

3. Material und Methoden

3.1. Berechnung des Modells

Die Modelllinse sollte der natürlichen menschlichen Linse in Form und Dimension ähneln. Der Durchmesser der natürlichen Linse beträgt durchschnittlich 10 mm, ihre Dicke 6 mm. Nach dem Ähnlichkeitsgesetz auf ein Verhältnis von 1:4 übertragen, ergaben sich für die Modelllinse folgende Maße: Durchmesser 40 mm und zentrale Dicke 24 mm.

3.2. Fertigung des Linsenkerens

Um das Segeltuch für die spätere Linsenkapsel in Eigenform zu bringen, galt es einen Linsenkeren mit den zuvor errechneten Maßen herzustellen, welcher als Negativform dienen sollte. Da die Linsenkapsel später aus zwei Einzelteilen zusammengesetzt wurde, war nur eine Kernhälfte nötig. Als Material wählten wir Ertacetal, was sich als form- und thermostabil erwies und leicht zu bearbeiten war. In einer Drehmaschine wurde das Ertacetal so bearbeitet, dass eine halbe Linsenform mit einem Kreisdurchmesser von 40 mm und einer zentralen Dicke von 12 mm entstand.

3.3. Fertigung der Linse

Mit Hilfe der Linsenkerenhälfte konnte nun die Linsenkapsel angefertigt werden. Dazu wurde transparente Segeltuchfolie über einen hohlen Zylinder (Durchmesser: 4 cm, Wanddicke: 0,6 cm) gespannt und bei 600 W 5 min lang (auf ca. 90°C) erwärmt. In das erwärmte, gespannte Segeltuch wurde

nun der Linsenkern unter Druck von 500 g gepresst, bis es erkaltet war. Nach Entfernung des Linsenkerns und Lösung vom Zylinder wurden die überstehenden Wachstuchränder abgeschnitten und der gesamte Vorgang mit einer weiteren Folie wiederholt.



Abb. 6: Linsenfertigung

Der zweite Schritt bestand in der Verklebung beider Linsenhälften. Um die Linse später mit Silikonöl (Firma FCJ, 75722 Paris Cedex 15) befüllen zu können, mussten eine zu- und eine abführende Öffnung freigehalten werden. Dazu dienten zwei i.v.-Katheter (Insyte, Vialon Clinical Superior, Spanien; Befüllung: 14 GA; Entlüftung: 18 GA) die vor dem Zusammenbringen der beiden Hälften sich gegenüberliegend in den Klebefilm eingebettet wurden. Als Kleber diente ‚Cyanoacrylate Adhesive‘ (RS Components, POBox 99, Corby Northans, UK), welcher sich als sehr haltbar erwies und nicht nachteilig in seiner Klebeeigenschaft vom Silikonöl beeinflusst wurde. Nach

Anrauen der Klebeflächen mit Sandpapier wurden diese mit dem Kleber bestrichen und zusammengepresst.



Abb. 7: Linsenfertigung

Als nächster Schritt erfolgte die Befüllung der Linse mit Silikonöl ($n_{\text{Siöl}} = 1,404$). Über die zuführende Kanüle wurde die visköse Flüssigkeit hineingepresst. Der abführende Zugang ermöglichte eine kontinuierliche Absaugung der Luft, um das Entstehen von Luftblasen zu vermeiden. Mit vollständiger Füllung (17 ml) konnten beide Kanülen verschlossen werden, um ein Wiederaustreten des Öls zu verhindern.

