

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde  
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. H. Busse -

Die episklerale Plombenoperation als Therapie der Netzhautablösung  
- Vergleich von Nahtmethoden im Modellversuch -

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät  
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Kettler, Manfred  
aus Ahlen/Westf.

2005

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-  
Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Heribert Jürgens

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Holger Busse

2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Stefan Clemens

Tag der mündlichen Prüfung: 26.06.2005

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde  
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Holger Busse –

Referent: Univ.-Prof. Dr. med. Holger Busse  
Koreferent: Univ.-Prof. Dr. med. Stefan Clemens

## ZUSAMMENFASSUNG

Die episklerale Plombenoperation als Therapie der Netzhautablösung  
- Vergleich von Nahtmethoden im Modellversuch –

Manfred Kettler

Eine Netzhautablösung kann mit Hilfe der episkleralen Plombenoperation in einem hohen Prozentsatz erfolgreich behandelt werden. Dabei ist der gezielte Lochverschluß entscheidend für das postoperative Ergebnis.

Komplikation kann neben einer Infektion, Bildung neuer Foramina, PVR, abnehmende Plombenprominenz, auch eine Nekrosenbildung unterhalb der Plombe sein.

Ein physikalisches Ähnlichkeitsmodell erlaubt den Vergleich von verschiedenen Methoden, den Faden zur Plombenbefestigung zu führen, und Wege zur Verminderung der mechanischen Sklerabelastung zu finden.

Die vorliegende Arbeit simuliert modellhaft die Gewebewirkung durch Aufnähen einer Netzhautplombe. Zur herkömmlichen Matratzennahttechnik werden weitere Nahtführungen auf die Herabsetzung der Skleraspannung hin untersucht.

Die Untersuchungen zeigen, daß bei einem seitlich in die Plombe eingebrachten Faden, der bis auf ihre Oberfläche geführt wird und wieder seitlich aus der Plombe austritt, eine Plombengeometrie erreicht wird, bei der ein günstiger Druckverlauf unterhalb der Plombe angenommen werden kann. Dies bedeutet, die horizontale Anspannung der Sklera kann bei erhaltener Impression zu einer Verminderung von Nekrosen führen.

Inwieweit die Anwendung der Methode in der klinischen Praxis möglich ist und ob bei Erreichen eines ausreichenden Sklerabuckels eine postoperative Verbesserung erzielt wird, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Tag der mündlichen Prüfung: 26.06.2005

## Inhalt

1	Einleitung	S. 1
1.1	Anatomische Grundlagen	S. 4
1.2	Netzhautablösung	S. 6
1.3	Therapie der Amotio retinae	S. 8
2	Material und Methode	S. 15
3	Ergebnisse	S. 27
4	Diskussion	S. 42
4.1	Mißerfolgsursachen	S. 42
4.2	Verminderung von Komplikationen	S. 43
4.2.1	Operation	S. 43
4.2.2	Plombe	S. 45
4.3	Methodenkritik	S. 47
5	Zusammenfassung	S. 51
6	Literaturliste	S. 52
7	Danksagung	S. 58
8	Lebenslauf	S. 59

## **1 Einleitung**

Die Netzhautablösung (Amotio oder Ablatio retinae) ist eine das Sehvermögen akut bedrohende Erkrankung. Sie führt unbehandelt fast immer zur Erblindung.

Der idiopathischen Ablatio geht ein Defekt der Netzhaut voraus. Durch den Netzhautriß tritt Glaskörperflüssigkeit in den entwicklungsgeschichtlich bedingten Spalt zwischen sensorischer Netzhaut und Pigmentepithel.

Der betroffene Patient muß die Entwicklung der Amotio nicht selbst als zunehmende Sehverschlechterung bemerken, da der Prozeß zunächst in der Fundusperipherie abläuft. Dennoch besteht akute Gefahr durch eine schnelle Progredienz und die Miterfassung der Makula.

Liegt ein objektiver augenärztlicher Befund einer Ablatio vor, ist die Indikation für einen chirurgischen Eingriff gegeben.

Bei der Akutbehandlung der rhegmatogenen Netzhautablösung kommt es darauf an, bei frisch abgehobener Makula oder Bedrohung der Makula innerhalb von Stunden oder wenigen Tagen durch Operation die Makula wieder zum Anliegen zu bringen. Falls die Makula aber eine Woche abgehoben bleibt, kann nur noch eine Restsehschärfe von 0,1 für die weitere Zukunft erreicht werden [32].

Die Ablatiochirurgie mit Plombentechnik wird weltweit angewandt. Dabei steht/stehen das Netzhautloch/die Netzhautlöcher im Mittelpunkt des operativen Vorgehens.

Bei der Therapie der Netzhautablösung in der Anwendung eines episkleral permanent eindellenden Operationsverfahrens wird direkt über dem Netzhautloch von außen in der Regel eine Schaumstoffplombe aus Silikon auf die Sklera aufgenäht.

Entsprechend vorhandener Netzhautdefekte werden die Plomben, die in variierender Form und Größe vorhanden sind, radiär oder parallel zum Limbus angeordnet.

Durch die so eingedellte Sklera kommen an der Defektstelle Pigmentepithel und abgelöste Netzhaut wieder in Kontakt.

Die Einführung der Amotio-OP mit Hilfe der Sklerapломbe erfolgt erstmals 1951 durch Custodis [10].

Eine im Bereich des zu behandelnden Netzhautloches applizierte Kältekoagulation dient der durch eine adhäsive Chorioretinitis bedingten chorioretinalen Vernarbung.

Lincoff [37] wendet 1963 die Kryopexie am Netzhautloch an und ersetzt die bis dahin übliche Diathermie. Es kommt zu einem Rückgang von Nekrosen und Infektionen an der Sklera.

Eine positive Weiterentwicklung der Operationsmethode erzielt Lincoff [38] durch die Verwendung einer Spatelnadel und die Substitution des von Custodis verwendeten Plombenmaterials Polyviol durch die gewebefreundliche Silikonschaumplombe [40].

Neben einem Verschuß des Netzhautforamens kommt es durch die Operation gleichzeitig zu einer Verminderung einer Traktion des Glaskörpers an der Netzhaut.

Die Matratzennaht ist heute die zur Aufnähung der Plombe angewandte Nahttechnik. Dabei wird ein Faden zu beiden Seiten der Plombe geführt. Nach exakter Plazierung der Plombe wird das Nahtmaterial gespannt und verknotet.

Der auf die Sklera und die unter ihr liegenden Schichten aufgebrachte Druck kann eine starke Komprimierung der Aderhaut und daraus entstehende Komplikationen bewirken.

Nach Clemens et al. [9] ist die exzentrische Plombeneindellung, eine abnehmende Plombenprominenz, verstärkter Glaskörperzug, Spannungsfalten der Netzhaut durch Proliferative Vitreoretinopathie (PVR) und vereinzelt eine Skleranekrose für einen Mißerfolg einer durchgeführten Plombenoperation verantwortlich.

Im Folgenden wird der Fragestellung nachgegangen, ob Modifikationen der Nahttechnik die Spannung in der Sklera abbauen und gleichzeitig die Plombenprominenz erhalten können.

## 1.1 Anatomische Grundlagen

Augapfel, Bulbus oculi

Der Augapfel hat eine nahezu kugelige Form mit einem Radius von ca. 12 mm. Der größte Querdurchmesser kennzeichnet den Äquator bulbi.

Die Wand des Bulbus besteht aus drei Schichten:

- der äußeren Schicht, Tunica fibrosa, mit den Abschnitten Sklera (weiße Augen- o. Lederhaut) und Cornea (Hornhaut),
- der mittleren, gefäßreichen Schicht, Tunica vasculosa, Uvea (Gefäßhaut), mit der Iris (Regenbogenhaut), dem Corpus ciliare (Ziliarkörper) und der Choroidea (Aderhaut),
- der inneren Augenhaut, Tunica nervosa, Retina (Netzhaut).

Der Bulbus oculi gliedert sich in 3 Innenräume:

- die vordere Augenkammer, vor der Iris,
- die hintere Augenkammer, hinter der Iris, mit einem Viertel des Vorderkammervolumens
- den Glaskörperraum, der ca. 2/3 des Augeninneren ausmacht.

Dieser ist mit dem gelartigen Corpus vitreum (Glaskörper) ausgefüllt. Die Konsistenz ist bedingt durch Kollagenfibrillen, Mucopolysaccharide, eingelagerte Hyaluronsäuremoleküle und einen hohen Wassergehalt.

Lederhaut, Sklera

Die beim Erwachsenen porzellanweiße Lederhaut ist die schützende Hülle des Augapfels, die sich vom Limbus corneae (Hornhautrand) bis zum Sehnerveneintritt erstreckt. Sie besteht aus derben, bradytrophen kollagenen und elastischen Fasern. Die Lederhaut ist, entsprechend ihrem sehnartigen Aufbau, die am geringsten

vaskularisierte Augenhaut. Durch den höheren intraokularen Druck im Vergleich zum Gewebedruck erhält die Sklera ihre ballonartig stabile Form [58].

## Netzhaut, Retina

Die Netzhaut ist von durchsichtiger Struktur und besteht aus einem inneren sensorischen und einem äußeren Blatt, dem Pigmentepithel.

Die inneren, komplex aufgebauten Schichten werden auch als neurosensorische Netzhaut bezeichnet. Zu ihnen zählen u.a. die Photorezeptorschicht aus Stäbchen und Zapfen, die äußere und innere Körnerschicht, die Ganglienzellschicht und die Nervenfaserschicht. Von der hinteren Grenzmembran des Glaskörpers wird die Netzhaut durch die Membrana limitans interna getrennt.

Nur an zwei Stellen, der Ora serata und dem Sehnervenaustritt, sind äußeres und inneres Blatt der Netzhaut miteinander verwachsen.

Als Ernährungsquelle der äußeren Netzhautschichten (z.B. Photorezeptorschicht) dient die Aderhaut. Die inneren, dem Glaskörper zugewandten Schichten, werden durch die Zentralarterie des Auges versorgt.

Die Netzhaut wird durch den intakten Glaskörper und durch Verbindung zum Pigmentepithel in ihrer anatomischen Lage gehalten [48].

## 1.2 Netzhautablösung

Die Netzhautablösung (Amotio oder Ablatio retinae) ist eine relativ seltene Erkrankung mit einer Häufigkeit von 1:10000 Einwohner pro Jahr (Inzidenz).

Es kommt zur Abhebung der neurosensorischen Netzhaut von dem darübergelegenen Pigmentepithel.

Begünstigt wird die Netzhautablösung durch die anatomischen Gegebenheiten. Die Pars nervosa der Netzhaut ist nur an der Ora serata und in der Umgebung der Papille fest mit der Pars pigmentosa verbunden. Die fehlende anatomische Befestigung der Rezeptorschicht ist entwicklungsgeschichtlich und funktionell sensorisch begründet.

Das retinale Pigmentepithel entsteht aus Anteilen des äußeren Augenbechers, dem äußeren Neuroektoderm, die neurosensorische Netzhaut aus einer in den Augenbecher eingestülpten Schicht neuroektodermaler Zellen, dem inneren Neuroektoderm.

Durch genetisch bedingte Eigenschaften der Anlagerung beider Schichten, vorwiegend zwecks hochdifferenziertem sensorischem Stoffwechsel, können sich beide Netzhautanteile voneinander lösen. Es kommt zu einer nährstofflichen Unterversorgung der betroffenen Photorezeptoren, was der Patient als Gesichtsfeldausfall bemerkt.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen primärer und sekundärer Amotio retinae. Primäre Netzhautablösungen sind entweder rhegmatogene Ablösungen, bei denen verflüssigter Glaskörper durch ein Netzhautloch in den subretinalen Raum übertritt, oder es handelt sich um eine Traktionsamotio.

Sekundäre Netzhautablösungen können ebenfalls rhegmatogen bedingt sein, z.B. durch Traumata, oder aber Tumoren und Flüssigkeitsansammlungen bei Entzündungen führen zur direkten Abhebung der sensorischen Netzhaut.

Die primäre Ablatio ist die häufigste Form der Netzhautablösung. Als Risikofaktoren für die Entstehung einer rhegmatogenen Netzhautablösung sind Myopie, Lebensalter und Aphakie bzw. Pseudoaphakie allgemein bekannt. Die pathologischen

Voraussetzungen sind ein Defekt der Netzhaut und ein degenerativ veränderter Glaskörper.

Die mit zunehmendem Lebensalter fortschreitende Verflüssigung der ursprünglich gelartigen Konsistenz des Glaskörpers bedingt seine unzureichende Anlagerung an die Netzhaut. Es entsteht eine hintere Glaskörperabhebung.

Hat sich der Glaskörper nicht vollständig von der Netzhaut gelöst und bestehen noch feste Kontaktstellen, kommt es an diesen durch die Bewegungen des Bulbus zur Zugwirkung auf die entsprechenden Netzhautareale.

Entsteht ein Defekt der Netzhaut, kann dann der verflüssigte Glaskörper unter die Netzhaut fließen und diese zunehmend von ihrer Unterlage abheben. Das Netzhautloch liegt dabei bevorzugt in der Fundusperipherie temporal oben.

### 1.3 Therapie der Amotio retinae

Bereits im 19. Jahrhundert gibt es Versuche zur konservativen Behandlung der Ablatio, die jedoch keinen ausreichenden Behandlungserfolg zeigen.

Jules Gonin [17] erkennt als erster den Zusammenhang von Netzhautdefekt und Netzhautablösung und die sich daraus ergebende Notwendigkeit, den Riß zu schließen, um die Ablatio zu heilen.

Er nennt die noch heute gültigen Grundlagen für die operative Behandlung einer Ablatio retinae:

- praeoperative Ruhigstellung,
- genaue Darstellung der Retina durch exaktes Fundusspiegeln,
- Auffinden des Netzhautloches,
- Verschluß des Loches durch Operation.

Um chirurgisch eine Wiederanlegung einer abgelösten Netzhaut zu erreichen, werden unterschiedliche Verfahren angewandt.

Zu den Sklera eindellenden Operationsverfahren zählen dabei:

- Skleraresektion,
- Sklerafaltung,
- Skleratasche,
- Cerclage,
- episklerale Plombenoperation.

#### Skleraresektion

Erste operative Schritte zur Wiederanlegung einer Netzhaut unternimmt Müller [47]. Er benutzt eine sektorierende Skleraresektion, ohne sich am vorhandenen Netzhautloch zu orientieren.

Limbusparallele Streifen werden so aus der Sklera herauspräpariert, daß die Verknüpfung der Ränder der Sklerawunde zu einer Verkleinerung der Augapfelhülle

führt. Es kommt zu einer relativen Verschiebung des Netzhauttrisses, die aber nur eine unzureichende Tamponade zur Folge hat.

Lindner [43] führt eine lamelläre Skleraresektion durch, bei der die Sklera nicht mehr vollständig, sondern bis auf ca. 1/3 ihrer ursprünglichen Dicke abpräpariert wird.

Für prognostisch ungünstige Fälle einer Ablatio retinae (Netzhautfaltenverklebung, Strangfixation) schlägt er eine durchgreifende Skleraresektion und damit eine entsprechende Bulbusverkürzung vor. Er bezieht die Lokalisation erst später auf das Netzhautloch [44].

Auch Shapland [60] ist der Meinung, daß eine lamelläre Resektion eine sichere Vorgehensweise darstellt. Eine Anwendung kommt für ihn in folgenden Fällen in Betracht:

- langandauernde Ablösung, - bei Myopie, - in hohem Lebensalter, - bei Aphakie,
- in Fällen von Glaskörpertraktion, - bei Traumata,
- Mißerfolg bei alleiniger Ruhe und Abpolsterung.

Dellaporta [12] setzt die lamelläre Skleraresektion am Äquator der temporären Bulbushälfte für den Versuch der Bulbusverkürzung durch gleichmäßige Faltung der Sklera ein. Er erreicht beim Verschluss der entstandenen Wundlippen durch U-förmige Nähte eine sich nach innen wölbende Skleralamelle.

Clark [7] verbindet die lamelläre Skleraresektion mit der Anwendung der Diathermie. Es kommt aufgrund einer thermischen Koagulation zu einer Verletzung der Choroidea. Das sich bildende Exsudat dient zur Aufrechterhaltung der Flüssigkeitsbarriere zwischen Glaskörper und subretinalem Raum.

