Zhou et al. 2017; Murakami et al. 2018; Ng et al. 2020). In der vorliegenden Arbeit zeigten sich weder für die Ergebnisse des Amsler-Testes noch für die horizontalen und vertikalen M-Scores signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Einzig der Anteil der Patienten, bei denen in den M-CHARTS eine Metamorphopsie nachgewiesen werden konnte, war in der Buckelchirurgie-Gruppe (n = 16, 80%) deutlich höher als in der Vitrektomie-Gruppe (n = 18, 60%).

Tabelle 19: Übersicht Studien zu Metamorphopsie nach *Ablatio*

Autor, Jahr	Anzahl Augen	Makulastatus		Operationsverfahren	Nachbeobachtungszeit	Metamorphopsien			M-CHARTS			Anteil mit OCT-Veränderungen
		AN	AB			Methode	Makula AN	Makula AB	MH	MV		
Wang et al. 2005	46	-	46	Buckelchirurgie	2 Monate	Amsler	-	67%	-	-	-	77%
Rossetti et al. 2010	6	-	6	Buckelchirurgie	5-6 Jahre	Amsler	-	66.7%	-	-	-	16.6%
Okamoto et al. 2014	129	69	60	Buckelchirurgie (31) / PPV (98)	6-12 Monate	M-CHARTS	13%	68.3%	0.30±0.50	0.31±0.49	0.31±0.49	36%
Van de Put et al. 2015	45	-	45	Buckelchirurgie (6) / PPV (39)	12 Monate	Amsler	-	88.6%	-	-	-	46.7%
Zhou et al. 2016	380	126	254	Buckelchirurgie (107) / PPV (241)	6 – 81 Monate	Amsler	26.2%	56.69%	-	-	-	84.7%
Lina et al. 2016	30	10	20	Buckelchirurgie (21) / PPV (9)	12 Monate	M-CHARTS	-	-	0.65±0.54	0.69±0.55	0.69±0.55	-
Murakami et al. 2017	47	17	30	Buckelchirurgie (7) / PPV (40)	12 Monate	M-CHARTS	35%	70%	0.40±0.40	0.40±0.40	0.40±0.40	72%
Okuda et al. 2017	40	24	26	PPV	6 Monate	M-CHARTS	21%	88%	0.40±0.42	0.48±0.44	0.48±0.44	59%
Saleh et al. 2018	58	22	36	PPV	6 Monate	Quality-of-Life-Questionnaire	13.6%	47.2%	-	-	-	-
Fukuyama et al. 2019	33	-	33	PPV	6 Monate	M-CHARTS	-	-	0.26±0.36	0.34±0.31	0.34±0.31	-
Borowicz et al. 2019	62	28	34	PPV	6 Monate	M-CHARTS	60%	62%	0.00±0.31	0.00±0.25	0.00±0.25	47%
Schawkat et al. 2020	50	-	50	PPV	3 / 6 Wochen	Amsler	32%	54%	-	-	-	-
Ng et al. 2020	48	-	48	Buckelchirurgie (6) / PPV (44)	12 Monate	M-CHARTS	-	88%	0.7(0.4-0.9)	0.7(0.4-1.0)	0.7(0.4-1.0)	-
Aktuelle Studie	50	-	50	Buckelchirurgie (20) / PPV (30)	≥ 12 Monate	M-CHARTS	-	68%	0.34±0.48	0.45±0.52	0.45±0.52	61.8%
						Amsler	-	62%	-	-	-	-

Der Anteil der OCT-Veränderung bezieht sich auf Patienten mit Metamorphopsie. Die durchschnittlichen M-Scores beziehen sich auf die Gruppen mit initialer Makulabeteiligung. Abweichungen sind farblich markiert
rot: M-Score Gesamtgruppe (Makula AN und AB); **grün:** Gesamt-M-Score (MV und MH zusammengefasst); **blau:** Angabe des Median (Min; Max)

4.1 Besonderheiten der Studie

Es handelt sich um die erste Studie, die mehr als 12 Monate postoperativ (durchschnittlich fast 23 Monate) die Häufigkeit einer Metamorphopsie sowohl qualitativ als auch quantitativ erfasst und mögliche Zusammenhänge mit OCT-Veränderungen evaluiert. Kaum andere Studien zogen den ausführlichen Vergleich zwischen den beiden Operationsmethoden (Buckelchirurgie und PPV) und konnten dabei ein verhältnismäßig gleichmäßig verteiltes Patientenkollektiv aufweisen (20 Buckelchirurgie vs. 30 PPV). Nur eine weitere Studie hat bislang ebenfalls das Lesevermögen als einen die alltägliche Funktionalität widerspiegelnden Parameter bestimmt. Die Bestimmung der Lesegeschwindigkeit in Korrelation zur Metamorphopsie und dem postoperativen Verlauf ist zumindest zum jetzigen Zeitpunkt in der Literatur nicht zu finden.

4.2 Diskussion des Studienaufbaus

Um mögliche Störfaktoren hinsichtlich der Metamorphopsie gering zu halten, wurden vor Beginn der Studie die Ein- und Ausschlusskriterien genau definiert. Zu den Ausschlusskriterien zählten präoperativ diagnostizierte Erkrankungen (Makulopathien (AMD, diabetische Retinopathie), PVR, Glaukom), die Verwendung von Silikonöl (aufgrund der wiederholten PPV zur Öl-Entfernung) und eine stattgehabte *Re-Ablatio*. Da jedoch nicht sicher von einer Vollständigkeit der Anamnese und Dokumentation in den Akten auszugehen war, ergaben sich hieraus mögliche Fehlerquellen. Die definierten Ausschlusskriterien unterschieden sich nicht großartig von denen vergleichbarer Studien. Teilweise wurden zusätzliche Ausschlusskriterien (zum Beispiel Uveitis und Trauma) festgelegt (Zhou et al. 2017; Borowicz et al. 2019).

Wie bereits andere Studien zeigen konnten, ist eine Regenerationsfähigkeit der Netzhaut häufig auch über mehrere Monate noch vorhanden. Okuda et al. (2018) konnten in ihrer Studie in der Gruppe mit Makulabeteiligung eine signifikante Besserung der Metamorphopsie im Studienverlauf bis zu 12 Monate postoperativ feststellen. Nach 6 Monaten lag die Häufigkeit noch bei 88%, reduzierte sich im Verlauf bis zur Kontrolle nach 12 Monaten auf 64%. Wir formulierten für die Erfassung des langfristigen Ergebnisses im Rahmen der Studienplanung einen

Mindestabstand von 6 Monaten zwischen Nachuntersuchung und Operation. Kritisch betrachtet hätte dieser Abstand zur Erfassung des langfristigen Ergebnisses durchaus großzügiger gewählt werden können. Letztlich lag der kürzeste zeitliche Abstand zwischen Untersuchung und Operation bei 12 Monaten (im Durchschnitt fast 23 Monate). Damit besteht im Vergleich zu den meisten Studien der längste postoperative Nachbeobachtungszeitraum, der in anderen Studien meist zwischen 6 (Okuda et al. 2018; Saleh et al. 2018; Borowicz et al. 2019; Fukuyama et al. 2019) oder 12 Monaten (Okamoto et al. 2014; Lina et al. 2016; Murakami et al. 2018; Ng et al. 2020) lag.