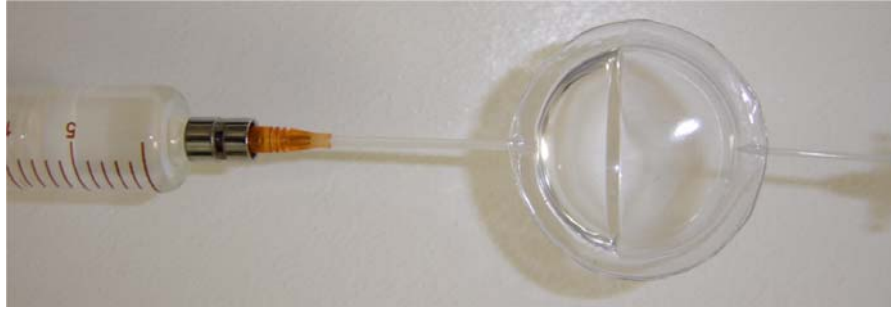


Abb. 8: Befüllung der Linse

3.4. Der Halteapparat

Die Linse sollte in eine Vorrichtung eingespannt werden, mit deren Hilfe man auf jede einzelne Zonulafaser gleichmäßigen Zug ausüben konnte. Gleichzeitig musste die Möglichkeit bestehen, die Halterung in eine Optische Bank einzuspannen und einen Lichtstrahl durch die Linse hindurchzusenden.

In zwei Metallringe (Durchmesser: 13 cm, V2A-Stahl, rostfrei) erfolgten im Abstand von 3,5 cm jeweils 12 Bohrungen. Durch jedes dieser Löcher wurden von der Ringmitte her 12 Ringschrauben (V2A-Stahl) gesteckt und von außen mit einer Rändelmutter festgedreht. Zum Einspannen in die Optische Bank diente ein 5 cm langer und 1 cm dicker PVC-Stab, welcher zusätzlich an jeden Ring angebracht wurde.



Abb. 10: Linsenhalteapparat

Der nächste Arbeitsgang sah das Anbringen der einzelnen Zonulafasern an die Linse vor. Dazu musste die jeweilige Befestigungsposition der einzelnen Faser wie folgt bestimmt werden. Die Zentren der Linse und eines Halterungsrings wurden übereinander gebracht. Somit befand sich die Linse genau in der Mitte des Ringes. Auf der Strecke von jeder Ringschraube zum Linsenmittelpunkt wurde 0,5 cm vom Linsenrand in Richtung Linsenzentrum ein Punkt markiert. Dieser Schritt erfolgte auf beiden Seiten, sodass die Linse am Ende mit 24 Faserursprungspunkten versehen war. Auf jede Markierung wurde mit Cyanoacrylate Adhesive ein 30 cm langer Nylonfaden festgeklebt. Eine Vergrößerung der Klebefläche konnte durch Dreifachknotung der Fadenenden erreicht werden.



Abb. 11: Faseranbringung

3.5. Justierung und Befestigung der Linse am Halteapparat

Um die Linse positionsgenau zwischen beiden Ringen justieren zu können, wurden an jede Zonulafaser Gewichte angebracht, welche die Linse in ihrer Aufhängung fixiert hielten. Dabei musste beachtet werden, dass jede Faser mit dem gleichen Gewicht belastet wurde. Realisiert werden konnte dies, indem kleine, mit einer Halterung aus 5 cm Kupferdraht versehene Plastikküvetten an die Zonulafasern gehängt wurden. Die Küvetten hatten inklusive Kupferdraht ein Eigengewicht von 0,5 g. Befüllt mit Bleigewichten war jede Küvette 3,5 g schwer.



Abb. 12: Küvetten

Nachdem die Fasern durch die Ringschrauben am Haltering hindurchgezogen waren, konnten die Gewichte in die zu Schlaufen verknoteten Faserenden eingehängt werden. Vom Faserursprung bis zum Schlaufenende maß die Faser 25 cm. Die Linse hing nun frei schwebend, getragen von den 24 Gewichten, zwischen beiden Ringen.