Pomerantzeff et al. [53] erstellen eine mathematische Analyse über den volumenvermindernden Effekt von Skleraresektionen. Sie zeigen, daß verschieden geformte Skleraresektate entsprechend unterschiedliche Volumenreduktionen des Bulbus bewirken. Der wirkungsvollste Volumeneffekt wird bei einer rechteckigen

streifenförmigen Resektion erzielt. Er entspricht einer aus einer Kugel herausgeschnittenen Scheibe.

Die bei schwerer Amotio durchgeführte Entfernung des Glaskörpers (Vitrektomie) ergänzen Hanson und Machemer [20] durch eine Membranabtragung und Sklerotomie, so daß sich die wieder mobilisierte Retina einem geringeren Bulbusumfang anlegen kann. Günstige Ergebnisse zeigen sich in besonders schweren Fällen, Mißerfolge bei länger bestehender Ablösung.

### Sklerafaltung

Als harmlos und technisch einfach beschreibt Weve [65] das von ihm entwickelte Verfahren der Sklerafaltung.

Die Technik besteht in einem schlingförmigen Anlegen eines Fadens durch obere Skleralagen ohne Perforation. Die Raffungsnaht ist radiär oder parallel zum Äquator oder örtlich zirkulär anlegbar. Die Knüpfung der Naht bewirkt eine Faltung der Sklera in Richtung Glaskörper und eine Bulbusverkürzung. Als Komplikation beschreibt Weve die lokalisierte Choroideablutung.

Aufgrund fehlender körperfremder Materialien, außer dem Nahtmaterial, können keine Abstoßungs- oder Entzündungsreaktionen entstehen. Die Eindellung der Sklera ist nur unzureichend dosierbar.

Everett [14] stellt eine als technisch sicher, schnell und unkompliziert durchzuführende Faltung der Sklera nach außen vor, um die Behandlung einer Netzhautablösung zu ermöglichen.

Er führt dazu einen meridionalen Skleraschnitt bis auf die Choroidea. In Richtung der geplanten Falte wird die Sklera von der Aderhaut gelöst. Der mit Pinzetten gehaltene Sklerawulst wird mit einer fortlaufenden Matratzennaht gesichert.

Vannas [63] verbindet die Skleraresektion mit der Faltung. Er präpariert einen lamellären Skleralappen, der an einer Stelle eine Verbindung zur Lederhaut behält.

Äußerer Wundrand und innere Lappenkante werden vernäht. Dadurch wölbt sich die untere Skleralamelle in Richtung Glaskörper und es kommt zu einer Verkürzung des Bulbusumfanges durch Raffung. Der restliche Skleralappen wird über die entstandene Naht gezogen und auf der Sklera fixiert.

Zur Verdeutlichung der Methode dient der folgende Bildauszug aus der Originalarbeit des Autors.

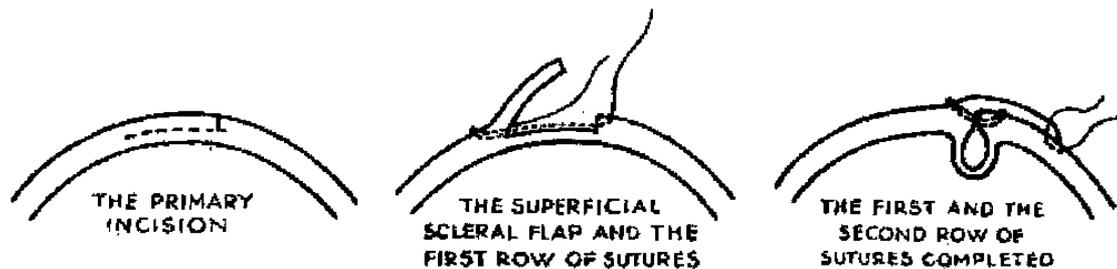


Bild 1: Bildauszug aus der Originalarbeit von Vannas [63]

Kennedy [27] bildet durch umschlagen eines lamellären Skleralappens nach innen eine Sklerarolle, die durch Vernähung in Kombination mit Punktion der subretinalen Flüssigkeit die notwendig Tamponade eines Netzhautloches bewirkt.

#### Skleratasche

Bei dieser skleraeindellenden Operationsmethode stellen Paufique und Hugonnier [52] die bekannteste intrasklerale Methode vor. Ausgehend von einem limbusparallelen Einschnitt wird ein breiter Lappen der Sklera, der seitlich von zwei radiären Schnitten abgegrenzt ist, präpariert.

Nach Koagulation der tiefen Sklerafäche werden Nähte auf die Ränder des Lappens gelegt und so eine Tasche gebildet. Eine sklero-choroideale Kompression wird durch Füllen der Skleratasche mit feinen Sklerastückchen eines Leichnams erreicht. Der hervorgerufene Wulst erinnere an einen Choroidaltumor.

Die intrasklerale Präparation birgt die Gefahr der Perforation und ist daher bei dünner Sklera nicht anwendbar.

Der Vorteil der Sklerataschen allgemein besteht vor allem in der Möglichkeit, größere Areale mit der tamponierenden Plombe zu erfassen [48].

Bei Reoperationen sieht Witmer [66] meist nekrotische Skleralamellen. Er bevorzugt als Füllmaterial Teflonfilz.

Für eine Kompression einer schon vorher behandelten Sklerazone beschreibt Paufigue [51] die episklerale Taschenoperation.

Dabei wird ein Skleralappen eines Leichnams in Taschenform auf die Bulbuswand genäht und entsprechend der intraskleralen Methode gefüllt.

Die episklerale Taschenoperation wird in abgewandelter Form weiterhin zur Behandlung von Löchern größerer Ausdehnung oder Netzhautlochgruppen genutzt [35]. Dabei wird das Taschenmaterial von Lincoff [42] bevorzugt, das aus einer mit einem Dacron-Netz verstärkten Silikonschicht besteht und mit elastischen Silikonschaumstoffstückchen gestopft wird.

#### Cerclage, Umschnürungsoperation

Umschnürende Eingriffe zur Behandlung einer Netzhautablösung werden durch Schepens [59] eingeführt.

Zur Erzeugung einer Skleravorbuckelung verwendet er eine zirkuläre Polyethylplombe. Nach exakter Lokalisation wird in Lochhöhe eine lamelläre Skleraresektion zirkulär, parallel zum Äquator, ausgeführt.

Nach Anwendung der Diathermie erfolgt auf ganzer Länge der Resektion das Einnähen eines dünnen Polyethylentubus. Die Ränder der Sklerawunde werden über dem Röhrchen adaptiert.

Grignolo [19] empfiehlt für Fälle, in denen bereits erfolglos eine Elektrokoagulation angewandt wurde, den Einsatz eines zirkulär um den Bulbus gelegten Polyethylentubus von 1mm Durchmesser.

Der Tubus überbrückt das Netzhautloch und wird an der Sklera durch zwei Nähte fixiert. Die Enden des unmittelbar auf dem Bulbus entlanggeführten Tubus werden durch einen Supramidfaden unter Spannung vereinigt. Eine geeignete Stelle dient zum Ablassen der subretinalen Flüssigkeit.

Zur Vermeidung von Granulombildung verwenden Everett u. Sharrer [15] eine Silikon-Gummi-Röhre, in deren Lumen ein Mersilenfaden oder ein rostfreier Stahldraht verläuft. Die Enden werden mit Silikonleim wasserdicht verbunden.

Für verschleppte oder vergebens operierte Fälle und bei ausgedehnten Oraablösungen schlägt Arruga [1] eine Variation vor. Dabei legt er die Sklera in den 4 Quadranten zwischen den Muskeln frei. Die Diathermie kommt im Reißbereich zur Anwendung. Mit einer Skleranadel wird ein Nylon-, Seiden- oder Supramidfaden parallel zum Äquator geführt. Nach Punktion von subretinaler Flüssigkeit erfolgt die Injektion von Luft in den Glaskörperaum und das Anziehen der geknüpften Fäden.

Die klinische Anwendung der Umschnürungsoperation führt zur Verbesserung und Abwandlung von Teilen der Methode.

Aufgrund des größeren postoperativen Risikos, hier speziell mit erschwerter Verlagerung, erhöhter Nekrosegefahr der voneinander getrennten Skleralamellen und erhöhter Infektionsgefahr, zählt die Umschnürungsoperation nicht zu den standardmäßigen konventionellen Behandlungsmethoden einer Netzhautablösung.

Wichtige Komplikationen sind die Ischämie des vorderen Augensegmentes durch Abschnüren nutritiver Gefäße, gehäuftes Vorkommen von Glaukom, Aderhautabhebung und Enophthalmus.

Die Umschnürung (Cerclage) kann vorteilhaft mit verschiedenen anderen Verfahren kombiniert werden, vor allem mit einer radiären Silikonschaumstoffplombe [48].

## episklerale Plombenoperation

Die rißbedingte Netzhautablösung, soweit nicht durch massive intravitreale oder präretinale Schrumpfung kompliziert, ist in über 90% der Fälle, inklusive der Nachoperationen, heilbar.

Nach dem Prinzip von Custodis wird bei der episkleralen Plombenoperation der Netzhautriß gezielt behandelt. Nach einer radiär orientierten Matratzennaht wird eine Silikonschaumplombe unter Spannung auf der Sklera im Bereich des Loches fixiert.

Die elastische Plombe wird dabei etwa auf die Hälfte ihres Volumens zusammengedrückt. Postoperativ dehnt sich die Plombe aus und es kommt zur bleibenden Tamponade des Netzhautloches. Zur Erreichung der chorioretinalen Adhäsion wird die Kryopexie eingesetzt.

In Modifikationen, die dem allgemeinen technischen Fortschritt entsprechen oder aus individueller Gestaltung des Prinzips hervorgegangen sind, wird der gezielte Rißverschluß bei schon eingetretener Netzhautablösung durch Eindellungsverfahren fast überall praktiziert [4].

Nur wenn diese Methode aufgrund der Verstärkung des Glaskörpers, der fortgeschrittenen Steifheit der Netzhaut, der zentralen Lokalisation der Löcher oder der Vielzahl der Löcher nicht ausreicht, ist eine Pars plana Vitrektomie erforderlich [8].

Stone et al. [62] zeigen in einer sonographischen Untersuchung zum Langzeiteffekt des entstandenen Sklerawulstes bei der episkleralen Plombenoperation, daß postoperative Stabilisierung und Verkapselung durch Narbengewebe zu einer langjährigen Persistenz beitragen.

## 2 Material und Methode

Zur vergleichenden Untersuchung unterschiedlicher Techniken der Aufnähung einer Plombe im Rahmen der episkleralen Plombenoperation der Netzhaut wird eine experimentelle Modellvorrichtung entwickelt. Die Nahtabwandlungen sollen den Auflagedruck der Plombe auf der Sklera abmildern können und gleichzeitig eine ausreichende Vorwölbung erzeugen.

Bei der Realisierung des Modells sind neben dem Ähnlichkeitsgesetz folgende Charakteristiken des Auges berücksichtigt:

1. kugelige Form,
2. anatomischer Aufbau,
3. positiver Innendruck.

Für das Modell bedeutet dies:

1. eine Halbkugel, mit beidseitiger Betrachtungsmöglichkeit,
2. eine Schaumstoffschicht als skleraähnliche, verformbare, nähbare Außenhülle, mit Möglichkeit zur Darstellung der aktuellen Spannungsverhältnisse,
3. eine Innenblase aus Polyethylenfolie mit angeschlossenem Manometer.

Das realisierte Modell dient der Darstellung einer auf die Sklera aufgenähten Plombe. Dabei lassen sich Aussagen zur Lage und Form der Plombe und zu den Spannungsverhältnissen machen.

Erreicht wird dies durch die Erfassung von Lagekoordinaten in drei Ebenen. Das Modell kann so den verschiedenen zu untersuchenden Nahtführungen gerecht werden.

Die Ergebnisse sind schematisch darstellbar.

Die Innenblase ist aus einer Polyethylen(PE)-Folie gefertigt. Die schrumpffähige Folie läßt sich mit Hilfe einer Metallhalbkugel und eines Heißluftföhnes verformen.

Dach und Boden der Folienblase werden mit einer Klebepistole und einem LötKolben dicht verbunden.

Ein eingearbeiteter Fahrradventileinsatz ermöglicht die Füllung der Blase mit Luft. Hierzu dient eine einfache Luftpumpe, die über einen Drei-Wege-Hahn und einen flexiblen Gummischlauch mit der Innenblase verbunden ist. Füllung und Entlastung der Blase sind durch den Hahn regelbar.

Die äußere Schaumstoffschicht hat eine Dicke von ca. 8 mm. Der Schaumstoff wird in handelsüblichen rechteckigen Platten erworben.

Die kugelige Verformung einer rechteckigen Platte führt zur unerwünschten Faltenbildung. Um dies zu umgehen, wird der Schaumstoff in Segmente, ähnlich denen eines Globus, zerschnitten und mittels eines speziellen Schaumstoffklebers zu einer Halbkugel zusammengefügt. Der Klebstoff wird mittels eines Schaumstoffstückes gleichmäßig auf die Schnittflächen der Segmente getupft. Die Klebenähte führen zu keiner störenden Veränderung der elastischen Eigenschaften der Halbkugelkalotte, da sie weder eine Kontraktion durch Austrocknung zeigen, noch kommt es zu einer Erstarrung der Trennlinien. Dadurch kann die Kräftemessung auch über die Segmentgrenzen hinweg erfolgen.

Die Form der Segmente läßt sich näherungsweise mit Hilfe einer Kugelabwicklung [64] bestimmen.

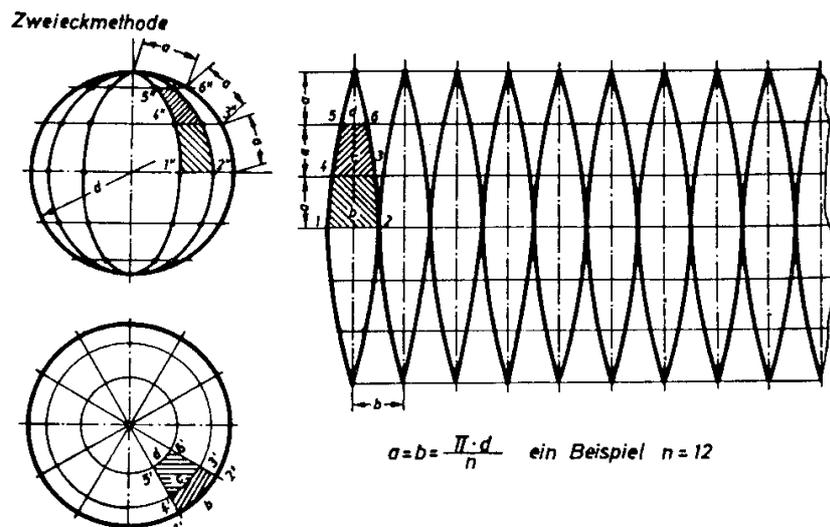


Bild 2: Kugelabwicklung [64]:  $a = b = (\pi \cdot d)/n$ ,  $n = 12 =$  Anzahl Segmente,  $d = r/2$

Zur Prüfung des Elastizitätsmodules des Schaumstoffs wird ein Zugversuch angewandt. Ein Schaumstoffstreifen von 10 mm Breite und 100 mm Länge wird in eine Klemmvorrichtung eingespannt und über eine Kette mit einem Gewicht belastet. Die Kette läuft über ein Umlenkzahnrad.

Für den Abstand zweier Meßpunkte wird bei unterschiedlicher Gewichtskraft  $F_G$  die Längenänderung gemessen.