Zum Vergleich des Einflusses der Operationsmethoden strebten wir eine ungefähr gleiche Verteilung des Patientenkollektivs an. Das Verhältnis entsprach letztlich einem Anteil von 60% PPV-Patienten und 40% Buckelchirurgie-Patienten. Auch Lina et al. (2016) verglichen unter anderem die beiden Operationsmethoden, wobei das Patientenkollektiv insgesamt kleiner ($n = 30$) und etwas weniger gleichmäßig verteilt war (70% Buckelchirurgie; 30% PPV). Sie fanden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Ausprägung der Metamorphopsie ($p = 0,176$; $p = 0,314$).

4.3 Basischarakteristika im Literaturvergleich

4.3.1 Geschlecht

Etwas weniger als zwei Drittel (62%) der in die Studie eingeschlossenen betroffenen Patienten waren Männer. Somit unterscheidet sich die Geschlechterverteilung nicht von den in anderen Studien beschriebenen (Anteil der Männer 57,6%-76%) und spiegelt die Angaben der Literatur wider. Nach diesen sind Männer häufiger von Netzhautablösungen betroffen als Frauen. Ursächlich hierfür werden Unterschiede in der anatomischen Struktur der GK-Basis vermutet (Heimann 2012).

4.3.2 Alter

Das durchschnittliche Lebensalter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation betrug 65 Jahre und lag somit im in der Literatur beschriebenen Altersbereich mit

dem höchsten Risiko für eine Netzhautablösung (Van de Put et al. 2013; Bechrakis und Dimmer 2018). Verglichen mit dem durchschnittlichen Patientenalter in Vergleichsstudien zu Metamorphopsie nach erfolgreich operierter Netzhautablösung (etwa 55 Jahre), waren die Patienten dieser Studie im Durchschnitt älter. Das jüngste Patientenkollektiv wies die Studie von Wang et al. (2005) auf, in der das Durchschnittsalter bei etwa 35 Jahren lag. Das höchste Durchschnittsalter wiederum bestand bei Schawkat et al. (2020) mit etwa 69 Jahren.

Obwohl die mittels Vitrektomie behandelten Patienten durchschnittlich älter waren, konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Operationsmethoden festgestellt werden ($p = 0,35$). Zu diesem Ergebnis kamen auch Lina et al. (2016) ($p = 0,429$).

In der Querschnittstudie von Zhou et al. (2017) wurde ein junges Alter zum Zeitpunkt der Netzhautablösung als signifikant unabhängiger Prädiktor für die Entstehung einer Metamorphopsie beschrieben. Als Erklärung wurde eine bei jüngeren Patienten flache, jedoch dichte subretinale Flüssigkeitsansammlung vermutet, die intraoperativ nur schwer vollständig zu drainieren und dadurch auch postoperativ länger nachzuweisen war. Diese Ergebnisse konnten bislang in keiner anderen Studie zu Metamorphopsie nach Netzhautablösung bestätigt werden. Auch wir konnten keinen Einfluss des Alters feststellen ($p = 0,42$), vielmehr waren Patienten mit nachweisbarer Metamorphopsie im Vergleich tendenziell etwas älter.

4.3.3 Auge

Bei insgesamt 68% der Patienten dieser Studie war das linke Auge von der Netzhautablösung betroffen. In vergleichbaren Studien war die Verteilung der betroffenen Augen mit abgehobener Makula ausgeglichener, wobei auch dort vermehrt das linke Auge betroffen war (50 – 55%) (Lina et al. 2016; Ng et al. 2020; Schawkat et al. 2020). Erklärungen dafür gibt es keine.

4.3.4 Linsenstatus

Zum Zeitpunkt der Operation waren 56% der Patienten noch im Besitz ihrer eigenen Linse. Es konnte ein signifikanter Unterschied diesbezüglich zwischen den beiden Operationsmethoden festgestellt werden. Alle mittels Buckelchirurgie versorgten Patienten waren phak, was demnach den Empfehlungen der SPR-Studie entspricht, bei phaken Patienten eher ein skleraeindellendes Verfahren anzuwenden (Heimann et al. 2007). Auch in anderen Studien war der Anteil phaker Patienten (75%-100%) insgesamt höher als der pseudophaker (Fukuyama et al. 2019; Ng et al. 2020). Dass der Anteil in diesen Studien noch höher als in der vorliegenden Studie ist, kann sich möglicherweise durch das gleichzeitig jüngere Durchschnittsalter der Studien erklären lassen. Denn die Häufigkeit der Linsen-trübungen und dem damit einhergehenden Austausch nimmt mit dem Alter zu.

Von den Patienten, die postoperativ eine Metamorphopsie zeigten, waren vor der Operation 67,6% noch im Besitz ihrer eigenen Linse. In der Gruppe ohne Metamorphopsie verhielt es sich genau umgekehrt, hier waren 68,8% der Patienten präoperativ pseudophak. Nach der multiplen Testung konnte zwar keine Signifikanz mehr nachgewiesen werden, dennoch könnte man vermuten, dass sich bei präoperativ phaken Patienten tendenziell eher eine Metamorphopsie entwickelt.

4.4 Diskussion der Ergebnisse

4.4.1 Metamorphopsie

Das Hauptziel dieser Studie war es, die Häufigkeit von postoperativer Metamorphopsie nach rhegmatogener *Ablatio* mit Makulabeteiligung für die beiden gängigen Operationsverfahren im langfristigen Verlauf zu erfassen, deren Ausprägungsstärke zu bestimmen und gegenüberzustellen.