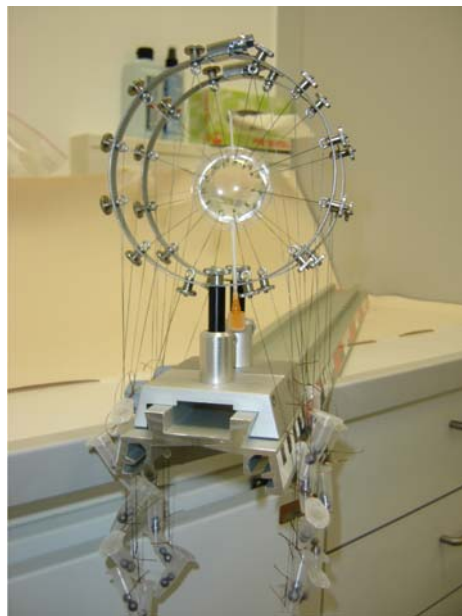


Abb. 13: Linse justiert, frei schwebend

Um Zug auf die Zonulafasern ausüben zu können, ohne dass sich die Linsenposition verändert, war es nötig, die Linse in den Halteringen zu fixieren. Denn nur bei Fixation der Fasern ist eine Anspannung dieser beim Auseinanderbewegen der Ringe möglich. Dazu wurden die einzelnen Faserumschlagpunkte in den Ringschrauben mit einem Stift markiert. Nach

Entfernung des Gewichts, wurde der Nylonfaden, unter Berücksichtigung des markierten Umschlagpunkts, zweimal durch die Ringschraube gezogen. Die Fixierung erfolgte mit Kupferdraht. Dieser wurde zweimal durch die Ringschraube geführt, danach jedes Ende zweimal mit der Faserschnur umwickelt. Schließlich wurden beide Drahtenden verdrillt.

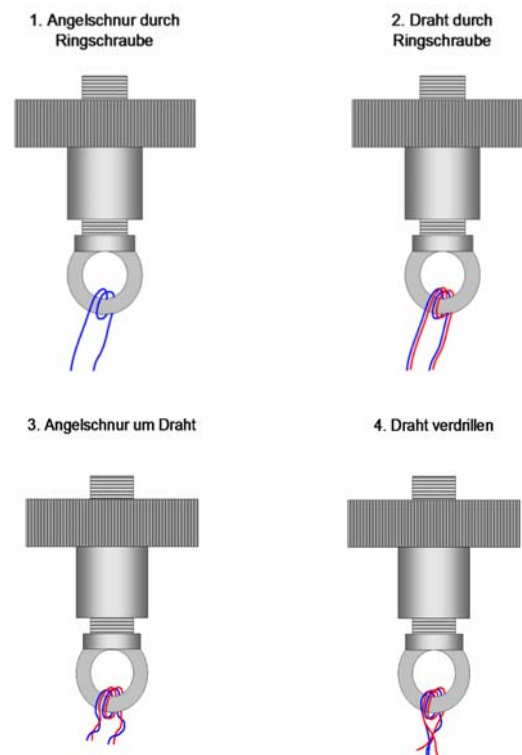


Abb. 14: Befestigung der Fasern an der Ringschraube

Um einem Nachgeben des Drahtes bei Zug an den Ringen vorzubeugen, wurden durch die Ringschraube zwei Moosgummikeile gezogen. Die überstehenden Drahtenden, wie auch die

Moosgummiüberstände, wurden abgeschnitten bzw. umgeknickt. Dieser Vorgang erfolgte in einer bestimmten Reihenfolge abwechselnd an jedem Ring.