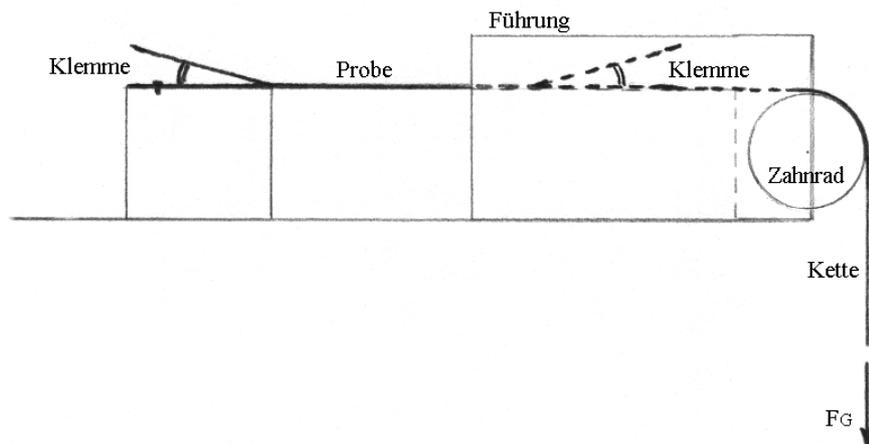


Bild 3: Skizze Zugversuch Schaumstoff

Ein aus Holz erstellter Rahmen hält zwei Hartfaserplatten, zwischen denen Innenblase und Schaumstoffschicht eingeklemmt sind.

Um die Verformung der Blase bei einer aufgenähten Plombe zu beobachten, ist ein Sichtfenster aus Polymethylmetacrylat (PMMA) in den Boden eingearbeitet.

Zur erleichterten Handhabung des Modells dient ein Holzgestell, in dem der Rahmen in einem Freiheitsgrad, der Horizontalen, geschwenkt werden kann.

Plombe und Faden sind ebenfalls für die Simulation einer Plombenoperation angenähert. Die Plombe ist aus einem Schlauchverband und Füllwatte gefertigt. Sie ist flexibel, ermöglicht eine reversible Verformung mit Formgedächtnis und läßt sich auf den Schaumstoff des Modells aufnähen. Näherungsweise kann bei der Plombe in Ruhe von einem runden Querschnitt ausgegangen werden.

Die elastischen Eigenschaften der Plombe bzw. ihr Elastizitätsmodul werden mit Hilfe eines Druckversuches getestet.

Hierzu wird die zu untersuchende Plombenprobe über einen Druckzylinder mit einem Gewicht belastet. Als Druckzylinder dient ein starres Kunststoffrohr. Um ein seitliches Abkippen zu verhindern, wird das Rohr in einer Führung gehalten. Die durch die Gewichtskraft  $F_G$  bedingte Durchmesseränderung kann an einer Skala abgelesen werden.

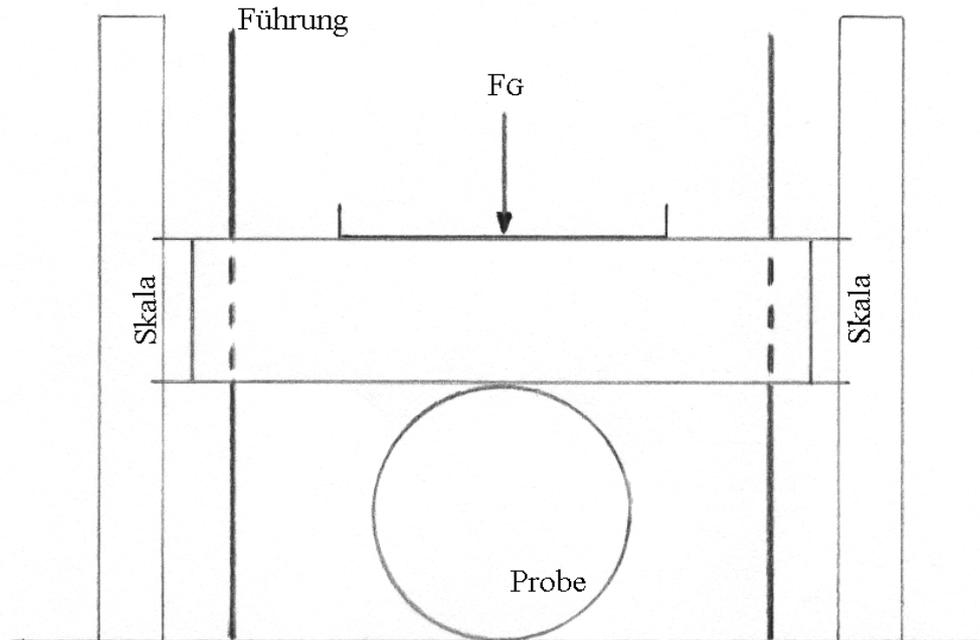


Bild 4: Skizze Druckversuch Plombe

Der bei der Aufnähung der Plombe verwendete Wollfaden wird zwischen Schaumstoff und Folienblase geführt. Dabei kann nach Überwindung einer Anfangselastizität der Faden außerhalb dieses Meßbereiches als starr angesehen werden, ähnlich dem Nahtmaterial bei Netzhautoperationen.

Die Festigkeit des Schaumstoffs läßt eine Fadenführung innerhalb des Materials nicht zu. Sie ermöglicht andererseits die subtile Änderung der Spannungsverhältnisse ohne Informationsverlust.

Der der Folie aufliegende Schaumstoff ist an seiner Oberfläche in einem Viertel der Halbkugel mit Meßpunkten, durch einen Filzschreiber aufgebracht, versehen.

Die Markierung eines Viertels der Fläche ist für die Untersuchung ausreichend. Die erhobenen Meßwerte lassen sich übersichtlich darstellen.

Die Meßpunkte sind radiär von der Basis bis zum Scheitelpunkt der Halbkugel angeordnet. Als Abstand zwischen zwei Punkten wird eine Größe von 2 cm gewählt. Schematisch ergibt sich folgende Meßpunktanordnung:

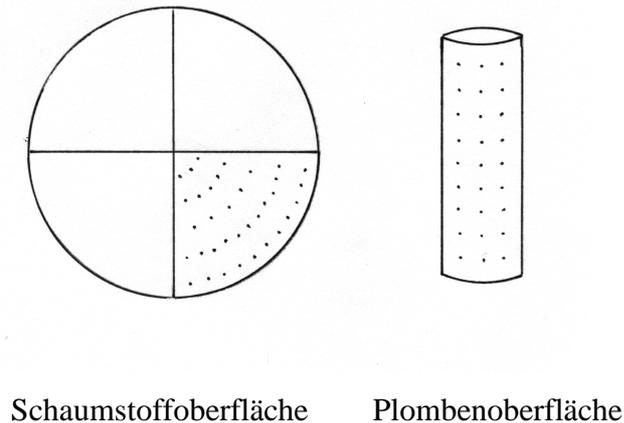


Bild 5: Meßpunktanordnung

Die Oberfläche der Plombe ist ebenfalls markiert. Die Bezugspunkte sind in Reihen angeordnet. Der Reihenabstand beträgt 2 cm, der Punkteabstand 2 cm.

Zur Erfassung einzelner Meßpunkte mit Lagekoordinaten in den Ebenen x, y und z dient eine entsprechend konstruierte Meßvorrichtung:

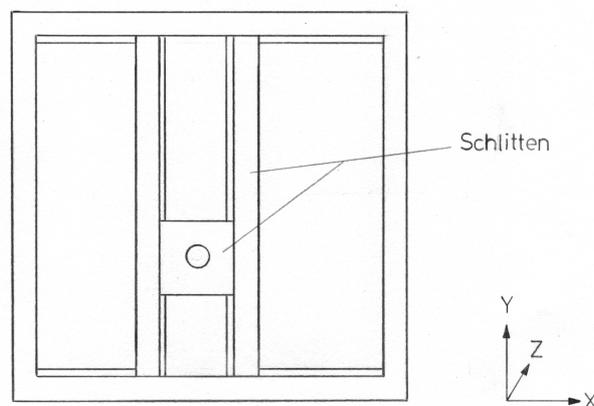


Bild 6: Meßvorrichtung

Ein in ausreichender Höhe angebrachter Holzrahmen hält einen Schlitten, der in x-Richtung verschoben werden kann. Innerhalb dieses Schlittens läßt sich ein zweiter Schlitten in y-Richtung verschieben. Dieser wiederum trägt eine Vorrichtung, die in unterschiedlicher Höhe, z-Richtung, einstellbar ist.

Beim Bau der Meßvorrichtung kommen nur handelsübliche Materialien, wie Holzlatten, Aluminiumprofile, Metallstangen, Schrauben, Federn etc. zum Einsatz.

Die folgenden Bilder 7 und 8 zeigen die Meßvorrichtung. Bild 8 erläutert skizzenhaft die wesentlichen Elemente.

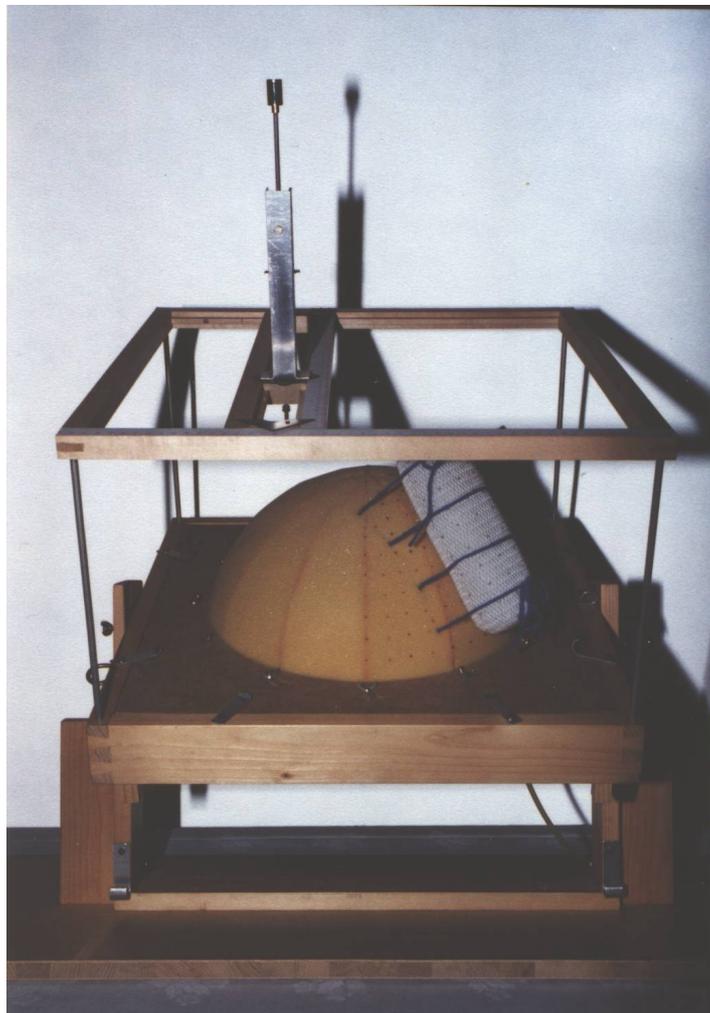


Bild 7: Modellaufbau – Halbkugel, Plombe, Meßvorrichtung

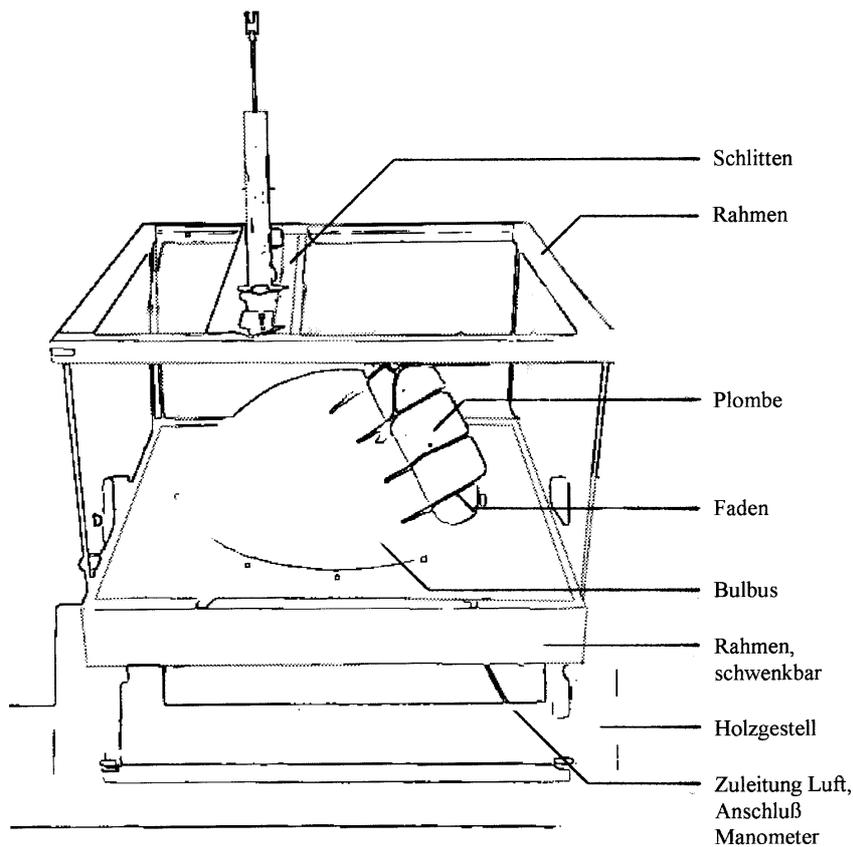


Bild 8: Skizze Modellaufbau

Die von beiden Oberflächen erhobenen Meßpunkte ermöglichen eine ausreichende Erfassung der bei den verschiedenen Aufnahmefethoden auftretenden unterschiedlichen Verformungen.

Ist die Plombe auf den Schaumstoff aufgenäht, verdeckt sie die unter ihr liegenden Markierungen der Schaumstoffoberfläche. Um eine Aussage über die entstandene Krümmung der unterhalb der Plombe liegenden Fläche machen zu können, liegt zwischen Schaumstoffoberfläche und Plombe eine haushaltübliche Aluminiumfolie. An dem in unterschiedlicher Höhe (z-Richtung) einstellbaren Meßstab ist an dessen Ende eine atraumatische Spinal-Nadel (24G Sprotte-Nadel) befestigt. Diese ist, wie die Aluminiumfolie, über ein Kabel mit einem digitalen Multimeter verbunden.

Bei Messung der Lagekoordinaten der Markierungspunkte der Plombe werden zunächst die Koordinaten ihrer Oberfläche erfaßt. Mit Hilfe der Nadel und der Konstruktion der Plombe ist es möglich, durch die Plombe hindurchzustechen. Erreicht die Nadel die unter der Plombe liegende Aluminiumfolie, entsteht ein elektrischer Durchgang. Das angeschlossene Multimeter reagiert mit einem akustischen Signal. Die z-Koordinate der Plombenunterseite bzw. der verdeckten Schaumstoffoberfläche wird erfaßt. Dabei sind die Koordinaten von Plombe und Schaumstoff in x- und y-Richtung gleich.

Um den für die Messung im Modell notwendigen Druck zu gewährleisten, wird die Innenblase über den eingebauten Ventileinsatz mit Hilfe einer Luftpumpe befüllt. Über eine Infusionsverlängerung ist ein bereits beschriebener Drei-Wege-Hahn an eine Druckmessung angeschlossen. Diese ermöglicht eine Aussage über den in der Blase vorherrschenden Luftdruck.

Die Druckmessung wird mit Hilfe eines selbst konstruierten U-Rohr-Manometers kontrolliert. Ein Kunststoffschlauch mit einem Außendurchmesser von 11 mm und einem Innendurchmesser von 8 mm wird auf einem geeigneten Brett u-förmig befestigt.

Der Schlauch ist mit Wasser gefüllt. An beiden Schenkeln des Manometers befindet sich eine Skalierung in cm. Bei Druckmessung ist eine Angabe des Druckunterschiedes von Blasendruck zu Umgebungsdruck in mm WS möglich. Der Modellaufbau wird verdeutlicht in Bild 9. Alle Messungen erfolgen bei Zimmertemperatur (20 °C) und einem Überdruck von 34 mm WS in der Blase. Dies entspricht einem Sechstel des durchschnittlichen mit der Tonometrie gemessenen Augeninnendruckes von 204 mm WS oder 15 mm HG [36].

Nach dem Ähnlichkeitsgesetz müssen die Druckverhältnisse nicht absolut, jedoch in ihren relativen Verhältnissen annähernd wiedergegeben werden. Auch die geometrischen Abmessungen von Kugelkalotte und Plombe sind ähnlich wie am Auge. Dazu kommen die Relationen der Elastizitätsmodule.