Zunächst wurde die Häufigkeit mittels Amlser-Gitter erfasst. Dabei zeigte sich bei 62% der Patienten eine Metamorphopsie. Dies deckt sich mit den erhobenen Werten anderer Studien (54% – 88,6%; siehe Tabelle 19). Die vorhandene Streuung lässt sich vermutlich durch unterschiedliche Kriterien und Designs der Studien, insbesondere aber durch die unterschiedlich langen Nachbeobachtungszeiten erklären. Demnach scheint eine Metamorphopsie zuzunehmen,

denn in der Studie von Schawkat et al. (2020), die einen Nachbeobachtungszeitraum von nur wenigen Wochen aufwies, wurde nur bei 24% der Patienten Metamorphopsie nachgewiesen. Möglicherweise erklärt sich dieses Phänomen zum Beispiel durch eine erst innerhalb der ersten Monate entstehende sekundäre epiretinale Gliose, welche durch Verfältelung der Netzhautschichten nicht selten mit Metamorphopsie einhergeht (Martínez-Castillo et al. 2012; Schaub und Schick 2021). Wie auch in der Studie von Zhou et al. (2017) ($p = 0,27$) konnte in der vorliegenden Arbeit kein signifikanter Unterschied der mittels Amsler-Gitter festgestellten Häufigkeit von Metamorphopsie zwischen den beiden Operationsmethoden festgestellt werden ($p = 0,77$).

Der Anteil von Metamorphopsie lag mittels M-CHARTS ermittelt höher als mittels Amsler-Gitter (68% bzw. 62%). Ähnliche Ergebnisse fanden auch Borowicz et al. (2019), die als einzige weitere Studie beide Testverfahren anwandten (65% bzw. 54%). Auch dieser Wert deckt sich mit den in anderen Studien erfassten Häufigkeiten, ist jedoch im Verhältnis geringer als zum Beispiel bei Okuda et al. (2018) oder Ng et al. (2020), die beide jeweils bei 88% der Patienten mit Makulabeteiligung eine Metamorphopsie nachweisen konnten. Wir konnten keinen signifikanten Unterschied der horizontalen und vertikalen M-Scores zwischen den beiden Operationsmethoden feststellen (MV $p = 0,76$, MH $p = 0,39$). Zu dem Ergebnis, dass die Operationsmethode keinen Einfluss auf die Entstehung von Metamorphopsie hat bzw. kein Unterschied der Metamorphopsie-Ausprägung zwischen den Verfahren zu finden ist, kamen auch Lina et al. (2016) und Okamoto et al. (2014).

Mehrere Studien konnten eine signifikante Verbesserung der M-Scores im Studienverlauf bis zu deren Endpunkt feststellen. Borowicz et al. (2019) und Fukuyama et al. (2019) berichten von einer signifikanten Verbesserung von MH und MV ($p < 0,0001$ bzw. $p < 0,001$) innerhalb ihrer 6-monatigen Beobachtungszeit. Okuda et al. (2018) und Murakami et al. (2018) berichten von signifikant niedrigeren Werten nach 12 Monaten, wobei Okuda et al. (2018) zudem von signifikant weniger von Metamorphopsie betroffenen Augen berichten ($p = 0,041$). Betrachtet man die in dieser Studie erhobenen Werte für MH und MV nach mehr als 12 Monaten (MH = $0,34 \pm 0,48$; MV = $0,45 \pm 0,52$), so fallen sie niedriger als

die in anderen Studien nach 12 Monaten (Lina et al. 2016; Ng et al. 2020) und höher als die nach 6 Monaten (Okuda et al. 2018; Borowicz et al. 2019; Fukuyama et al. 2019) erhobenen Werte aus. Interessanterweise konnten in einigen Studien - wie auch in der vorliegenden - höhere MV-Werte als MH-Werte festgestellt werden, auch wenn keine statistische Signifikanz festzustellen war (Okuda et al. 2018; Fukuyama et al. 2019). Fukuyama et al. (2019) fanden vermehrt horizontale Falten im *enface*-OCT und sahen dies in Anlehnung an eine Studie von Arimura et al. als ursächlich für die höheren MV-Werte. Denn Arimura et al. (2005) fanden heraus, dass vertikale Dislokationen der Netzhaut zu höheren horizontalen M-Scores und umgekehrt horizontale Dislokationen zu höheren vertikalen M-Scores führen. Dass sowohl die Falten im Verlauf in Dichte und Anzahl signifikant abgenommen haben als auch die M-Scores signifikant besser wurden, lässt diesbezüglich auf einen Zusammenhang der Ausprägung der Metamorphopsie mit der Ausprägung der Netzhautfalten schließen. Okamoto et al. (2014) fanden wiederum bei normaler Makulakonfiguration in der OCT signifikant höhere MH-Werte und vermuteten, dass dies durch vermehrte vertikale Dislokation bedingt wurde. Unsere Ergebnisse diesbezüglich werden in Kapitel 4.4.6 diskutiert.

4.4.2 Bestkorrigierte Sehschärfe (BCVA)

Der durchschnittliche präoperative Visus in der Gesamtgruppe betrug in dieser Arbeit 1,8 logMAR und verbesserte sich bis zum Untersuchungszeitpunkt nach mehr als 12 Monaten auf 0,24 logMAR.

Vor allem die präoperativ erfassten Werte variieren in den Studien stark. Zum einen kann dies durch eine Vermischung von Visus-Werten zwischen Patienten mit und ohne Makulabeteiligung erklärt werden, da bei noch anliegender Makula der Visus in der Regel besser ausfällt. Zum anderen kann es insbesondere auf unterschiedlich festgelegte logMAR-Werte für FZ, HBW und LS zurückgeführt werden (beispielsweise für HBW 1,9 – 3,0 logMAR) (van de Put et al. 2015; Zhou et al. 2017; Ng et al. 2020). Bezüglich des präoperativen Visus zeigten sich weder

bei den Operationsmethoden noch hinsichtlich des Vorhandenseins von Metamorphopsie signifikante Unterschiede, wobei der Ausgangsvisus bei Patienten mit späterer Metamorphopsie schlechter war.

In den meisten Vergleichsstudien ließ sich eine signifikante Visusverbesserung zum präoperativen Wert verzeichnen (Lina et al. 2016; Okuda et al. 2018; Borowicz et al. 2019; Fukuyama et al. 2019; Ng et al. 2020). Ng et al. (2020) konnten dabei nach 12 Monaten bessere durchschnittliche Visusergebnisse aufweisen (0,09 logMAR), Lina et al. hingegen etwas schlechtere (0,34 logMAR). Wir konnten einen signifikant besseren postoperativen Visus in der PPV-Gruppe feststellen ($p < 0,01$, nach multipler Testung $p = 0,06$). Dies widerspricht den Ergebnissen von Lina et al. (2016), die keinen Unterschied zwischen den Operationsmethoden feststellen konnten. Bei überschaubarer Gruppengröße und fehlender Korrelation zur Dauer der Makulabeteiligung ist dieses Ergebnis jedoch mit Vorsicht zu bewerten.