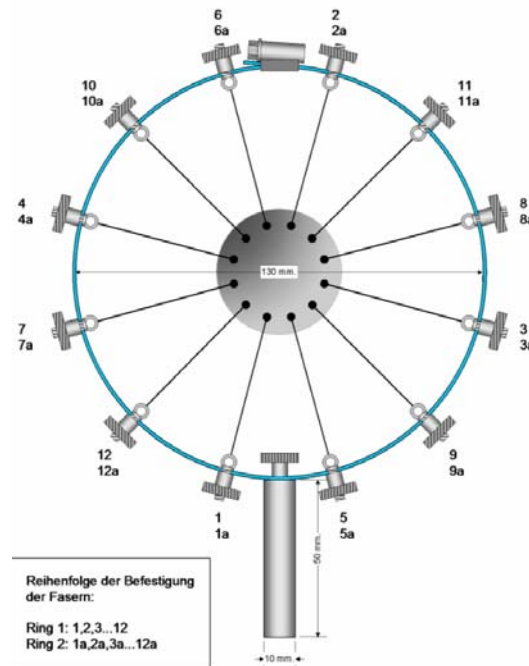


Abb. 15: Reihenfolge der Faserbefestigung am Haltering

Jeder Ring wurde in einen Haltefuß eingespannt, welcher später auf der Optischen Bank hin und her bewegt werden konnte. Unter Berührung beider Füße waren die Ringe, gemessen am Abstand zweier gegenüberliegender Ringschrauben, 4,8 cm voneinander entfernt. Die Linse hing an locker gespannter Faser in der Mitte zwischen beiden Ringen. Vom Unterrand der Linse bis zum Oberrand der Haltefüße betrug die Distanz 9 cm. Diese Höhe war bedingt durch die Maße der übrigen Geräte der

Optischen Bank (Lichtquelle, Verstärkerlinse, Bildschirm), um einen optimalen Strahlengang zu erreichen.

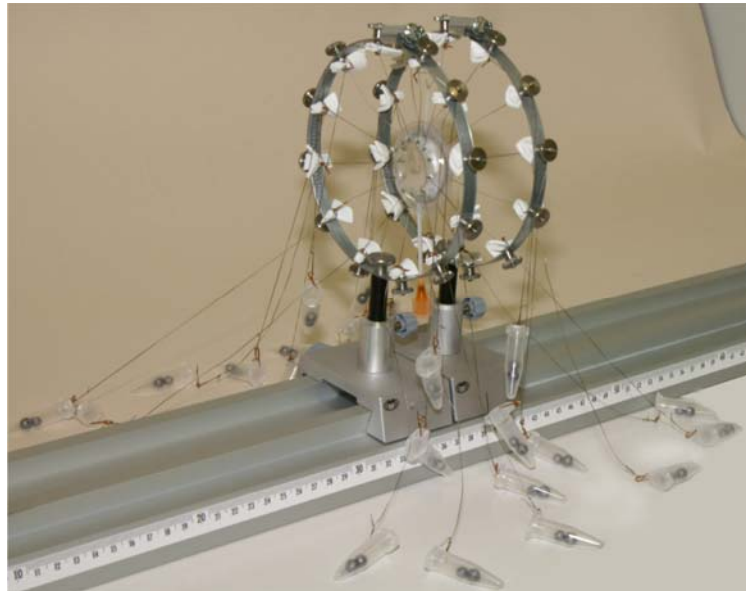


Abb. 16: Linse justiert, fixiert

3.6. Optische Bank

Zur Demonstration der Brechkraftänderung der Linse wurde die Optische Bank (Cornelsen Experimenta, Nr. 47009) genutzt. Der Versuchsaufbau stellte sich wie folgt dar. Die Lichtquelle, versehen mit dem jeweiligen Dia, wurde auf der Bank bei 2 cm montiert. Dabei befand sich das Dia über der 12 cm-Marke. Die an den Haltefüßen der Ringkonstruktion angezeichneten Markierungen standen über 13,5 cm und 18,5 cm. In dieser Position berührten sich beide Füße und die Linse befand sich genau über der

16 cm-Marke. Es folgte eine Linse ($f=+100$) fixiert bei 24 cm. Der Bildschirm, auf dem sich das Bild projizieren sollte, war frei verschiebbar.

3.7. Durchführung der optischen Messungen

Als Lichtquelle diente ein Projektor, dessen divergierende Lichtstrahlen mittels Kondensatorlinse in parallele Strahlen umgelenkt wurden. An dem Projektor konnte zur späteren Bildgewinnung ein Diahalter mit Dia befestigt werden. Der vorgegebene Abstand zwischen Kondensatorlinse und Dia betrug 3 cm. Nach Anschalten des Lichtes projizierte sich der Strahlengang durch die Kondensatorlinse, das Dia, die Linsenkonstruktion, danach durch die Sammellinse ($f=+100$) und schließlich auf den Bildschirm. Dieser wurde auf der Schiene der Optischen Bank so verschoben, dass auf ihm ein scharfes Bild zu erkennen war. Diese Bildschirmposition entsprach der Bildweite des Linsensystems, bestehend aus Modelllinse mit entspannten Zonulafasern und Sammellinse ($f=+100$).