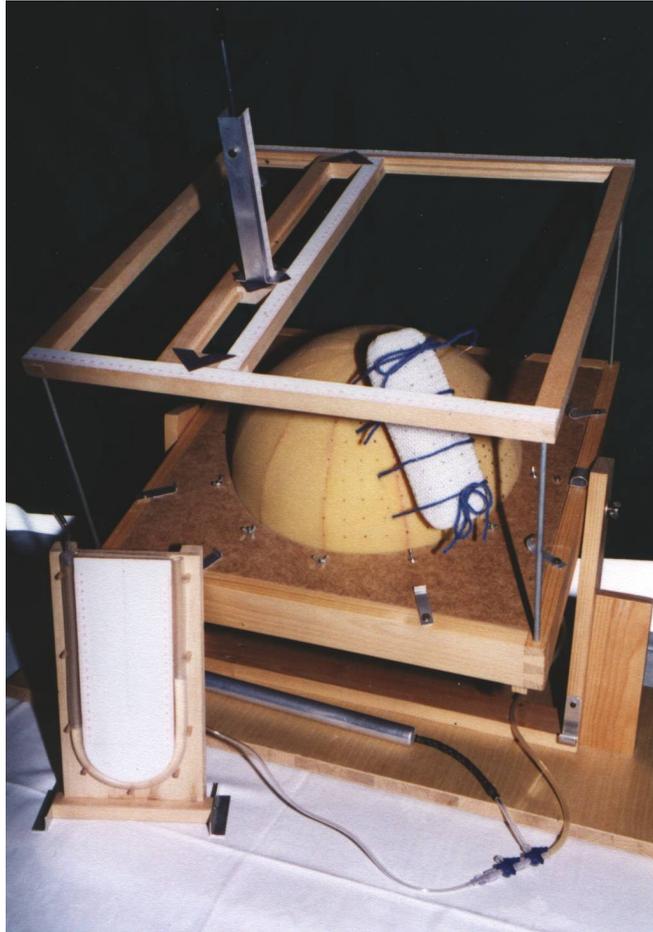


Bild 9: Modellaufbau - Halbkugel, Plombe, Meßvorrichtung, Druckmessung

Mit dem beschriebenen Modell werden unter gleichen Bedingungen 3 unterschiedliche Methoden der Aufnähung einer Plombe bei der episkleralen Plombenoperation zur Behandlung von Netzhautablösungen untersucht.

Der Nahtabstand entspricht dem halben Plombenumfang  $NA = U/2 = \pi \cdot d/2 = \pi \cdot r$ , sowohl am Auge, als auch am Modell.

In Bild 10 ist die Fadenführung der Nahtmethode a schematisch aufgetragen. Zur besseren räumlichen Vorstellung dient eine zusätzliche Skizze.

Als konventionelle Methode a ist dabei die Art der Befestigung bezeichnet, bei der, wie in der Klinik üblichen Form, die Plombe auf der Sklera liegend mit einer Matratzennaht aufgenäht wird. Hierbei wird die Sklera sowohl imprimiert, als auch unter horizontale Spannung gesetzt.

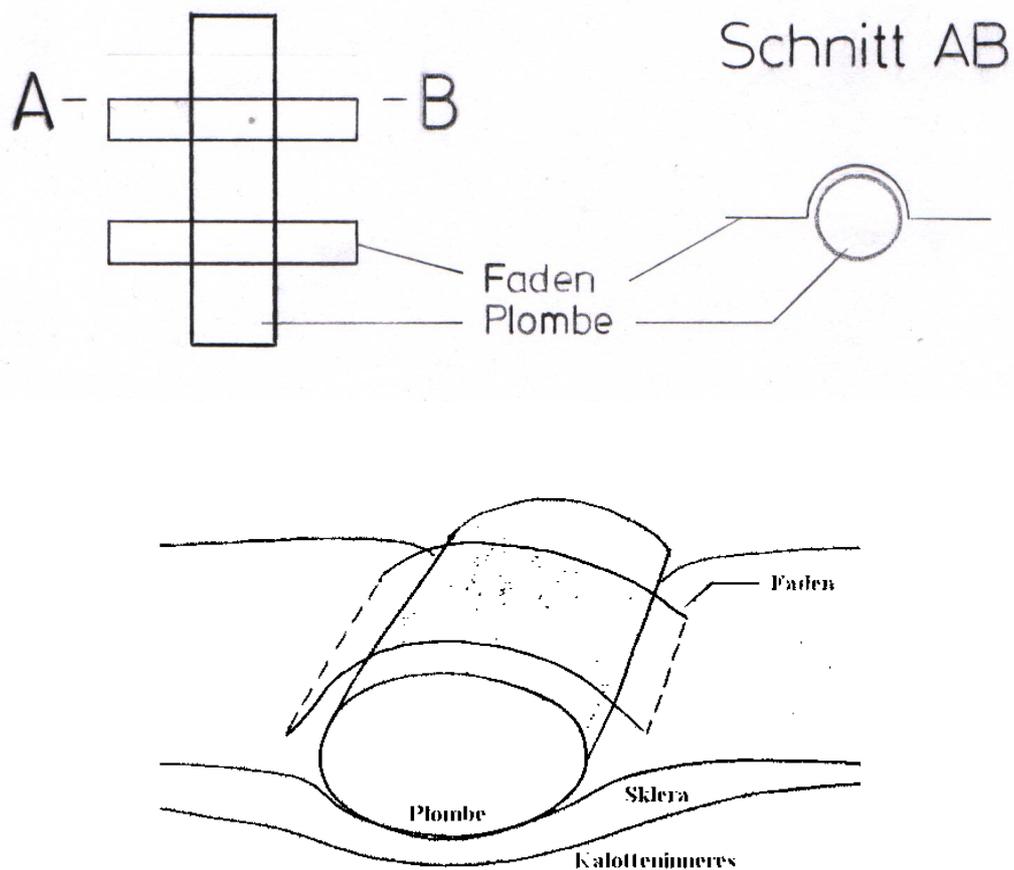


Bild 10: Skizze Fadenführung Methode a, konventionelle Matratzennaht

Methode b kennzeichnet eine Fadenführung, bei der der Faden seitlich in die Plombe eingebracht, bis zur Mitte gezogen und seitlich wieder ausgeführt wird. Der Anpreßdruck auf die Sklera wird vermindert und eine Prominenz erhalten. Die schematische Darstellung verdeutlicht dieses Verfahren.

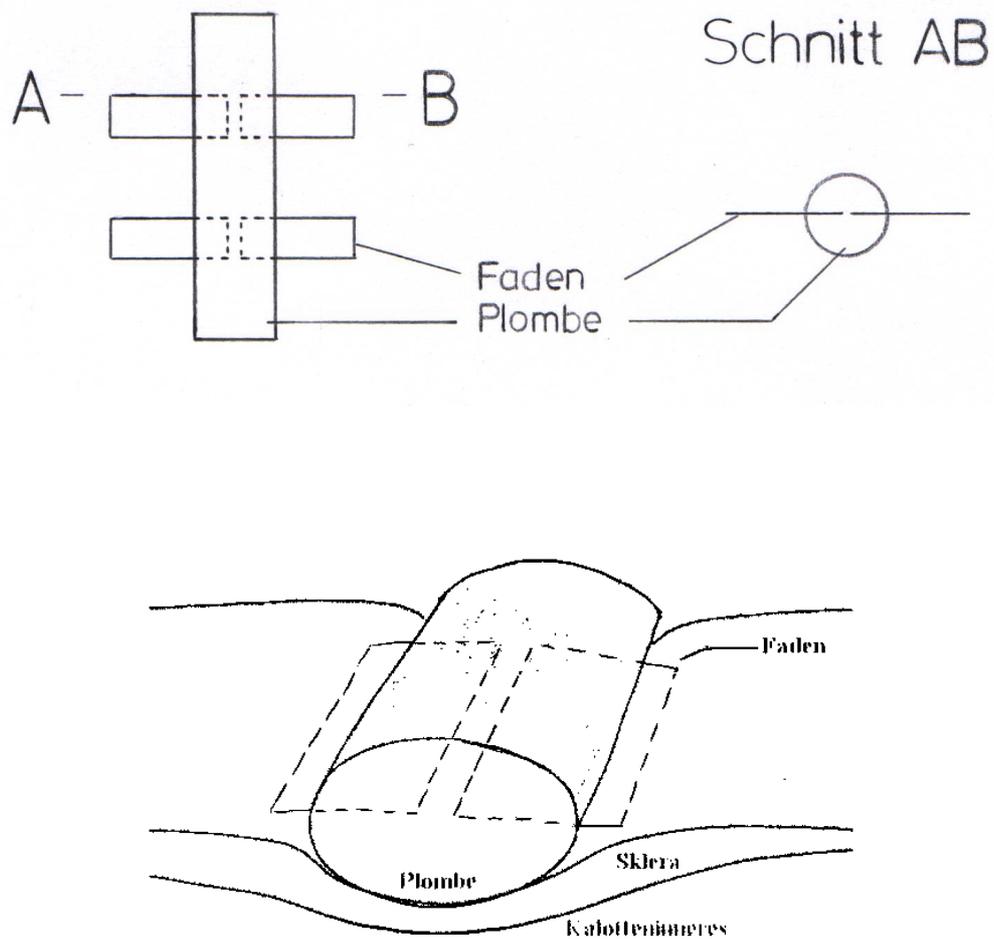


Bild 11: Skizze Fadenführung Methode b

Bei der Methode c wird der Faden zunächst ebenfalls seitlich in die Plombe eingeführt. Im weiteren Verlauf erreicht er den oberen Scheitelpunkt der Plombe. Nach oberflächlicher Führung tritt der Faden an der Seite der Plombe wieder aus. Wie unter b wird die horizontale Spannung an der Sklera abgebaut und eine Prominenz erzeugt.

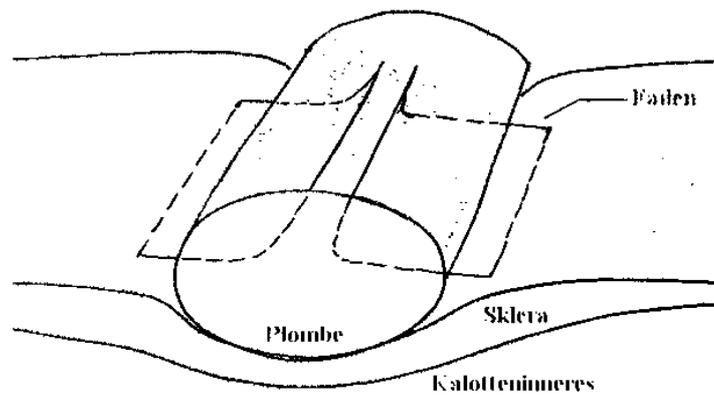
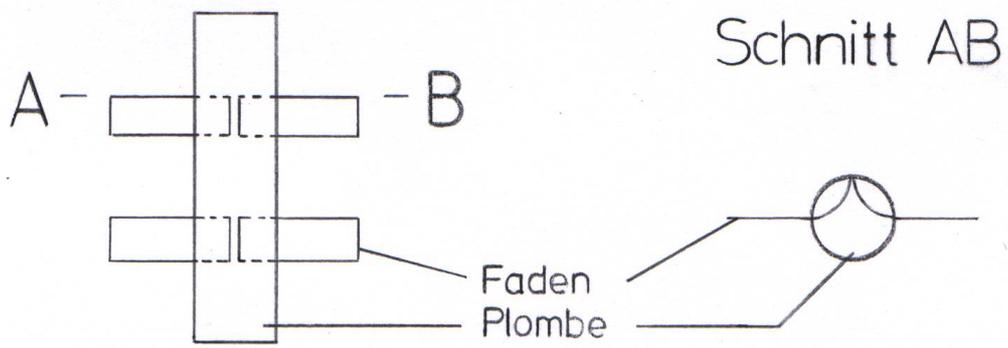


Bild 12: Skizze Fadenführung Methode c

### 3 Ergebnisse

Zur Prüfung der elastischen Eigenschaften des verwendeten Modellschaumstoffs wird ein Zugversuch angewandt. Der Abstand zweier Meßpunkte auf einem Proben-Streifen mit  $l_0 = 30$  mm wird bei aufgebracht unterschiedlicher Gewichtskraft als Längenänderung gemessen. Die Meßwerte sind in Tabelle 1 eingetragen.

Gewicht [kg]	$l - l_0$ [mm]	$F_G$ [N]	$\cdot 10^{-3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		E [N/mm <sup>2</sup> ]
0,10	2,2	0,981	3,270	0,073	0,045
0,15	3,4	1,472	4,907	0,113	0,043
0,20	4,6	1,962	6,540	0,153	0,043
0,25	5,7	2,453	8,177	0,190	0,043
0,30	6,2	2,943	9,810	0,207	0,047
0,35	7,0	3,434	11,447	0,233	0,049
0,40	7,8	3,924	13,080	0,260	0,050
0,45	8,5	4,415	14,717	0,283	0,052
0,50	9,8	4,905	16,350	0,327	0,050

$F_G$  = Gewichtskraft,  $\sigma$  = Spannung,  $\varepsilon$  = Dehnung, E = Elastizitätsmodul

Tabelle 1: Meß- und Elastizitätswerte Zugversuch Schaumstoff

Werden die erhaltenen Meßwerte in einem Gewicht-Längenänderung-Diagramm aufgetragen, ergibt sich der in Bild 13 gezeigte Kurvenlauf.

Zugversuch Schaumstoff Modell

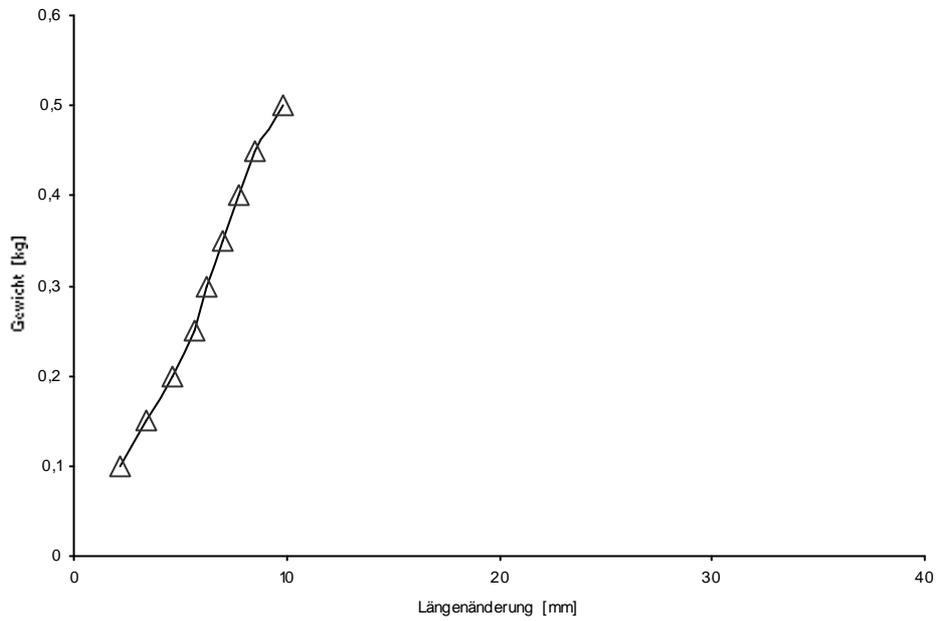


Bild 13: graphische Darstellung der Meßwerte Zugversuch Schaumstoff

Gewicht [kg]	$d_0 - d$ [mm]	$F_G$ [N]	$\cdot 10^{-4}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		$E \cdot 10^{-3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
0,10	7,0	0,981	2,549	0,117	2,178
0,15	9,0	1,472	3,824	0,150	2,549
0,20	13,0	1,962	5,098	0,217	2,349
0,25	16,1	2,453	6,373	0,268	2,378
0,30	18,5	2,943	7,647	0,308	2,482
0,35	22,5	3,434	8,923	0,375	2,379
0,40	23,1	3,924	10,196	0,385	2,648
0,45	24,2	4,415	11,472	0,403	2,846
0,50	27,8	4,905	12,745	0,463	2,752

$F_G$  = Gewichtskraft,  $\sigma$  = Spannung,  $\epsilon$  = Dehnung, E = Elastizitätsmodul

Tabelle 2: Meß- und Elastizitätswerte Druckversuch Plombe

Die elastischen Eigenschaften der Modellplombe sind mit Hilfe eines Druckversuches getestet. Dabei dient ein starres Kunststoffrohr mit einem Durchmesser von 45 mm als Druckzylinder. Es wird von oben mit einem Gewicht belastet. Für  $d_0 = 70$  mm sind die Meßwerte in Tabelle 2 eingetragen. Das graphische Ergebnis zeigt Bild 14.