Die Tatsache des signifikant besseren postoperativen Visus in der Gruppe ohne Metamorphopsie ($p < 0,01$; nach multipler Testung $p = 0,01$) deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien, die ebenfalls signifikant bessere Ergebnisse ($p = 0,02$, $p < 0,01$) bei Patienten ohne Metamorphopsie fanden (van de Put et al. 2015; Zhou et al. 2017). Gleichzeitig widerspricht es den Ergebnissen von Schawkat et al. (2020), die keinen signifikanten Einfluss der Metamorphopsie auf den Visus finden konnten ($p = 0,29$).

4.4.3 Netzhautmorphologie

Die Erfassung etwaiger Veränderungen der Netzhaut erfolgte in mehreren Studien – auch im Zusammenhang mit der Erfassung von Metamorphopsie. Die häufigste im Rahmen der vorliegenden Studie festgestellte Veränderung war eine epiretinale Gliose ($n = 31$; 62%). Auch Okamoto et al. (2014) konnten nach 6 – 12 Monaten am häufigsten eine epiretinale Gliose feststellen. Wang et al. (2005) wiederum stellten bei 67% der untersuchten Patienten nach 2 Monaten verbliebene subretinale Flüssigkeit im Makulabereich fest, wobei diese in der Peripherie bereits absorbiert war. Sie begründeten dies mit einem im Makulabereich möglicherweise geringer ausgeprägten Pumpmechanismus des RPE. Zu beachten

ist dabei das hinsichtlich des Patientenalters für eine Netzhautablösung eher untypische Patientenkollektiv mit einem Durchschnittsalter von etwa 35 Jahren. Zhou et al. (2017) evaluierten bestehende subretinale Flüssigkeit und Unterbrechungen der ELM als unabhängige Faktoren, die die Entstehung von Metamorphopsie beeinflussen. Bezüglich der subretinalen Flüssigkeit sahen sie dies insbesondere durch die länger anhaltende Separation der Netzhautschichten und die Einschränkung der metabolischen Funktion des RPE begründet. Subretinale Flüssigkeit konnte bei keinem unserer Patienten nachgewiesen werden – vermutlich da diese aufgrund der längeren Nachbeobachtungszeit mittlerweile vollständig resorbiert wurde - und auch ELM-Unterbrechungen konnten nur bei 2 der Patienten festgestellt werden. Rossetti et al. (2010) konnten am häufigsten Unterbrechungen der IS/OS (50%) feststellen, wobei diese im weiteren Verlauf der Studie bis zum Endpunkt nach 5 – 6 Jahren nicht mehr nachzuweisen waren. Der Anteil an Patienten mit solchen Unterbrechungen war in unserer Studie deutlich geringer (n = 7; 14%). Dies wiederum entspricht den Erkenntnissen von van de Put et al. (2015). Sie konnten keine Zusammenhänge von OCT-Veränderungen und Metamorphopsie finden, vermuteten aber in diesem Zusammenhang, dass aufgrund ihres längeren Nachbeobachtungszeitraums die Detektion mikrostruktureller Veränderungen der Makularegion eingeschränkt seien. Beispielsweise subretinale Flüssigkeit oder intraretinale Zysten würden in der Regel innerhalb von 6 – 12 Monaten verschwinden und seien daher nur in kürzeren Nachbeobachtungszeiträumen detektierbar.

Insgesamt 17 Patienten (34%) wiesen bei der Nachuntersuchung ein unauffälliges OCT auf. Dies entspricht einem wesentlich geringeren Anteil als bei Okamoto et al. (2014), die bei 67% der Untersuchten keine Veränderungen in der OCT nachweisen konnten. Für diese hohe Anzahl unauffälliger OCTs trotz vorhandener Metamorphopsie vermuteten sie das Vorhandensein von in der OCT nicht detektierbaren fovealen Dysfunktionen. Auch Wang et al. (2005) vermuteten anhand ihrer Ergebnisse, dass Metamorphopsie zwar in der Regel mit OCT-Veränderungen einhergeht, es aber dennoch auch weitere Faktoren geben muss, die die Entstehung beeinflussen.

Hier muss berücksichtigt werden, dass auch bei Anwendung einer hochauflösenden SD-OCT-Technik das Auflösungsvermögen keine Darstellung auf Photorezeptorebene erlaubt und Ergebnisse bei technischer Limitation nicht mit einem Normalbefund gleichgesetzt werden dürfen.

Wir konnten keine signifikanten Unterschiede der OCT-Veränderungen zwischen den beiden angewandten Operationsmethoden feststellen. Dieser Aspekt wurde in keiner der vorherigen Studien untersucht oder benannt.

Die durchschnittliche zentrale Netzhautdicke lag in der vorliegenden Studie nach mehr als 12 Monaten bei $307\mu\text{m}$. Damit war sie durchschnittlich dicker als bei Borowicz et al. (2019), die in der Gruppe mit Makulabeteiligung nach 6 Monaten eine durchschnittliche Dicke von $279\mu\text{m}$ gemessen haben und dabei signifikante Unterschiede im Verlauf feststellen konnten ($p = 0,009$). Eine Verlaufsbeobachtung konnte im Rahmen dieser Studie nicht erfolgen, jedoch konnten wir zum Zeitpunkt der Untersuchung weder zwischen den Operationsmethoden noch zwischen den Gruppen mit und ohne Metamorphopsie signifikante Unterschiede der zentralen Netzhautdicke feststellen ($p = 0,97$ bzw. $p = 0,41$).

4.4.4 Lesevisus und Lesegeschwindigkeit

Der Lesevisus und die Lesegeschwindigkeit sollten helfen, die Alltagsfunktionalität des operierten Auges widerzuspiegeln. Die Lesegeschwindigkeit wurde generell mit zunehmender Verkleinerung der Schrift langsamer, wobei die Patienten mit Metamorphopsie generell langsamer lasen als Patienten ohne. Zwischen den Operationsmethoden konnten keine größeren Unterschiede festgestellt werden. In noch keiner anderen Studien wurde die Lesegeschwindigkeit erfasst, sodass keine vergleichende Diskussion erfolgen kann.