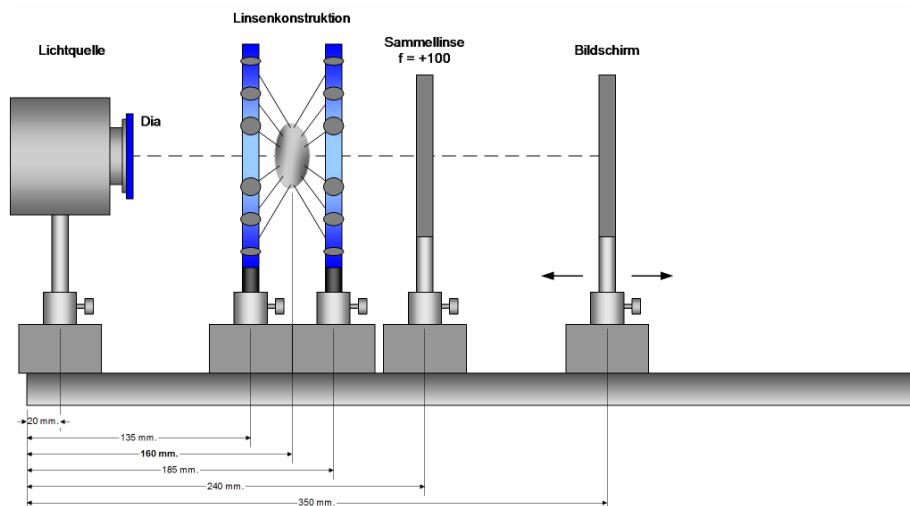


Abb. 17: Optische Bank, Versuchsaufbau bei entspannten ‚Zonulafasern‘

Als nächstes wurde Zug auf die Linse ausgeübt. Dazu veränderte man die Stellung des ersten Haltefußes. Dieser wurde bis zum maximalen Zugpunkt in Richtung Lichtquelle verschoben und dort fixiert. Jetzt war das Bild auf dem Schirm nicht mehr erkennbar. Der Bildschirm wurde nun so weit von der Linse weg bewegt, bis sich die Abbildung wieder scharf stellte. Diese neue Bildweite entsprach der Linsensystembildweite bei angespannten Haltefasern.

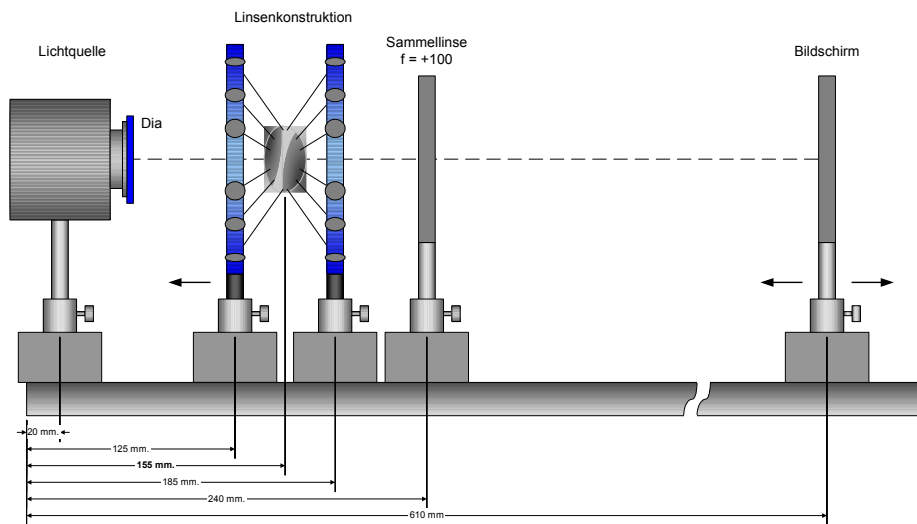


Abb. 18: Optische Bank, Versuchsaufbau bei angespannten ‚Zonulafasern‘