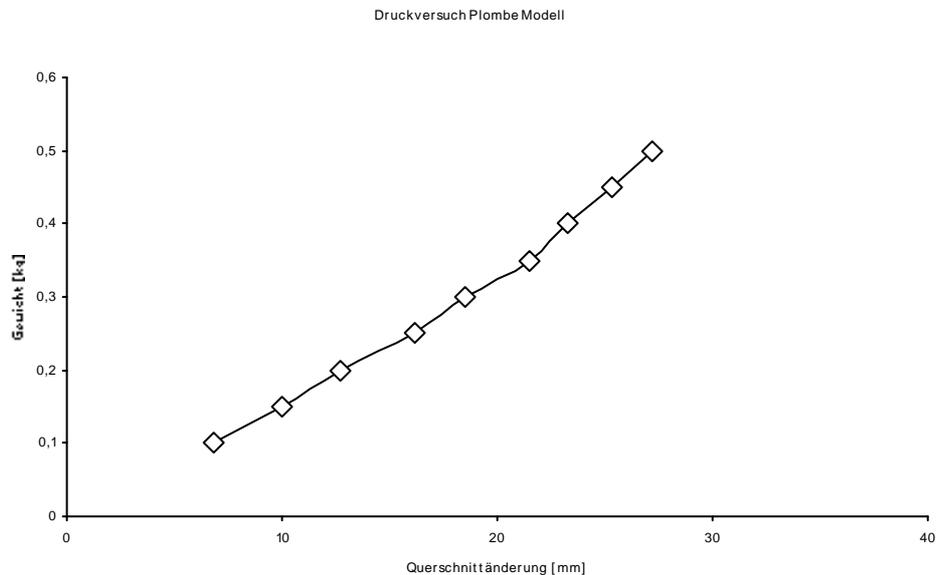


Bild 14: graphische Darstellung der Meßwerte Druckversuch Plombe

Die beiden Meßreihen zur Elastizität ergeben, daß im Meßbereich nahezu eine lineare Beziehung zwischen Kraft und Formänderung, also eine gleichbleibende Elastizität erreicht wird.

Die Beurteilung der Elastizitätsmodule von Plombe und Schaumstoffhülle zeigt, daß die Modellplombe um ca. den Faktor 18 weicher als die Modellschaumstoffhülle ist. Am Auge ist die Sklera rund 10 bis 15 mal weniger elastisch als die bei einer Netzhautoperation aufgenähten Schaumstoffplombe.

Mit dem beschriebenen Modell kann die Lage der Bezugspunkte von Schaumstoffoberfläche und Plombe gemessen werden.

Das Computerprogramm Medina© ermöglicht mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode eine standardisierte Geometrie-Berechnung und die dreidimensionale Darstellung der Meßwerte.

Die folgenden Bilder 15, 16, und 17 dienen zur Einführung der Vorstellung der Ergebnisse und zeigen erstellte Graphiken der Nahtmethode a.

Bild 15 zeigt die Schaumstoffoberfläche (grün) mit der aufgenähten Plombe (rot). Die Meßpunkte sind gitterartig verbunden. Die Basis des Halbkugelviertels liegt im vorderen, die Spitze im hinteren Betrachtungsraum.

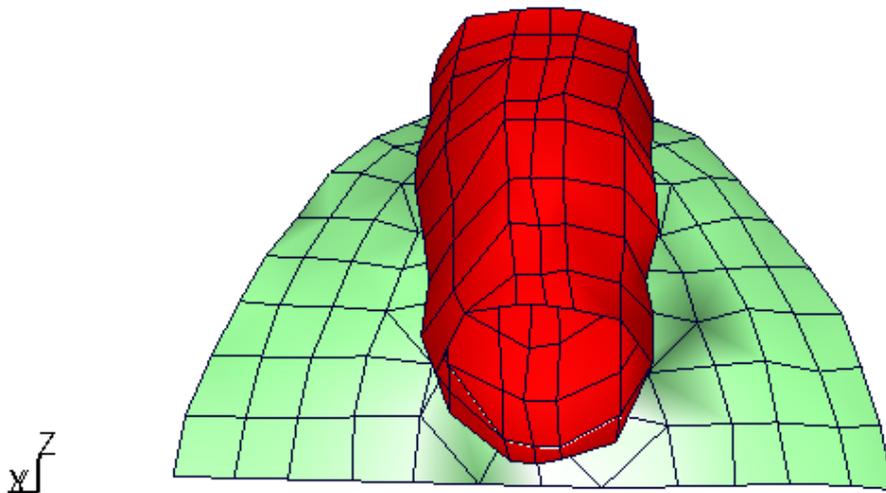


Bild 15: Schaumstoffoberfläche mit aufgenähter Plombe im Modell, Nahtmethode a

Um eine bessere räumliche Vorstellung der Ergebnisse zu erhalten, zeigen die Bilder 16 und 17 eine Schräg- und Seitenansicht.

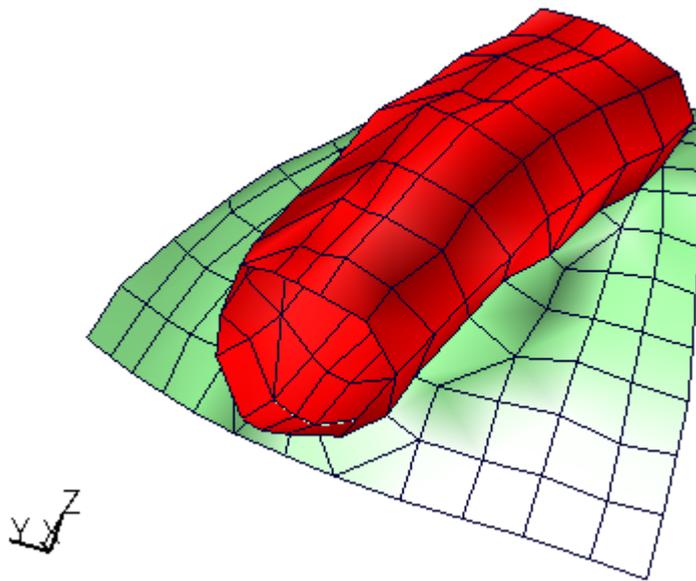


Bild 16: Schaumstoffoberfläche mit aufgenähter Plombe, Schrägansicht

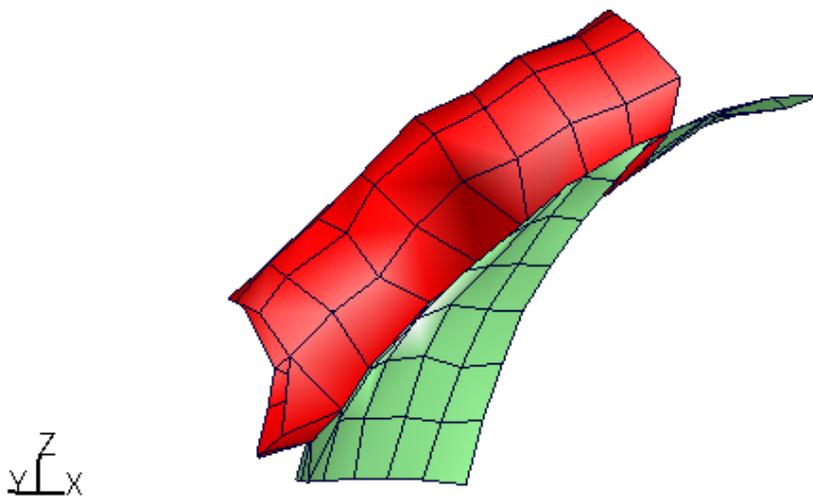


Bild 17: Schaumstoffoberfläche mit aufgenähter Plombe, Seitenansicht

Die Drehung der Bilder im dreidimensionalen Raum ermöglicht eine Sicht „durch“ die Plombe, da Oberfläche und Unterseite erfaßt sind. Die Enden sind unberücksichtigt. In Bild 18 und Bild 19 sind eine „Durchsicht“ von der Basis zur Spitze bzw. von der Spitze zur Basis dargestellt.

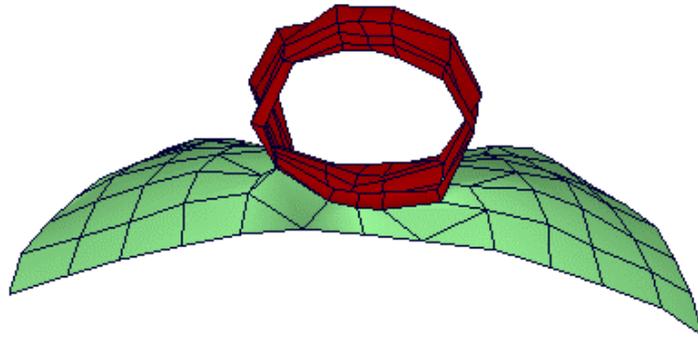


Bild 18: Schaumstoffoberfläche mit aufgenähter Plombe, Blick von Basis zur Spitze

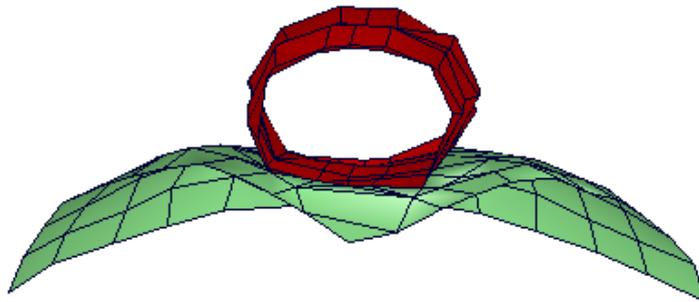


Bild 19: Schaumstoffoberfläche mit aufgenähter Plombe, Blick von Spitze zur Basis

Die bisherigen Bilder sind mit Meßwerten der konventionellen Methode a erstellt. Eine vergleichende Betrachtung der einzelnen Nahtmethoden zeigt Bild 20. Methode c ist in gelb, Methode b in blau aufgetragen. Bei c ist eine deutliche Verformung der äußeren Oberfläche der Plombe gegenüber b zu erkennen.

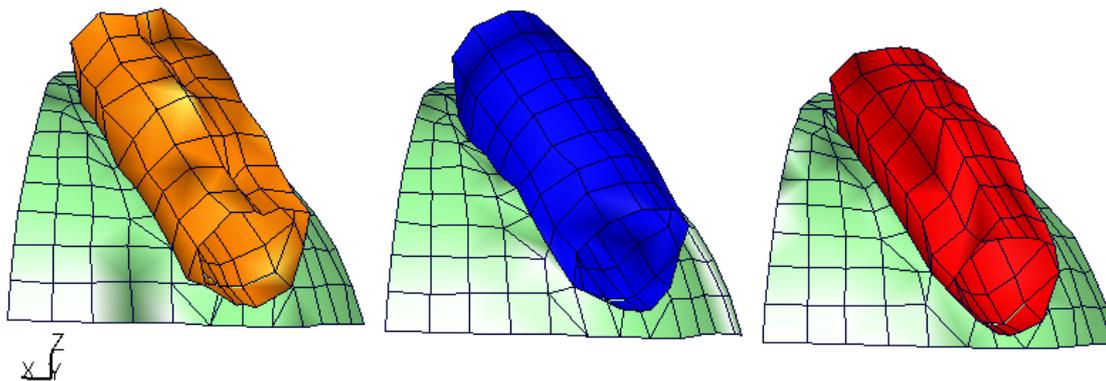


Bild 20: vergleichende Darstellung Nahtmethode c (gelb), b (blau), a (rot)

Einen Blick von innen seitlich bei Methode b in Bild 21 läßt im Vergleich zu Bild 22 bei Methode c außer einer unterschiedlichen Plombengeometrie keine größere Abweichung in der Veränderung der Schaumstoffoberfläche erkennen.

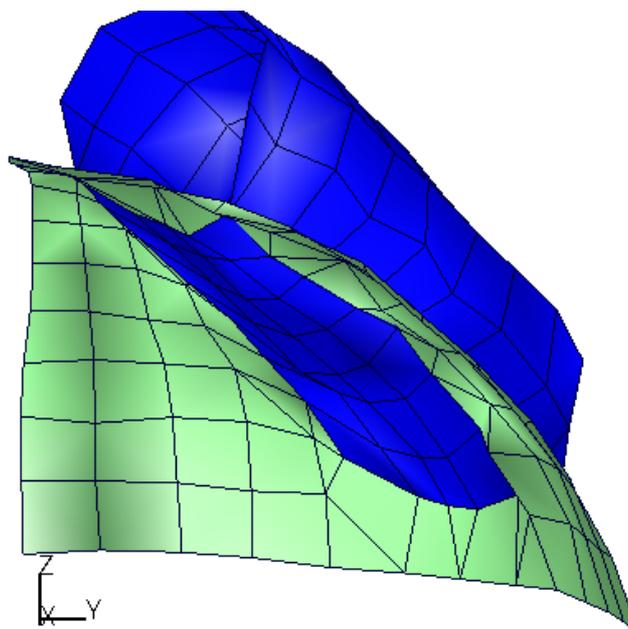


Bild 21: Schaumstoffoberfläche mit aufgenähter Plombe, Methode b

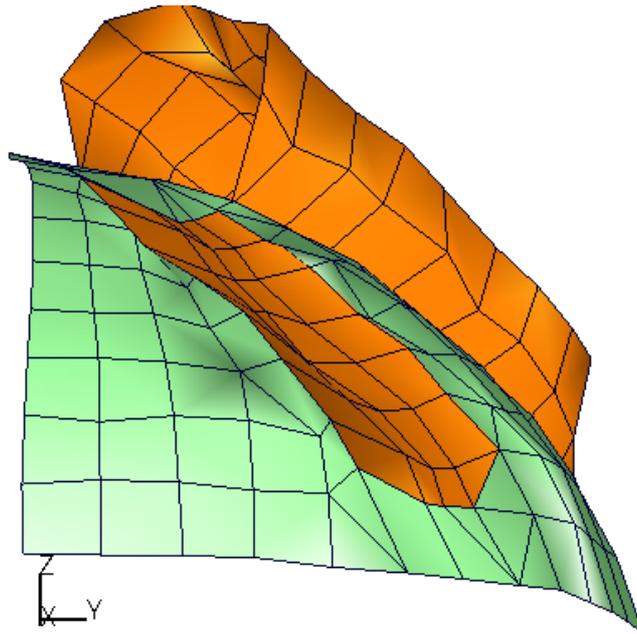


Bild 22: Schaumstoffoberfläche mit aufgenähter Plombe, Methode c

Bild 23 und 24 ermöglichen eine weitere Beobachtung der Unterscheidungsmerkmale beider Aufnaharten. Bei Version b erscheint im Gegensatz zu c der obere Plombenteil kaum verändert. Zum Vergleich mit der konventionellen Methode ist Bild 19 nochmals aufgetragen.