Es konnte bei Patienten, die mittels PPV versorgt wurden, ein signifikant besserer Lesevisus festgestellt werden als bei skleraeindellend operierten Patienten ($\log\text{RAD} = 0,54$; $\log\text{RAD} = 0,78$; $p = 0,01$). Ebenso hatten Patienten ohne nachgewiesene Metamorphopsie einen signifikant besseren Lesevisus als Patienten mit Metamorphopsie ($\log\text{RAD} = 0,49$; $\log\text{RAD} = 0,69$; $p = 0,01$). Allerdings erreichten beide Vergleiche nach multipler Testung nicht mehr das festgelegte Signifikanzniveau ($p = 0,16$; $p = 0,09$). Dennoch entspricht das Ergebnis dem von

van de Put et al. (2015). Ihre Studie erfasste als einzige weitere Studie einen Lesevisus und stellte dabei signifikant schlechtere Werte bei Patienten mit Metamorphopsie fest ($p = 0,001$). Ein direkter Vergleich des Lesevisus der beiden Studien ist nicht möglich, da ein anderes Testverfahren (*LEO Reading Charts*) verwendet wurde, zeigt jedoch deutlich, dass Metamorphopsie eine wichtige Rolle bei der visuellen Rehabilitation spielt.

4.4.5 Korrelation des Visus mit anderen funktionellen Ergebnissen

Wir untersuchten zudem eine mögliche Korrelation der funktionellen Parameter mit dem zum Untersuchungszeitpunkt festgestellten bestkorrigierten Fernvisus. Bezüglich des Lesevisus konnte eine starke und statistisch signifikante Korrelation festgestellt werden ($p < 0,001$). Dieser Aspekt wurde in keiner der anderen Studien untersucht.

Wir konnten nur bezüglich des vertikalen M-Scores eine statistisch signifikante Korrelation (MV $p = 0,039$) feststellen (MH $p = 0,059$), welche jedoch nach multipler Testung kein Signifikanzniveau mehr erreichte (MV $p = 0,078$). Demnach stimmt unser Ergebnis prinzipiell mit dem von Okuda et al. (2018) überein, welche weder nach 6 Monaten noch nach 12 Monaten eine statistisch signifikante Korrelation zwischen Visus und M-Scores feststellen konnten (MH $p = 0,577$ bzw. $p = 0,712$; MV $p = 0,192$ bzw. $p = 0,223$). Auch Zhou et al. (2017) stellten fest, dass eine Verschlechterung des Visus mit der Prävalenz einer Metamorphopsie einhergeht.

4.4.6 Korrelation der Metamorphopsie mit OCT-Veränderungen

Wir untersuchten bei dem Anteil der Patienten, die im M-CHARTS eine Metamorphopsie präsentierten, die Zusammenhänge von OCT-Veränderung mit der Ausprägung der horizontalen und vertikalen Metamorphopsie.

Bei Patienten mit einem generell auffälligen OCT-Befund waren die MV-Werte höher als bei Patienten mit unauffälligem OCT-Befund, wobei die Differenz dabei knapp an der Grenze zur Signifikanz ($p = 0,05$) lag. Die horizontalen M-Scores zeigten keine Unterschiede.

Auch bei vorliegenden epiretinalen Veränderungen, zu denen in unserer Studie die epiretinale Gliose zählte, zeigten sich signifikant höhere MV-Werte ($p = 0,03$). Auch hier konnte kein Unterschied der MH-Scores festgestellt werden ($p = 0,51$). Weder bei intraretinalen (IS/OS-Unterbrechungen, ELM-Unterbrechungen, Makulaödem, Makulaforamen) noch bei subretinalen (RPE-Defekte, neurosensorische Abhebungen) Veränderungen konnten wir einen signifikanten Unterschied der Ausprägung von vertikaler und horizontaler Metamorphopsie feststellen. Im Gegensatz dazu konnten andere Studien signifikante Unterschiede der M-Scores bei bestimmten Netzhautveränderungen beobachten. Sie betrachteten dabei teilweise Bereiche der Netzhaut, die im Rahmen der vorliegenden Studie nicht genauer beurteilt wurden. Okuda et al. (2018) beschrieben eine Korrelation des M-Score mit dem Vorhandensein von Unterbrechungen der Interdigitationszone (IZ). Sie fanden bei intakter IZ und ellipsoider Zone signifikant kleinere MH- und MV-Werte. Auch Murakami et al. (2018) fanden eine signifikante Assoziation der Metamorphopsie mit IZ-Unterbrechungen bei Patienten mit initialer Makulabeteiligung. Zudem beschrieben sie, dass die Verbesserung des M-Score signifikant mit der Zunahme der ELM-RPE-Dicke assoziiert ist. Eine Assoziation der Metamorphopsie mit dem Vorhandensein von ELM-Unterbrechungen beschrieben auch Zhou et al. (2017) und Wang et al. (2005) anhand ihrer Studienergebnisse. Fukuyama et al. (2019) untersuchten die Zusammenhänge von Metamorphopsie und dem Vorhandensein von äußeren Netzhautfalten. Dabei stellten sie eine signifikante Korrelation der Dichte und Anzahl dieser Falten mit dem M-Score fest. Schawkat et al. (2020) erfassten mithilfe der Fundusautofluoreszenz Verschiebungen der Netzhaut und stellten diesbezüglich eine signifikante Assoziation vorhandener Fluoreszenzverschiebungen mit Metamorphopsie fest ($p < 0,001$). Bezüglich einer epiretinalen Gliose, subretinaler Flüssigkeit, eines Makulaödems oder Unterbrechungen der ellipsoiden Zone konnten sie keine signifikante Korrelation feststellen.

Letztlich konnten wir keine signifikanten Unterschiede der Ausprägung der Metamorphopsie in Bezug auf das Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein von OCT-Veränderungen feststellen, da nach multipler Testung alle Werte außerhalb des Signifikanzniveaus lagen. Dies entspricht den Ergebnissen von van de Put

et al. (2015) und Rossetti et al. (2010), die keinen Zusammenhang einer Metamorphopsie mit OCT-Veränderungen finden konnten. Dies ist essenziell und weist darauf hin, dass trotz vermeintlich normal aussehender anatomischer Struktur der Netzhautschichten, entweder morphologische Veränderungen bei den Patienten mit Metamorphopsie vorliegen, die der Auflösung heutiger SD-OCT-Geräte entgehen, oder Metamorphopsie nicht zwangsweise durch eine Fehlstellung von Photorezeptoren oder Dymorphie retinaler Strukturen verursacht werden.