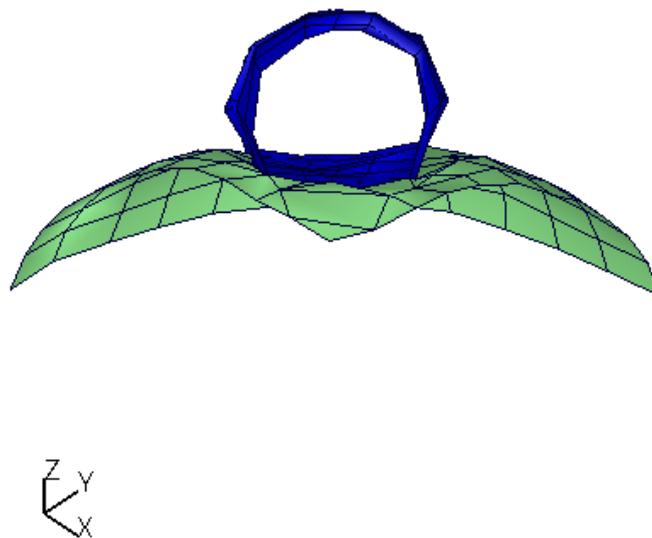


Bild 23: Schaumstoffoberfläche mit aufgenähter Plombe, Methode b

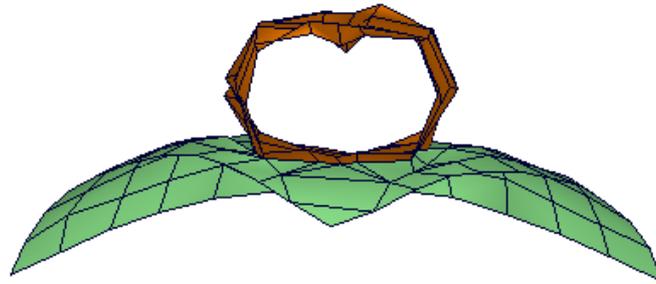


Bild 24: Schaumstoffoberfläche mit aufgenähter Plombe, Methode c

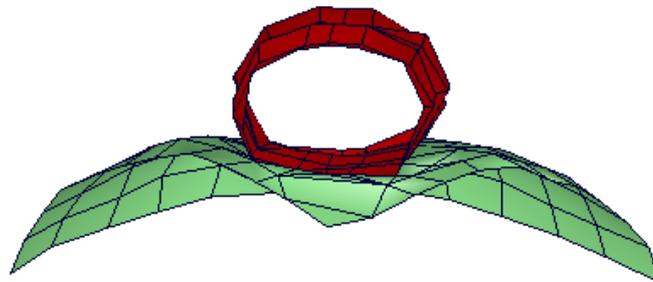


Bild 19: Schaumstoffoberfläche mit aufgenähter Plombe, konventionelle Methode a

Die Unterschiede der Methoden werden in Bild 25 verdeutlicht. Hier sind die einzelnen Plomben zusammengelegt und in einem Schnitt gezeigt. Methode b (blau) fällt durch

einen halbrunden Plombenoberteil auf. Die Unterseite erreicht die niedrigste Eindringtiefe. Konventionelle Methode a (rot) und Version c (orange) erscheinen elliptisch.

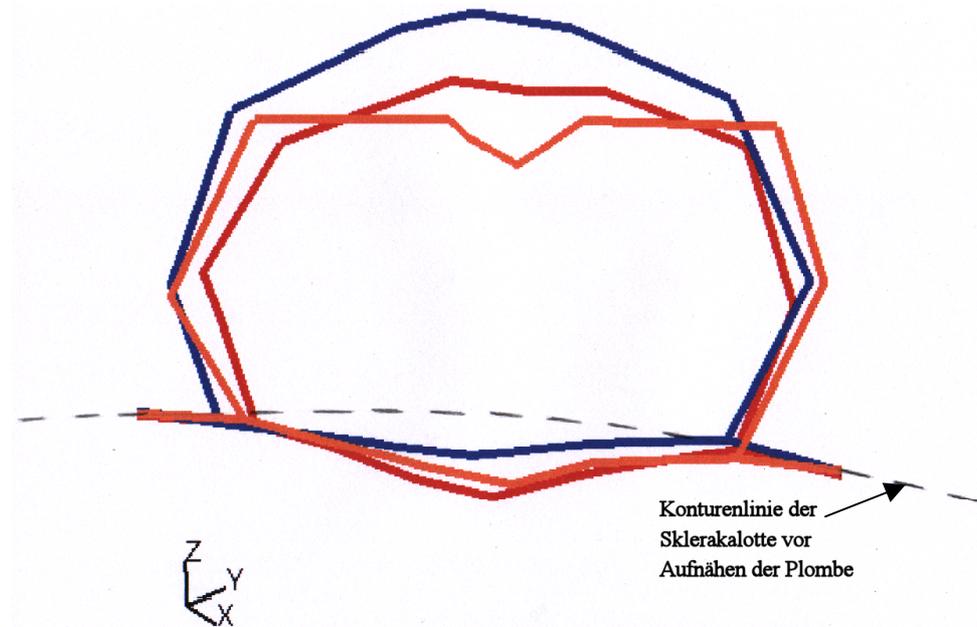


Bild 25: Plombenschnitt, vergleichende Darstellung

### Geometrische Charakterisierung der Änderung der Plombenform

Die Messung der Lagekoordinaten von Plombe und Sklera erfolgt bei dem beschriebenen Modell von senkrecht oben.

In seitlicher Betrachtung ist die Modellplombe näherungsweise in einem Winkel von  $45^\circ$  auf den Bulbus genäht.

Ausgangsquerschnitt der Plombe ist ein Durchmesser von 70 mm.

Bei der Erhebung der Koordinaten von oben ergibt sich bei Anwendung des Satzes von Pythagoras als Bezugshöhe der aufliegenden und noch nicht verformten Plombe für  $a = b = 70$  mm eine Höhe von  $c = 99$  mm als größter Querschnitt.

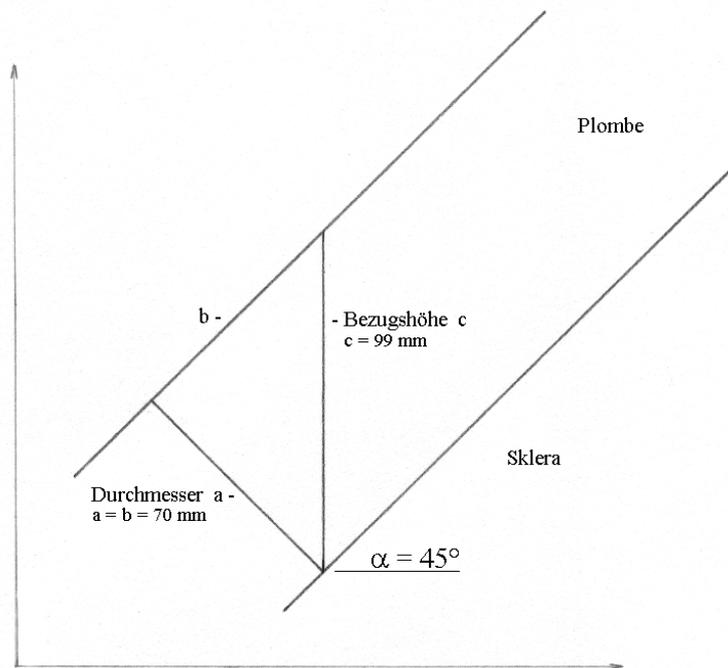


Bild 26: schematische Seitenansicht Plombe - Sklera

Bei Erfassung der Änderung der Plombengeometrie ist die Lage der Plombe im Raum zu berücksichtigen. In Bild 27 ist die räumliche Position skizziert.

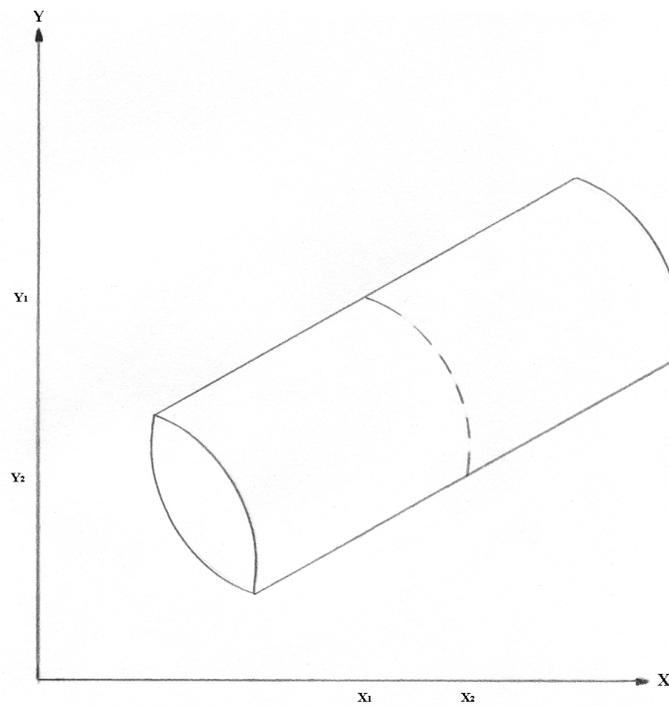


Bild 27: schematische Draufsicht bei Lage der Plombe im Raum

Bei Anwendung von Pythagoras gilt für die Plombenbreite  $P_b = \sqrt{(x_1x_2)^2 + (y_1y_2)^2}$ .

Für die gemessenen Werte ergeben sich bei den einzelnen Nahtmethoden folgende Höhen, Breiten und die entsprechenden Verhältnisse:

	Höhe [mm]	Breite [mm]	Verhältnis Höhe / Breite
Nahtmethode a	67,0	76,5	1 / 1,14
Nahtmethode b	74,5	80,5	1 / 1,08
Nahtmethode c	63,4	83,0	1 / 1,31

Tabelle 3: Plombenhöhe, -breite Nahtmethode a, b und c

Die Verhältnisse geben nur den Grad der Verformung wieder. Sie lassen keinen unmittelbaren Schluß bezüglich der erreichbaren Prominenz zu.

Die Verformung ist bei Methode c am größten. Bei Methode b ist sie am kleinsten, da hier nahezu die Hälfte des Plombenmaterials für die Erzeugung eines Buckels ungenutzt bleibt.

### **Charakterisierung der Kraftverhältnisse**

Durch den vernähten Faden wirkt auf Plombe und Sklera die Nahtkraft  $F_N$ . Für die unterschiedlichen Nahttechniken können die daraus resultierenden Kräfte  $F_{Na-c}$  näherungsweise in einem Kraftverlaufdiagramm aufgetragen werden.

Der senkrecht auf die Sklera wirkende Teil der Kraft  $F$  ist abhängig vom Winkel  $\alpha$  und wird mit  $F \cos \alpha$  bezeichnet. Der Winkel  $\alpha$  resultiert aus der Lage des Fadens zur Sklera. Für Nahtmethode a ergibt sich die in Bild 28 aufgetragene Verteilung.

Skizziert sind neben der Fadenführung die nach unten auf die Sklera wirkende Kraft und ihr dadurch bedingter Verlauf.

Die Kraft  $F_{Na} \cos \alpha$  steigt bis auf ein Maximum, ab dem sich die Neigung des Fadens zur Sklera und damit der Winkel nicht mehr ändert.

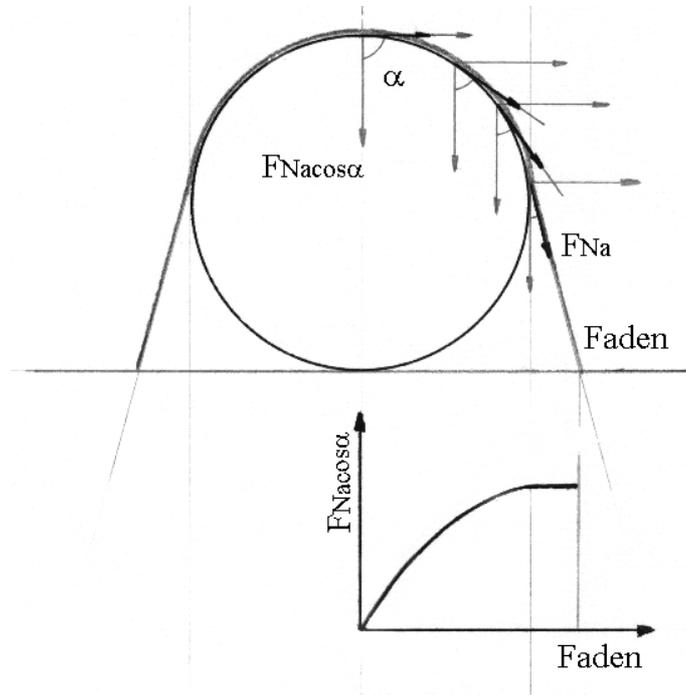


Bild 28: Verlauf Kraftentwicklung Nahtmethode a

Bei Nahtmethode b, bei der der Faden seitlich zur Plombenmitte geführt wird und in gleicher Ebene die Plombe verläßt, ergibt sich die in Bild 29 beschriebene Kraftveränderung. Der Anstieg der Kraft  $F_{Nb} \cos \alpha$  beginnt aufgrund des lange groß bleibenden Winkels spät, ist flach und erreicht ein Maximum beim Austritt des Fadens aus der Plombe.

Bei Anwendung von Methode c weicht der Kraftverlauf deutlich von den anderen Nahtmethoden ab.

Die auf die Sklera wirkende Kraft  $F_{Nc} \cos \alpha$  ist zu Beginn an der Plombenoberfläche groß. Sie sinkt bis zum Fadenaustritt aus der Plombe, um direkt wieder zu steigen. Der Verlauf ist in Bild 30 skizziert.

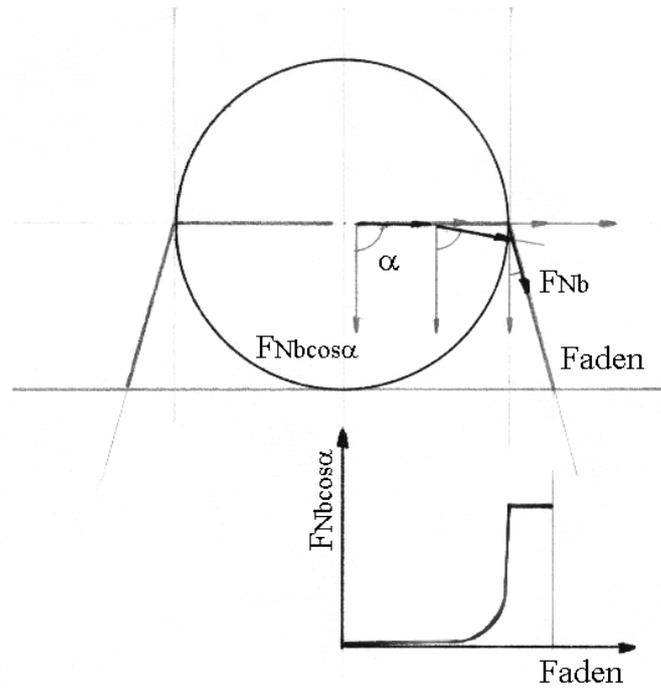


Bild 29: Verlauf Kraftentwicklung Nahtmethode b

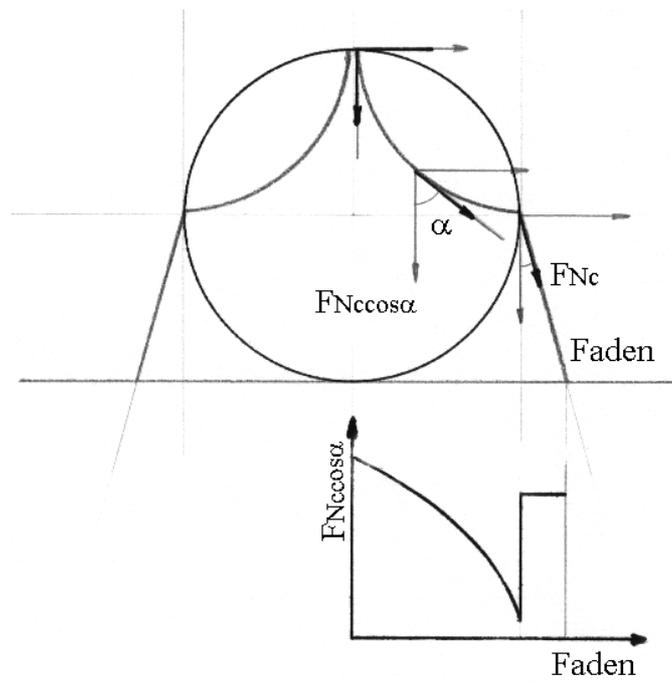


Bild 30: Verlauf Kraftentwicklung Nahtmethode c

Alle Messungen werden bei gleichem Plombeninnendruck durchgeführt. Die aufgebrachten Kräfte können unterschiedlich sein, da die durch den Faden beanspruchte Fläche der Plombe unterschiedlich ist.