4.5 Limitationen der Studie

Eine Limitation der Studie ergibt sich aus ihrem retrospektiven Design. Zum einen ergibt sich daraus aufgrund möglicherweise nicht vollständiger perioperativer Dokumentation eine potenzielle Fehlerquelle und aufgrund von unterschiedlichen Dokumentationsformen kann eine uneingeschränkte Vergleichbarkeit nicht immer gewährleistet sein. Zum anderen haben durch die freiwillige Teilnahme an der Studie möglicherweise primär Patienten Interesse gezeigt, die noch vermehrt Probleme haben. Ein weiterer Aspekt, der sich durch das retrospektive Design der Studie ergibt, ist die unterschiedliche Visusbestimmung präoperativ und im Rahmen der Studienuntersuchung. Präoperativ fanden die ETDRS-Tafeln keine Anwendung. Da allerdings ein Großteil der Patienten präoperativ einen Ausgangsvisus von nicht mehr als FZ erreichen konnte, wäre eine Anwendung der ETDRS-Tafeln ohnehin nicht möglich gewesen. Vor allem hinsichtlich der Auswertung der OCT-Ergebnisse und deren Vergleichbarkeit ergeben sich Einschränkungen durch die variablen Nachuntersuchungszeiträume (etwa 1 Jahr bis zu 2,7 Jahre), da sich innerhalb dieser Spanne Veränderungen vollziehen können. Zuletzt ist das überschaubar große Patientenkollektiv zu nennen. Dadurch ist eine Abbildung der Charakteristika eines heterogenen *Ablatio*-Patientenkollektivs nur bedingt möglich und die Bewertung der gewonnenen Ergebnisse demnach eingeschränkt.

5 Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Studie sollte die Häufigkeit postoperativer Metamorphopsie nach erfolgreicher operativer Versorgung einer primären rhegmatogenen *Ablatio retinae* mit Makulabeteiligung in Bezug auf die beiden heute üblichen Operationsverfahren erfasst und verglichen werden. Hierfür erfassten wir retrospektiv die Daten von 49 Patienten (50 Augen) und untersuchten diese zur Feststellung langfristiger Metamorphopsie mit einer mittleren Nachbeobachtungszeit von etwa 22 Monaten nach erfolgter Operation.

Bei 68% der Patienten konnte mithilfe der M-CHARTS eine Metamorphopsie nachgewiesen werden. Dies entspricht den Ergebnissen vergleichbarer Studien und stellt keinen überraschend hohen oder niedrigen Wert dar. Die genaue Ätiologie der Metamorphopsie ist noch nicht vollständig geklärt. Veränderungen der Netzhautmorphologie werden als Ursache vermutet (Okamoto et al. 2014; Simunovic 2015; Fukuyama et al. 2019). Wir konnten im Rahmen dieser Studie keine Zusammenhänge der Metamorphopsie-Ausprägung mit dem Vorhandensein epi-, intra- oder subretinaler OCT-Veränderungen feststellen. Auch konnten wir zwischen den angewandten Operationsmethoden, der Buckelchirurgie und der Vitrektomie, keinen signifikanten Einfluss auf die Entstehung und Ausprägung der Metamorphopsie feststellen.

Eindeutig konnte die Studie zeigen, dass ein schlechter Ausgangsvisus das Risiko für langfristige Metamorphopsie erhöht. Unerklärt bleibt das Ergebnis, dass phake Patienten häufiger postoperativ Metamorphopsie aufweisen. Die postoperative Visusentwicklung war erfreulich gut. Der ermittelte Endvisus als auch der in dieser Studie zusätzlich untersuchte Lesevisus war aber bei Patienten mit Metamorphopsie signifikant schlechter als bei denen, die keine Metamorphopsie zeigen. Eine Metamorphopsie hat damit definitiv einen langfristig beeinträchtigenden Einfluss auf die Funktionalität des Auges zu haben, auch wenn dies dank des binokularen Ausgleichs und Anpassung für die Patienten nicht immer im Alltag spürbar sein muss.

Die Studie unterstreicht damit, dass Metamorphopsie trotz anatomisch vermeintlich unauffälliger Netzhautschichten in der SD-OCT präsent sein kann. Somit ist

entweder die Auflösung heutiger SD-OCT-Geräte nicht ausreichend, um ursächliche Defekte oder Fehlstellungen aufzuzeigen, oder Metamorphopsie wird nicht zwingend durch Fehlstellungen der Netzhautschichten oder Photorezeptoren verursacht.

Die Stärken dieser Studie waren der lange Nachbeobachtungszeitraum, sowie die verhältnismäßig gleichmäßige Verteilung der Patienten bezüglich der Operationsmethoden, um deren Einfluss zu evaluieren. Auch die Anwendung sowohl qualitativer als auch quantitativer Methoden zur Erfassung der Metamorphopsie und die Durchführung eines Lesetestes zur Beurteilung der Alltagsfunktionalität sind als Stärken zu werden. Zukünftige Studien mit einem größeren Patientenkollektiv sowie einem prospektiven Design zur Vermeidung potenzieller Fehlerquellen oder lückenhafter Informationen könnten mögliche Zusammenhänge aufdecken. Die Evaluation des Ausmaßes und der Dauer der Makulaabhebung mittels präoperativer OCT-Bildgebung, sowie die Durchführung mehrerer postoperativer Nachuntersuchungen über einen längeren Zeitraum zur Erfassung der Verlaufsveränderungen sind zu erwägende Ergänzungen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine Metamorphopsie ein häufiges und auch langfristig relevantes Problem nach primärer rhegmatogener *Ablatio retinae* darstellt, da sie das Lesevermögen der Patienten trotz anatomischer Netzhautwiederanlage beeinträchtigt. Auch mehr als ein Jahr nach erfolgreicher Operation weisen trotz erfolgreicher Chirurgie etwa zwei Drittel der Patienten eine Metamorphopsie auf, wodurch Sehschärfe, Lesevisus und damit Lebensqualität eingeschränkt sind. Keines der beiden heute hauptsächlich in der Ablatiochirurgie verwendeten Operationsmethoden zeigte Vorteile auf, sodass sich derzeit keine Präferenz für ein Operationsverfahren ableiten lässt.

Metamorphopsie ist allerdings ein bedeutender und patientenrelevanter Parameter in der Netzhautchirurgie, dem klinisch bislang zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet wird. Daher sind weitere Studien in diesem Bereich unerlässlich.