Grundsätzlich lassen sich die Größenordnungen der Kräfte vergleichen. Berücksichtigt man die Kraftverteilung auf die einzuwirkenden Materialien wie Plombe und Sklera, kann bei Nahtmethode c aufgrund der zum Plombenrand hin abnehmende Kraft und der damit verringerten tangentialen Skleraspansung bezüglich der Vermeidung postoperativer Nekrosen von einer für die Sklera günstigen Anwendung ausgegangen werden.

## **4 Diskussion**

Die durch eine hohe Erfolgsquote gekennzeichnete episklerale Plombenoperation ist häufig in Einzelheiten verändert worden, um die angewandte Technik zu verbessern und um auftretende Mißerfolge zu verringern.

Die Einführung der Amotio-OP mit Hilfe der Sklerapломbe erfolgt erstmals 1951 durch Custodis [10].

Eine im Bereich des zu behandelnden Netzhautloches applizierte Kältekoagulation dient der durch eine adhäsive Chorioretinitis bedingten chorioretinalen Vernarbung.

Lincoff [37] wendet 1963 die Kryopexie am Netzhautloch an und ersetzt die bis dahin übliche Diathermie. Es kommt zu einem Rückgang von Nekrosen und Infektionen an der Sklera.

Eine positive Weiterentwicklung der Operationsmethode erzielt Lincoff [38] durch die Verwendung einer Spatelnadel und die Substitution des von Custodis verwendeten Plombenmaterials Polyviol durch die gewebefreundlichere Silikonschaumplombe [40].

### **4.1 Mißerfolgsursachen**

Außer einer nicht adäquaten Indikation für die spezielle Operationstechnik sind Ursachen für postoperative Komplikationen, neben einer Infektion und Irritationen aufgrund des Plombenmaterials, auch die Bildung neuer Foramina oder die Bildung einer PVR [26, 8, 23, 3].

Kreissig et al. [31] sehen die PVR als Hauptursache für einen Mißerfolg.

Bei der episkleralen Plombenoperation wird die Plombe unter Spannung im Lochbereich fixiert. Eine postoperative Vorwölbung durch Expansion gespeicherter Verformungskräfte ist mit durch einen sinkenden Augeninnendruck bedingt. Der Anpassungsprozeß erstreckt sich über einen Zeitraum von 2 bis 3 Stunden, in denen der intraokulare Druck absinkt und gleichzeitig die Plombenprominenz zunimmt.

Nach Clemens et al. [9] ist auch eine abnehmende Plombenprominenz und vereinzelt eine Skleranekrose für einen Mißerfolg verantwortlich. Insbesondere die Kombination

aus Kryopexie am Loch und dem anschließenden Kompressionsdruck durch die Plombe führt gelegentlich zu Skleranekrosen.

## **4.2 Verminderung von Komplikationen**

### **4.2.1 Operation**

Der Einsatz einer Kryosonde wird von Lincoff [37] beschrieben. Er stellt in Tierversuchen bei Temperatur-Variationen von 37°C - -90°C eine rasch vernarbende adhäsive Chorioretinitis fest. Bindehaut, äußere Augenmuskeln und Sklera werden dabei weniger geschädigt als bei diathermischer Koagulation. Eine rasche Verheilung verkürzt die Bettruhe des Patienten. Durch die entstandene Vernarbung im Lochbereich ist eine evtl. Nachoperation erleichtert.

Matthäus et al. [45, 46] zeigen durch experimentelle Untersuchungen, daß es bei Anwendung der Kryotherapie nicht zu einer Schrumpfung der Sklera kommt. Auch bleibt die Zerreißfestigkeit der Sklera unbeeinträchtigt.

Die sklerale Buckelung hat Einfluß auf die okuläre Durchblutung. Je größer die Einbuckelung, desto größer der Einfluß. Der arterielle Perfusionsdruck des Auges nimmt im Bereich der Plombe signifikant ab [67]. Hiervon ist besonders die Sklera betroffen, die im Falle zu starker Kompression mit einer Nekrose reagiert. Abgesehen davon kann es schon bei relativ geringer Impression zur Kompression der Zentralarterie kommen.

Die Reduktion des retinalen Blutflusses gilt mit als Grund für postoperative Komplikationen. Um diesen vorzubeugen, ist der Einfluß der OP auf die Durchblutung zu minimieren und ein späterer Druckanstieg zu vermeiden [13].

Während einer episkleralen Operation ist die Kontrolle des nach Aufnähen der Plombe gestiegenen intraokularen Druckes wichtig. Hierzu wird auf die Durchblutung der Zentralarterie geachtet. Bei gegebener Indikation muß die Fixation der Plombe entsprechend korrigiert werden [30].

Benning und Lieb [3] zeigen mit Hilfe der farbkodierten Duplexsonographie, daß neben der Perfusionsbeeinträchtigung der Zentralarterie auch Veränderungen in den langen hinteren Ziliararterien vorliegen.

Den Einfluß der mechanischen Kompression auf den retinalen Blutfluß bestätigen Ogasawara et al. [50] durch Anwendung der bidirektionalen Doppler-Technik. Sie beobachten eine Perfusionsveränderung um bis zu 50%.

Auch eine Woche postoperativ weisen Regillo et al. [54] eine signifikante Beeinflussung sowohl der systolischen als auch der diastolischen Blutflußgeschwindigkeit der Zentralarterie nach.

Jess [25] schlägt die temporäre Skleraeindellung als Hilfsmittel bei der Operation der Netzhautablösung vor. Er nutzt einen Tampon, der vorübergehend in den Tenonschen Raum eingeführt wird.

Höpping [23] stellt die Ballonplombe als neues Operationsverfahren bei Netzhautablösungen vor, bei der ein zeitweise ausgedehnter Ballon zwischen Orbita und Bulbuswand die Funktion einer episkleralen Plombe übernimmt.

Komplikationen wie Infektion oder Diplopie können durch eine temporäre Plombe verringert werden. Kreissig und Lincoff [33] verwenden bei gegebener Indikation eine mit Flüssigkeit füllbare Ballonplombe. Diese wird nicht aufgenäht, sondern fixiert sich durch Einklemmung über dem zu verschließenden Loch auf der Sklera [28]. Die Eindellung ist permanent regulierbar. Es entstehen keine Gewebenekrosen [2]. Dafür kommt es beim Wiederentfernen zu einer erneuten Anspannung des Glaskörperzuges.

Nach Kroll und Busse [35] sind Amotiones durch Riesenrisse der Ora, Netzhautlöcher am hinteren Augenpol und äquatoriale Riesenlochgruppen nicht mit der episkleralen Plombentechnik zu heilen. In diesen Fällen verwenden sie die von Lincoff [41]

eingeführte intravitreale Gastamponade mit Schwefelhexafluorid nach vorausgegangenem Kryopexie und Punktion der subretinalen Flüssigkeit.

War die Plombe insgesamt leicht zu fixieren, sieht Lincoff [39] bei Reoperationen keine dünnen oder nekrotischen Skleren.

Um postoperative Komplikationen zu vermindern, raten Kreissig et al. [31] neben einem vorsichtigen intraoperativen Manipulieren, einer gezielten Kryopexie und Begrenzen der Plombe auf den Lochbereich zur Vermeidung von Punktion oder Gasinjektion.

Bei der Technik der episkleralen Plombenoperation haben die Nähte eine besondere Bedeutung. Durch straffes Anziehen vor und während des Knüpfens muß eine lokalisierte Eindellung der Sklera unmittelbar über dem Riß erreicht werden. Bei richtiger Lage der Eindellung zum Riß erfolgt die Wiederanlegung schneller und zuverlässiger. Bei exzentrischer Lokalisation kommt es zu einem Mißerfolg der Operation.

Die Matratzennähte haben bei der Plombenoperation einen Abstand, der gleich der Hälfte des Umfangs der Plombe ist. Diese Aufnäher bewirkt, daß sich die Plombe einige Zeit nach der OP auf ihren vollen Durchmesser ausdehnen kann und so die Sklera bis zur Hälfte des Plombenumfanges eindrückt.

Goldbaum [16] hat dabei die auf die Retina wirkenden Dehnungskräfte untersucht. Es zeigt sich, daß die Dehnung senkrecht zur Plombe positiv ist. Retina und Pigmentepithel werden in dieser Richtung gedehnt. Die Dehnung entlang der Längsachse der Plombe ist positiv, wenn der erzeugte Buckel weniger als 90° Bogenmaß beträgt. Sie ist negativ – es kommt zu einer Kompression – bei mehr als 90° Bogenmaß.

#### **4.2.2 Plombe**

Eine Elastizität des Plombenmaterials ist wünschenswert. Beim Absinken des Augen-

druckes nach dem Eingriff verstärkt sie die Eindellung der Sklera und fördert so den Kontakt mit der Augenwand [11].

Erst die elastische Qualität der Plombe ermöglicht den Verzicht auf eine Punktion der subretinalen Flüssigkeit [34].

Zur Verminderung von Unverträglichkeitserscheinungen und Infektionen bei der Verwendung von Kunststoffen in der Ablatiochirurgie versuchen verschiedene Autoren diesen Nachteilen durch Einsatz von körpereigenem Plombenmaterial zu begegnen. Zur Anwendung kommen z.B. eine Kutisplombe, eine Ohrknorpelplombe oder die Nutzung der Fascia lata [22, 49, 29, 25], für welche Jean-Louis et al. [24] eine gute biologischen Verträglichkeit bestätigen.

Weniger elastische Materialien, wie z.B. die Fascia lata, wurden bis heute von Silikonkunststoffen verdrängt [6].

Einen weiteren Weg, den gezielten narbigen Lochverschluß zu erreichen, beschreibt Bruck [5] mit dem Einsatz eines biologischen Klebers.

Für die optimale Sklerabuckelung bei großen Netzhautrissen wird von Lincoff [40] eine veränderte Plombengeometrie vorgeschlagen. Ein ovaler Plombenquerschnitt bei Defekten über 5,5mm bedingt einen wirksamen Lochverschluß, ohne daß gleichzeitig das Auge extrem deformiert wird. Auch die großvolumige Form würde eine starke Belastung für die Orbita darstellen. Bei hochprominenter Amotio muß eine Punktion der subretinalen Flüssigkeit durchgeführt werden.

Rubin und Fitzgerald [57] sehen in einer partiell verminderten Plombe die Möglichkeit, postoperativ Infektionen und ein Verschieben der Plombe günstig zu beeinflussen. Sie stellen auch fest, daß, im Vergleich zu einer kleineren, eine im Durchmesser größere Plombe einen breiteren und weniger scharfkantigen Sklerabuckel erzeugt, vorausgesetzt, die Plombe ist ovulär und imprimiert nur das halbe Volumen.

Vorteile für die Heilungsquoten in der Netzhautchirurgie beobachten Riss und Binder [55] bei einer veränderten Plombenform. Durch Verwendung gespaltener Silikon-

schaumstoffplomben werden gleiche Ergebnisse wie bei Vollplombenoperationen erzielt. Das Fremdkörpergefühl und die Abstoßungsgefahr sind geringer.

Deutliche Vorteile gegenüber limbusparallelen und radiären zylindrischförmigen Plomben sieht Greite [18] in der gleichmäßig runden Eindellung bei Verwendung von kalottenförmigem Plombenmaterial. Quetschfalten, wie sie häufig bei den konventionellen Plombenformen zu beobachten sind, werden vermieden. Es kommt zu einer bessern Tamponade des Netzhautloches.

Um eine spannungsfreie Form der Eindellung der Skleraoberfläche zu erzielen, empfiehlt Stärk [61] die Verwendung einer kugelförmigen Plombe. Die Plombe soll dabei die gleiche Krümmung wie die Sklera aufweisen. Eine Faltenbildung der Netzhaut kann so verhindert werden.

### **4.3 Methodenkritik**

Da die angewendete Technik der Plombenoperation zu Skleranekrosen führen kann, ist die Modifikation der Nahtführung ein möglicher Verbesserungsansatz.

Das vorhandene Modell, aus physikalischen Grundregeln abgeleitet, ermöglicht die Simulation der unterschiedlichen Impressionen und Spannungen mit unterschiedlichen Nahttechniken.

Die angewandten Werkstoffe im Modell sind nach dem Ähnlichkeitsgesetz in Bezug auf Geometrie, Elastizitäts- und Druckverhältnisse auf das Original abgestimmt. Der Meßvorgang ist zerstörungsfrei und reproduzierbar gestaltet.

Nach Aufnähen der Plombe auf die Schaumstoffoberfläche werden die Impressionen der jeweiligen Plombenunterseite mit Hilfe von feinen Meßsonden in der Plombe ermittelt. Die verwendete Spinalnadel zeigt aufgrund ihrer wesentlich höheren Härte im Vergleich zum Plomben- und Skleramaterial keine groben Richtungsabweichungen.

In getrennten Versuchen kann eine Änderung der mechanischen Eigenschaften des Modellmaterials für Sklera und Plombe ausgeschlossen werden. Die Abweichungen der

Ergebnisse können in einem Bereich von +/- 5% verlässlich gehalten werden.

Andere Arten der Geometrieberechnung haben methodisch keinen höheren Aussagewert. Die dreidimensionale Röntgenabwicklung führt durch Überlagerung der Markierungspunkte zu Verwechslungen.

Eine 3D Oberflächenanalyse mit Spezialsoftware durch die Unterseite des Modells verfälscht durch optische Zwischenschichten. Messungen im CT sind mit der Meßapparatur technisch nicht durchführbar.

Die Sondierungsmethode ist einfach und gibt unverfälschte 3D-Meßwerte wieder, ohne die mechanischen Eigenschaften der Plombe zu verändern. Durch Einsatz einer Metallfolie zwischen Plombe und Sklera wird die Auflageform der Plombe unter Nahtanspannung ermittelt.

Aufgrund der Ähnlichkeitsgesetze werden Impressionen wie am Auge erzeugt, wo die milde Impression Ziel der schonenden Behandlung ist.

Alle Messungen werden unter gleichen Bedingungen wie Innendruck, Nahtanspannung, Nahtabstand und Nahtlänge unter der Modellsklera durchgeführt.

Die graphisch dargestellten Ergebnisse der konventionellen Matratzennaht (Methode a) und der veränderten Fadenführungen (Methoden b und c) zeigen deutlich eine Unterscheidung der Plombengeometrie bei aufgenähter Plombe. Die Plombenoberfläche läßt im Vergleich zur Unterseite größere Abweichungen erkennen.

Dies bedeutet für Methode b, bei der der Faden in einer Ebene der Plombe ein- und ausgeführt wird, eine hohe Wölbung auf der äußeren Augenoberfläche und eine ineffektive Verwendung des Plombenmaterials.

Methode b zeigt die geringste Eindringtiefe aller untersuchten Fadenführungen. Es ist möglich, daß bei Verwendung dieser Technik ein unzureichender Sklerabuckel erreicht wird.

Bei Methode c, bei der der Faden nach seitlicher Einführung teilweise an der Plombenoberfläche verläuft, ist die Plombe stärker verformt, flacher und mehr gedehnt.

Dies gilt auch für die postoperative Verkapselung durch Narbengewebe. Die Tiefe der Impression in das Auge ist kleiner, die Abweichung zur Matratzennaht gering.

Die Plombenunterseite hat keinen eindeutigen Scheitelpunkt. Die Druckverteilung unterhalb der Plombe ist gleichmäßiger. Die ermittelte Geometrieform der Impression gleicht einem flachen Halboval. Bei der herkömmlichen Methode handelt es sich mehr um einen Halbkreis.

Betrachtet man den Verlauf der durch den Faden auf die Sklera ausgeübten Kraft, ergibt sich eine deutliche Unterscheidung der Nahtmethode c von den Methoden a und b. Auf die Mitte der Oberfläche der aufgenähten Plombe wirkt bei a und b eine geringe Kraft, die zur Plombenseite hin ansteigt. Bei Methode c ergibt sich eine zur Seite abnehmende Kraft.

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Konturen- und Kraftverläufe der einzelnen Befestigungsmöglichkeiten der Plombe kann davon ausgegangen werden, daß die Art und Weise, wie das Plombenmaterial auf die Sklera gedrückt wird, um die notwendige Impression zu erzielen, in hohem Maße ausschlaggebend für die unterschiedlich wirkenden Spannungen und Dehnungen ist.