6 Literaturverzeichnis

Arimura E, Matsumoto C, Okuyama S, Takada S, Hashimoto S, Shimomura Y (2005): Retinal Contraction and Metamorphopsia Scores in Eyes with Idiopathic Epiretinal Membrane. *Investig Ophthalmology Vis Sci* 46, 2961

Ascaso FJ, Huerva V, Grzybowski A (2014): The Role of Inflammation in the Pathogenesis of Macular Edema Secondary to Retinal Vascular Diseases. *Mediators Inflamm* 2014, 1–6

Aylward GW (2011): Sutureless Vitrectomy. *Ophthalmologica* 225, 67–75

Bechrakis NE, Dimmer A (2018): Rhegmatogene Netzhautablösung: Epidemiologie und Risikofaktoren. *Ophthalmol* 115, 163–178

Bertelmann T, Witteborn M, Mennel S (2012): Das pseudophakiebedingte zystoide Makulaödem. *Klin Monatsblätter Für Augenheilkd* 229, 798–811

Bjerrum SS, Mikkelsen KL, La Cour M (2013): Risk of Pseudophakic Retinal Detachment in 202 226 Patients Using the Fellow Nonoperated Eye as Reference. *Ophthalmology* 120, 2573-2579

Borowicz D, Nowomiejska K, Nowakowska D, Brzozowska A, Toro MD, Avitabile T, Jünemann AG, Rejdak R (2019): Functional and morphological results of treatment of macula-on and macula-off rhegmatogenous retinal detachment with pars plana vitrectomy and sulfur hexafluoride gas tamponade. *BMC Ophthalmol* 19, 118

Bringmann A, Reichenbach A, Wiedemann P (2004): Pathomechanisms of Cystoid Macular Edema. *Ophthalmic Res* 36, 241–249

de Jong JH, de Koning K, Ouden T den, van Meurs JC, Vermeer KA (2019): The Effect of Compliance With Preoperative Posturing Advice and Head Movements on the Progression of Macula-On Retinal Detachment. *Transl Vis Sci Technol* 8, 4

Eckardt C (2005): Transconjunctival Sutureless 23-Gauge Vitrectomy. *Retina* 25, 208–211

Fabian ID, Moisseiev J (2011): Sutureless vitrectomy: evolution and current practices. *Br J Ophthalmol* 95, 318–324

Feltgen N, Walter P (2014): Rissbedingte Netzhautablösung - ein ophthalmologischer Notfall. *Deutsches Ärzteblatt* 111(1-2), 12-22

Feltgen N, Callizo J, Hattenbach L-O, Hoerauf H (2020): Dringlichkeit der operativen Versorgung bei der rissbedingten Netzhautablösung. *Ophthalmol* 117, 858–

865

Fischer CV, Kulanga M, Hoerauf H (2018): Trends in der Ablatiochirurgie: Was hat sich im Vergleich zu 2001 geändert? *Ophthalmol* 115, 663–668

Fujimoto JG, Pitris C, Boppart SA, Brezinski ME (2000): Optical Coherence Tomography: An Emerging Technology for Biomedical Imaging and Optical Biopsy. *Neoplasia* 2, 9–25

Fukuyama H, Yagiri H, Araki T, Iwami H, Yoshida Y, Ishikawa H, Kimura N, Kakusho K, Okadome T, Gomi F (2019): Quantitative assessment of outer retinal folds on enface optical coherence tomography after vitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment. *Sci Rep* 9, 2327

Grehn F (Hrsg.): *Augenheilkunde*. 31. Auflage; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Hajari JN, Bjerrum SS, Christensen U, Kiilgaard JF, Bek T, la Cour M (2014): A Nationwide Study on the Incidence of Rhegmatogenous Retinal Detachment in Denmark, with Emphasis on the Risk of the Fellow Eye. *Retina* 34, 1658–1665

Heidelberg Engineering SPECTRALIS Bildgebungsplattform - Technische Spezifikationen.

<https://business-lounge.heidelbergengineering.com/de/de/products/spectralis/spectralis/downloads/#downloads>, abgerufen am 06.03.2021

Heimann H (2012): Netzhautablösung. *Klin Monatsblätter Für Augenheilkd* 229, 651–660

Heimann H, Bartz-Schmidt KU, Bornfeld N, Weiss C, Hilgers R-D, Foerster MH (2007): Scleral Buckling versus Primary Vitrectomy in Rhegmatogenous Retinal Detachment. *Ophthalmology* 114, 2142-2154

Heimann H, Bartz-Schmidt K-U, Bornfeld N, Weiss C, Hilgers R-D, Foerster MH (2008): Primäre Pars-plana-Vitrektomie: Techniken, Indikationen und Ergebnisse. *Ophthalmol* 105, 19–26

Ho SF, Fitt A, Frimpong-Ansah K, Benson MT (2006): The management of primary rhegmatogenous retinal detachment not involving the fovea. *Eye* 20, 1049–1053

Hoerauf H, Heimann H, Hansen L, Laqua H (2008): Skleraeindellende Ablatiochirurgie und pneumatische Retinopexie. *Ophthalmol* 105, 7–18

Li JQ, Welchowski T, Schmid M, Holz FG, Finger RP (2019): Incidence of Rhegmatogenous Retinal Detachment in Europe – A Systematic Review and Meta-

Analysis. *Ophthalmologica* 242, 81–86

Lina G, Xuemin Q, Qinmei W, Lijun S (2016): Vision-related quality of life, metamorphopsia, and stereopsis after successful surgery for rhegmatogenous retinal detachment. *Eye* 30, 40–45

Loewenstein A (2010): Postsurgical Cystoid Macular Edema. *Dev Ophthalmol* 47, 148-159

Manabe K, Tsujikawa A, Osaka R, Nakano Y, Fujita T, Shiragami C, Hirooka K, Uji A, Muraoka Y (2016): Metamorphopsia Associated with Branch Retinal Vein Occlusion. *PLOS ONE* 11, e0153817

Martínez-Castillo V, Boixadera A, Distéfano L, Zapata M, García-Arumí J (2012): Epiretinal Membrane After Pars Plana Vitrectomy for Primary Pseudophakic or Aphakic Rhegmatogenous Retinal Detachment: Incidence and outcomes. *Retina* 32, 1350–1355

Matsumoto C, Arimura E, Okuyama S, Takada S, Hashimoto S, Shimomura Y (2003): Quantification of Metamorphopsia in Patients with Epiretinal Membranes. *Investig Ophthalmology Vis Sci* 44, 4012

Mayer W, Haritoglou C (2016): Netzhaut-OCT: vitreoretinale Grenzfläche. *Klin Monatsblätter Für Augenheilkd* 233, 1149–1155

Midena E, Vujosevic S (2015): Metamorphopsia: An Overlooked Visual Symptom. *Ophthalmic Res* 55, 26–36

Mitry Danny, Fleck BW, Wright AF, Campbell H, Charteris DG (2010): Pathogenesis of Rhegmatogenous Retinal Detachment: Predisposing Anatomy and Cell Biology. *Retina* 30, 1561–1572

Mitry D., Charteris DG, Fleck BW, Campbell H, Singh J (2010): The epidemiology of rhegmatogenous retinal detachment: geographical variation and clinical associations. *Br J Ophthalmol* 94, 678–684

Murakami T, Okamoto F, Sugiura Y, Okamoto Y, Hiraoka T, Oshika T (2018): Changes in Metamorphopsia and Optical Coherence Tomography Findings After Successful Retinal Detachment Surgery. *Retina* 38, 684–691