Die ermittelten Größenverhältnisse Höhe/Breite zeigen, daß mit Methode c das günstigere Ergebnis erzielt wird. Bei ausreichender Höhe oder Eindellung erreicht die Plombe die größte Breite und eine schonende Impression.

Es kann eine sinkende postoperative Komplikationsrate angenommen werden. Besonders die geringere Beeinträchtigung des arteriellen Perfusionsdruckes und die Reduktion möglicher Gewebenekrosen sind zu nennen.

Weitere Untersuchungen müssen folgen, um die Anwendung der Methode c zu testen. Hier sind vor allem die sklerale Buckelung, die Durchblutungsveränderungen während der Operation und der postoperative Verlauf von großem Interesse.

Zu untersuchen ist bei variiertem Plombenaufnähen der Einfluß einer veränderten Geometrie auf die Versorgung großer Netzhautlöcher.

Die Handhabung des Aufnäehens einer Plombe nach Methode c ist einfach. Zwar erscheint die Fadenführung innerhalb einer Plombe aufwendiger als das Legen einer konventionellen Matratzennaht, doch sind bei einem geübten Operateur keine Schwierigkeiten bei Anwendung der Nähmethode c vorstellbar.

Methode c sollte ohne größere Probleme nutzbar sein. Alle Materialien sind gegenüber der Matratzennaht gleich geblieben.

Inwieweit eine veränderte Plombenform, wie sie z.B. von Riss, Binder, Greite und Stärk [55, 18, 61] vorgeschlagen worden ist, bei einer veränderten Aufnahmehmethode zu einer Ergebnisoptimierung führt, kann in anderen vergleichenden Untersuchungen bestimmt werden.

Mit der Einführung der Spatelnadel durch Lincoff [38] ist eine Optimierung der Befestigung von Nähten lamellär innerhalb der Sklera gelungen. Seitdem sind keine weiteren Verbesserungen der episkleralen Fixation und Impression erzielt worden. Jedoch kann durch Änderung der Nahtführung an Sklera und Plombe eine Änderung der Geometrie und der Skleraspannung im Plombenbett erzeugt werden.

## 5 Zusammenfassung

Eine Netzhautablösung kann mit Hilfe der episkleralen Plombenoperation in einem hohen Prozentsatz erfolgreich behandelt werden. Dabei ist der gezielte Lochverschluß entscheidend für das postoperative Ergebnis.

Komplikation kann neben Infektionen, Bildung neuer Foramina, PVR, abnehmende Plombenprominenz, auch eine Nekrosenbildung unterhalb der Plombe sein.

Ein physikalisches Ähnlichkeitsmodell erlaubt den Vergleich von verschiedenen Methoden, den Faden zur Plombenbefestigung zu führen, und Wege zur Verminderung der mechanischen Sklerabelastung zu finden.

Die vorliegende Arbeit simuliert modellhaft die Gewebewirkung durch Aufnähen einer Netzhautplombe. Zur herkömmlichen Matratzennahttechnik werden weitere Nahtführungen auf die Herabsetzung der Skleraspansung hin untersucht.

Die Untersuchungen zeigen, daß bei einem seitlich in die Plombe eingebrachten Faden, der bis auf ihre Oberfläche geführt wird und wieder seitlich aus der Plombe austritt, eine Plombengeometrie erreicht wird, bei der ein günstiger Druckverlauf unterhalb der Plombe angenommen werden kann. Dies bedeutet, die horizontale Anspannung der Sklera kann bei erhaltener Impression zu einer Verminderung von Nekrosen führen.

Inwieweit die Anwendung der Methode in der klinischen Praxis möglich ist und ob bei Erreichen eines ausreichenden Sklerabuckels eine postoperative Verbesserung erzielt wird, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

## 6 Literaturliste

- 1) Arruga, H.: Le cerclage équatorial pour traiter le décollement rétinien;  
Bull. Mém. Soc. franc. Opth. 71, 571-580 (1958)
- 2) Banelos, A. et al.: Expandable silicone implants for scleral buckling;  
Arch. Opth. 89, 500-502 (1973)
- 3) Benning, H. u. Lieb, W.: Beeinflußt die Plombenoperation die okuläre Perfusion?;  
Augenärztliche Fortbildung 18, 105-108 (Nr. 3) (1995)
- 4) Böke, W.: Zur Operationswahl bei rißbedingter Netzhautablösung;  
Klin. Mbl. Augenhk. 172, 11-20 (1978)
- 5) Bruck, Ch. u. Sommer, G.: Klebversuche bei der abgelösten Netzhaut;  
Wissenschaftl. Beitr./Martin Luther-Uni. Halle-Wittenberg  
35/R91, 233-234 (1985)
- 6) Chignell, A.H.: Retinal detachment surgery-2nd ed.; Springer (Berlin), (1988)
- 7) Clark, G.: The importance and employment of diathermy in retinal detachment surgery of today; A.M.A. Arch. Opth. 60, 251-254 (1958)
- 8) Clemens, S.: Die spontane Wiederanlegung der Netzhaut nach Operation – ein strömungsphysikalisches Modell; Habilitationsarbeit, WWU Münster, 1989
- 9) Clemens, S. et al.: Mißerfolgsursachen nach episkleraler Plombenoperation der Netzhaut; Fortschr. Opth. 88, 616-622 (1991)
- 10) Custodis, E.: Beobachtungen bei der diathermischen Behandlung von Netzhautablösungen und ein Hinweis zur Therapie der Amotio retinae.;  
Ber. Vers. Dtsch. Ophthal. Ges. 57, 227-230 (1951)
- 11) Custodis, E.: Über die Entwicklung und Anwendbarkeit von bulbusverkürzenden und eindellenden Operationen, insbesondere der Plombenaufnähung;  
Beihefte Klin. Mbl. Augenhk. 53, 1-16 (1970)
- 12) Dellaporta, A.: Die experimentelle Verkürzung des Bulbus durch Faltung der Sklera; Klin. Mbl. Augenhk. 119, 313-314 (1951)

- 13) Diddie, K.R. u. Ernest, J.T.: Uveal blood flow after 360° constriction in the rabbit;  
Arch. Opth. 98, 729-730 (1980)
- 14) Everett, W.G.: A new scleral shortening operation;  
A.M.A. Arch. Opth. 53, 865-869 (1955)
- 15) Everett, W.G. u. Sharrer, M.C.: A new type silicone rod for scleral buckling;  
Trans. Am. Acad. Opth. Otol. 65, 197-199 (1961)
- 16) Goldbaum, M.H. et al.: Geometric analysis of radial buckling;  
Am. J. Opth. 79, 958-965 (1975)
- 17) Gonin, J.: Decollement de la retine. Pathogenie – Traitement. Payot,  
Lausanne (1934)
- 18) Greite, J.H.: Überlegungen und Erfahrungen mit kalottenförmigem Plomben-  
material in der Ablatiochirurgie; Fortschr. Opth. 79, 445-446 (1983)
- 19) Grignolo, A.: Contributo alla tecnica della introflessione sclerocoroideale nellinter-  
vento per distacco retinico; Boll. Ocul. 35, 1057-1066 (1956)
- 20) Hanscom, T. u. Machemer, R.: Scleral resection in combination with vitrectomy;  
Int. Opth. 2, 23-26 (1980)
- 21) Hartwig, H.: Komplikationen in der Netzhautchirurgie; Wissenschaftl.  
Beitr./Martin Luther-Uni. Halle-Wittenberg 41/R74, 89-98 (1982)
- 22) Heydenreich, A.: Klinische und experimentelle Erfahrungen mit der Kutisplombe  
bei der Operation der Netzhautablösung; Klin. Mbl. Augenhk. 138, 53-68 (1961)
- 23) Höpping, W.: Die Ballonplombe: Ber. über erste Ergebnisse mit einem neuen  
Operationsverfahren bei Netzhautablösungen;  
Mod. Probl. in Opth. Basel, 5, 289-292 (1967)
- 24) Jean-Louis, B. et al.: An ultrasonographic study of choroidal indentation height  
after scleral buckling with lyophilized human tissues;  
Graefes Arch. Klin. exp. Opth. 222, 158-161 (1985)
- 25) Jess, A.: Temporäre Skleraeindellung als Hilfsmittel bei der Operation der  
Netzhautablösung; Klin. Mbl. Augenhk. 99, 318-319 (1937)

- 26) Kampik, A.: Netzhautablösung und komplizierte Vitrektomie, in: Ophthalmochirurgische Komplikationen, [Wollensak, J. (Hrsg.)], Enke, 217-236 (1993)
- 27) Kennedy, J.A.: A modified scleral buckling procedure for retinal detachment; Arch. Ophth. 71, 839-841 (1964)
- 28) Klein, S. u. Walther, A : Erfahrungen mit der temporären Ballonplombe in der Ablatiochirurgie; Wissenschaftl. Beitr./Martin Luther-Uni. Halle-Wittenberg 35/R91, 178-180 (1985)
- 29) Klöti, R.: Ein neues Verfahren von äquatorialer Bulbusumschnürung und Plombenoperation bei prognostisch ungünstigen Netzhautablösungen; Ophthalmologica (Basel) 143, 233-239 (1962)
- 30) Kreissig, I.: Der gegenwärtige Stand der Ablatiotherapie ohne Punktion; Klin. Mbl. Augenhk. 173, 140-149 (1978)
- 31) Kreissig, I. et al.: Die Rolle der segmentalen Plomben-Chirurgie in der Behandlung der PVR-Ablatio Stadium B und C; Klin. Mbl. Augenhk. 205, 336-343 (1994)
- 32) Kreissig, I. u. Lincoff, H.A.: Die unaufschiebbare Ablatio-Operation; Klin. Mbl. Augenheilk. 165, 315-318 (1974)
- 33) Kreissig, I. u. Lincoff, H.A.: Die Ballon-Operation: Eine Verlaufskontrolle; Fortschr. Ophth. 79, 229-232 (1982)
- 34) Kreissig, I. u. Lincoff, H.A.: Ablatio-Chirurgie ohne Punktion der subretinalen Flüssigkeit: Prinzip, Anwendungsmöglichkeiten u. Ergebnisse; Wissenschaftl. Beitr./Martin.Luther-Uni. Halle-Wittenberg 35/R91, 165-177 (1985)
- 35) Kroll, P. u. Busse, H.: Grenzen der episkleralen Plombentechnik; Klin. Mbl. Augenhk. 177, 864-870 (1980)
- 36) Leydhecker, W. u. Grehn, F.: Augenheilkunde; Springer (Berlin), 25. Aufl., 165-173 (1993)
- 37) Lincoff, H.A. et al.: Cryosurgical treatment of retinal detachment; Trans. Amer. Acad. Ophth. Otol., 68, 412-432 (1963)
- 38) Lincoff, H.A. et al.: Modifications to the Custodis procedure for retinal detachment; Arch. Ophth. 73, 160-163 (1965)

- 39) Lincoff, H.A., McLean, J.M.: Cryosurgical treatment of retinal detachment: Part II; Trans. Amer. Acad. Ophth. Otol., 70, 202-211 (1966)
- 40) Lincoff, H.A. et al.: Modifications to the Custodis procedure for retinal detachment II. A new silicone implant for large tears; Am. J. Ophth. 64, 877-879 (1967)
- 41) Lincoff, H.A. et al.: An investigation of gases for intravitreal injection. Read before the Cornell Alumni Meeting, New York, April 1967
- 42) Lincoff, H.A. et al.: An episcleral pouch operation with new elastic material, without drainage of subretinal fluid; Klin. Mbl. Augenhk. 173(1), 25-29 (1978)
- 43) Lindner, K.: Ein Beitrag zur Entstehung und Behandlung der idiopathischen und der traumatischen Netzhautablösung; Graefes Arch. Ophth. 127, 177-295 (1931)
- 44) Lindner, K.: Heilungsversuche bei prognostisch ungünstigen Fällen von Netzhautablösung; Zeitschr. Augenhk. 81, 277-299 (1933)
- 45) Matthäus, W. et al.: Vergleichende experimentelle Untersuchungen über das Ausmaß der Skleraschrumpfung bei Elektrokoagulation und Kryotherapie; Graefes Arch. Klin. exp. Ophth. 178, 147-151 (1969)
- 46) Matthäus, W. et al.: Vergleichende experimentelle Untersuchungen der Zerreißfestigkeit der Sklera nach Elektrokoagulation und Kryotherapie; Graefes Arch. Klin. exp. Ophth. 179(4), 358-365 (1970)
- 47) Müller, L.: Eine neue operative Behandlung der Netzhautablösung; Klin. Mbl. Augenhk. 41(1), 459-462 (1903)
- 48) Müller, W. u. Brandt, P.: Netzhautablösung, in: Bücherei des Augenarztes, Band 103, Enke (1985)
- 49) Niedermeier, S.: Netzhautoperation mittels Elektrokoagulation und Eindellung der Sklera durch Aufnähen von Ohrknorpel; Klin. Mbl. Augenhk. 138, 69-82 (1961)
- 50) Ogasawara, H. et al.: Retinal blood flow alterations associated with scleral buckling and encircling procedures; Brit. J. Ophth. 76, 275-279 (1992)
- 51) Paufigue, L.: Technique de compression intra-sclérale; Mod. Probl. Ophth. 3, 152-153 (1965)

- 52) Paufigue, L. et Hugonnier, R.: Traitement du décollement de la rétine par la résection sclérale. Technique personnelle. Indications et résultats; Bull. Soc. franc. Ophtal. 64, 435-456 (1951)
- 53) Pommerantzeff, O. et al.: The effects of scleral resection. I. Mathematical analysis; Ann. Opth. 2, 651-660 (1970)
- 54) Regillo, C.D. et al.: Successful scleral buckling procedures decrease central retinal artery blood flow velocity; Ophthalmology 100, 1044-1049 (1993)
- 55) Riss, B. u. Binder, S.: Vorteile der halbierten Silikon-Schaumplombe in der Ablatio-Chirurgie; Klin. Mbl. Augenhk. 184, 15-17 (1984)
- 56) Rosengren, B. u. Törnquist, R.: Scleral indentation by means of plastic plugs in the surgery of retinal detachment; Acta Opth. 36, 426-431 (1958)
- 57) Rubin, M.L. u. Fitzgerald, C.R.: The episcleral partial-thickness sponge for scleral buckling; Mod. Prob. Opth. 12, 495-491 (1974)
- 58) Sachsenweyer, M. (Hrsg.): Duale Reihe – Augenheilkunde, Hippokrates Verlag Stuttg., 177 (1994)
- 59) Schepens, C.L. et al.: The scleral buckling procedures. II. Technical difficulties of primary operations; A.M.A. Arch. Opth. 60, 84-92 (1958)
- 60) Shapland, C.D.: Scleral resection - lamellar or penetrating?; Brit. J. Opth. 37, 177-180 (1953)
- 61) Stärk, M.: Theoretische Überlegungen zur Plombenform bei einbuckelnden Netzhautoperationen; Fortschr. Opth. 80, 324-325 (1983)
- 62) Stone, R. et al.: An ultrasonographic study of the persistence of buckle height three years after segmental sponge explants; Am. J. of Opth. 84, 508-513 (1977)
- 63) Vannas, M.: Strengthened suturing in ablation and myopia; Acta Opth. 36, 432-434 (1958)
- 64) Vogel, W.: Darstellende Geometrie und Projektionslehre; Universität-Gesamthochschule Paderborn / Fachbereich 10, 5. Aufl. (1981/82)
- 65) Weve, H.: Bulbusverkürzung durch Reffung der Sklera; Ophthalmologica (Basel) 118, 660-665 (1949)

- 66) Witmer, R.: Fortschritte u. Standortbestimmung in der Netzhautchirurgie;  
Klin. Mbl. Augenhk. 165, 44-54 (1974)
- 67) Yoshida, A. et al.: Ocular circulatory changes following scleral buckling  
procedures; Brit. J. Ophth. 76, 529-531 (1992)

## **7 Danksagung**

Hiermit möchte ich mich in ganz besonderem Maße bei

**Herrn Prof. Dr. med. Stefan Clemens**

für die Überlassung des Themas der Arbeit,

und für seine kaum zu erschöpfende Geduld und Hilfe bei der Fertigstellung, bedanken!