Ng H, Vermeer KA, van Meurs JC, La Heij EC (2020): Visual Acuity Inadequately Reflects Vision-Related Quality of Life in Patients After Macula-Off Retinal Detachment Surgery. *Investig Ophthalmology Vis Sci* 61, 34

Nowomiejska K, Oleszczuk A, Brzozowska A, Grzybowski A, Ksiązek K, Maciejewski R, Ksiązek P, Juenemann A, Rejdak R (2013): M-charts as a tool for

quantifying metamorphopsia in age-related macular degeneration treated with the bevacizumab injections. *BMC Ophthalmol* 13, 1-6

Okamoto F, Sugiura Y, Okamoto Y, Hiraoka T, Oshika T (2012): Associations between Metamorphopsia and Foveal Microstructure in Patients with Epiretinal Membrane. *Investig Ophthalmology Vis Sci* 53, 6770

Okamoto F, Sugiura Y, Okamoto Y, Hiraoka T, Oshika T (2014): Metamorphopsia and Optical Coherence Tomography Findings After Rhegmatogenous Retinal Detachment Surgery. *Am J Ophthalmol* 157, 214-220.e1

Okuda T, Higashide T, Sugiyama K (2018): Metamorphopsia and Outer Retinal Morphologic Changes After Successful Vitrectomy Surgery for Macula-Off Rhegmatogenous Retinal Detachment. *Retina* 38, 148–154

Oshima Y, Wakabayashi T, Sato T, Ohji M, Tano Y (2010): A 27–Gauge Instrument System for Transconjunctival Sutureless Microincision Vitrectomy Surgery. *Ophthalmology* 117, 93-102.e2

Otsuka K, Imai H, Miki A, Nakamura M (2018): Impact of postoperative positioning on the outcome of pars plana vitrectomy with gas tamponade for primary rhegmatogenous retinal detachment: comparison between supine and prone positioning. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 96, e189–e194

Potic J, Bergin C, Giacuzzo C, Daruich A, Konstantinidis L, Wolfensberger TJ (2018): Primary rhegmatogenous retinal detachment: risk factors for macular involvement. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 256, 489–494

Radner W, Willinger U, Obermayer' W, Mudrich' C, Eisenwort B (1998): Eine neue Lesetafel* zur gleichzeitigen Bestimmung von Lesevisus und Lesege-schwindigkeit. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1998 213, 174-181

Rossetti A, Doro D, Manfrè A, Midena E (2010): Long-term follow-up with optical coherence tomography and microperimetry in eyes with metamorphopsia after macula-off retinal detachment repair. *Eye* 24, 1808–1813

Rotsos TG, Moschos MM (2008): Cystoid macular edema. *Clin Ophthalmol* 2008:2(4), 919-930

Saleh M, Gauthier AS, Delbosc B, Castelbou M (2018): Impact of Metamor-phopsia on Quality of Life after Successful Retinal Detachment Surgery. *Ophthalmologica* 240, 121–128

Schaub F, Schick T (2021): Netzhautablösung – Teil 2. *Klin Monatsbl Augen-heilkd* 2021 238, 97-111

- Schawkat M, Valmaggia C, Lang C, Scholl HP, Guber J (2020): Multimodal imaging for detecting metamorphopsia after successful retinal detachment repair. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 258, 57–61
- Scholl S, Kirchhof J, Augustin AJ (2010): Pathophysiology of Macular Edema. *Ophthalmologica* 224, 8–15
- Simunovic MP (2015): Metamorphopsia and its Quantification. *Retina* 35, 1285–1291
- Spitzer MS, Januschowski K (2015): Gesunder Glaskörper und seine Alterung. *Ophthalmol* 112, 552–558
- Staurengli G, Sadda S, Chakravarthy U, Spaide RF (2014): Proposed Lexicon for Anatomic Landmarks in Normal Posterior Segment Spectral-Domain Optical Coherence Tomography. *Ophthalmology* 121, 1572–1578
- Szurman P (2015): Mysterium Glaskörper: Aufbau, Alterung und Ersatzstrategien. *Ophthalmol* 112, 550–551
- Trepel M: Neuroanatomie. 5. Auflage; Elsevier GmbH, München 2012
- Van de Put MAJ, Hooymans JMM, Los LI (2013): The Incidence of Rhegmatogenous Retinal Detachment in The Netherlands. *Ophthalmology* 120, 616–622
- van de Put MAJ, Vehof J, Hooymans JohannaMM, Los LI (2015): Postoperative Metamorphopsia in Macula-Off Rhegmatogenous Retinal Detachment: Associations with Visual Function, Vision Related Quality of Life, and Optical Coherence Tomography Findings. *PLOS ONE* 10, e0120543
- Wada I, Yoshida S, Kobayashi Y, Zhou Y, Ishikawa K, Nakao S, Hisatomi T, Ikeda Y, Ishibashi T, Sonoda K (2017): Quantifying metamorphopsia with M-CHARTS in patients with idiopathic macular hole. *Clin Ophthalmol Auckl NZ* 11, 1719–1726
- Wang Y, Li S, Zhu M, Chen S, Liu Y, Men X, Gillies M, Larsson J (2005): Metamorphopsia after successful retinal detachment surgery: an optical coherence tomography study: *Acta Ophthalmologica Scandinavica* 2005. *Acta Ophthalmol Scand* 83, 168–171
- Wiecek E, Lashkari K, Dakin SC, Bex P (2015): Novel Quantitative Assessment of Metamorphopsia in Maculopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 56, 494–504
- Zhou C, Lin Q, Chen F (2017): Prevalence and predictors of metamorphopsia after successful rhegmatogenous retinal detachment surgery: a cross-sectional, comparative study. *Br J Ophthalmol* 101, 725–729

Zur D, Fischer N, Tufail A, Monés J, Loewenstein A (2011): Postsurgical Cystoid Macular Edema. *Eur J Ophthalmol* 21, 62–68

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt zuallererst meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Hoerauf, für die Idee zu dieser Studie, seine ständige Erreichbarkeit und Unterstützung und vor allem für die stete Vermittlung von Motivation und Begeisterung.

Außerdem möchte ich Herrn Dr. Andreas Leha, Leiter der wissenschaftlichen Serviceeinheit für Medizinische Biometrie und Statistische Bioinformatik, für die statistische Auswertung und stete Hilfsbereitschaft danken.

Des Weiteren gilt mein Dank den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Augen-
klinik der Universitätsmedizin Göttingen, insbesondere den *Study Nurses* und beteiligten Ärztinnen und Ärzten, ohne deren Unterstützung die Umsetzung dieser Studie nicht möglich gewesen wäre.