

4. Ergebnisse

4.1. Eigenschaften der Linse

Die Linse hatte dank der thermoplastischen Eigenschaft des Wachstuches während der Herstellung eine Eigenform mit gleichmäßiger Wandstärke bekommen. Ihr Durchmesser betrug 4 cm, die zentrale Dicke 2,1 cm. Die Transparenz ergab sich aus den Materialeigenschaften des klaren Wachstuches und Silikonöls. Befüllt mit Silikonöl wurde eine Eigenelastizität erreicht. Ähnlich der Linse im menschlichen Auge, nahm auch diese Linse nach Verformung stets wieder ihre ursprüngliche Eigenform ein.



Abb. 19: Modelllinse

4.2. Funktion des Halteapparates

Um mit der Modelllinse den Akkommodationsvorgang nachzuahmen, musste mit Hilfe ihres Halteapparates eine Krümmungsradiusveränderung

hervorgerufen werden. Die 24 radiär angeordneten Nylonfasern ermöglichten einen gleichmäßigen Zug in alle Richtungen. Da die Linse zwischen zwei frei beweglichen Halteringen aufgehängt war, konnte durch Auseinanderbewegung beider Halteringe auf alle 24 Fasern eine gleichmäßige Zugspannung ausgeübt werden.

Der beobachtete Effekt war eine Abflachung des Krümmungsradius der Linse. Bei Entspannung der Fasern, bedingt durch Wiederausammenführen beider Ringe, nahm die Linsenkrümmung wieder zu bis ihre ursprüngliche Form erreicht war. Da die Fasern nicht am Linsenäquator, sondern 0,5 cm vom Linsenrand entfernt angebracht waren, blieb während des gesamten Akkommodationsvorganges der Linsenäquator unverändert. Das bedeutet, dass eine Modifikation des Krümmungsradius der Linsenoberfläche ohne gleichzeitige Umfangsänderung der Linse möglich war.

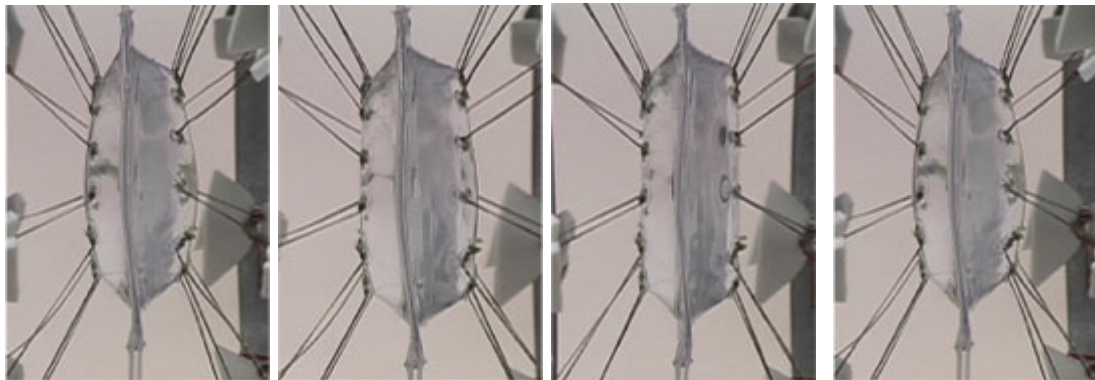


Abb. 20: Veränderung des Krümmungsradius

4.3. Versuchsreihe Optische Bank

Nachdem eine deutliche Abflachung des Krümmungsradius bei Zug an den ‚Zonulafasern‘ beobachtet werden konnte, sollte nun gemessen werden, wie stark sich die Brechkraft der Modelllinse dabei änderte. Mit Hilfe der Optischen Bank konnten Versuchsaufbau, Durchführung und Dokumentation der Messergebnisse realisiert werden.

Der Bildschirm war nur begrenzt auf der Schiene der Optischen Bank verschiebbar. Bei Projektion des Bildes durch die Modelllinse allein war es nicht möglich, eine scharfe Abbildung in dem vorgegebenen Verschiebeintervall zu erzeugen. Aus diesem Grund wurde eine zweite Sammellinse ($f=+100$) hinter die Modelllinse in den Strahlengang gebracht. Das so entstandene Linsensystem hatte eine ausreichende Brechkraft um ein Bild in dem gewünschten Verschiebeintervall entstehen zu lassen. Dieser Versuchsaufbau entsprach laut Anleitung der Optischen Bank der Darstellung einer Myopie. Bei allen durchgeführten Messungen wurden die in der Anleitung beschriebenen Angaben zum Versuchsaufbau genau berücksichtigt. Daraus ergab sich folgende Versuchsanordnung:

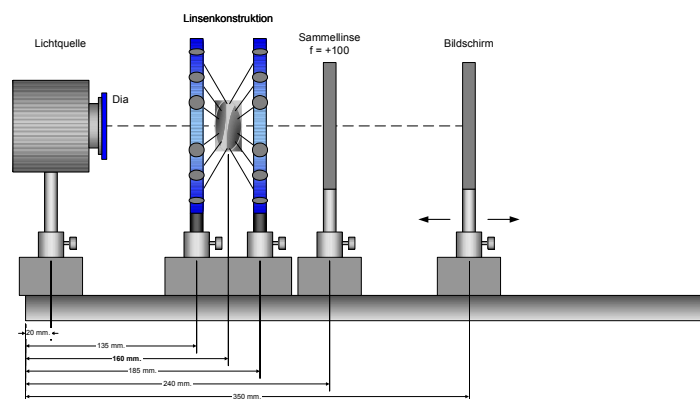


Abb. 21: Versuchsaufbau

Es wurden zwei Messreihen mit zwei verschiedenen Dias durchgeführt. Dia 1 warf drei 2,1 cm lange, 0,1 cm dicke Lichtstreifen auf den Bildschirm. Dia 2 war eine *Acuity Resolution Target-Vision Card* (Edmund Industrial Optics). Mit jedem Dia wurden 6 Versuche durchgeführt.

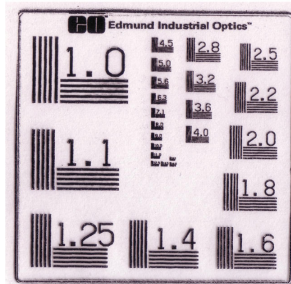


Abb. 22: *Acuity Resolution Target-Vision Card*

Bei entspannten ‚Zonulafasern‘ der Modelllinse stand der erste Haltering („Linsenfuß 1 nah“) über der 13,5 cm-Marke, der zweite (Linsenfuß 2) war über der 18,5 cm-Marke fixiert. Nach Anschalten des Lichtes projizierten sich die Lichtstreifen auf dem Bildschirm. Dieser wurde so weit verschoben, bis sich das Bild scharf stellte. Diese Position wurde als „Schirm nah“ dokumentiert und entsprach der Bildweite des Linsensystems bei akkommodierter Modelllinse. Nun wurde der erste Linsenfuß in Richtung Lichtquelle bewegt. Durch diese Auseinanderbewegung beider Füße und dem daraus resultierenden Zug an den Fasern flachten sich die Linsenkrümmungen ab (Desakkommodation). Bei maximalem Zug ergab sich die neue Halteringposition („Linsenfuß 1 fern“). Das Bild auf dem Schirm war nun nicht mehr zu erkennen. Erst nach Verschieben der Projektionsfläche auf die Position „Schirm fern“ stellte es sich wieder scharf dar. Somit rückte

die Bildweite des Linsensystems mit desakkommodierter Modelllinse in die Ferne.

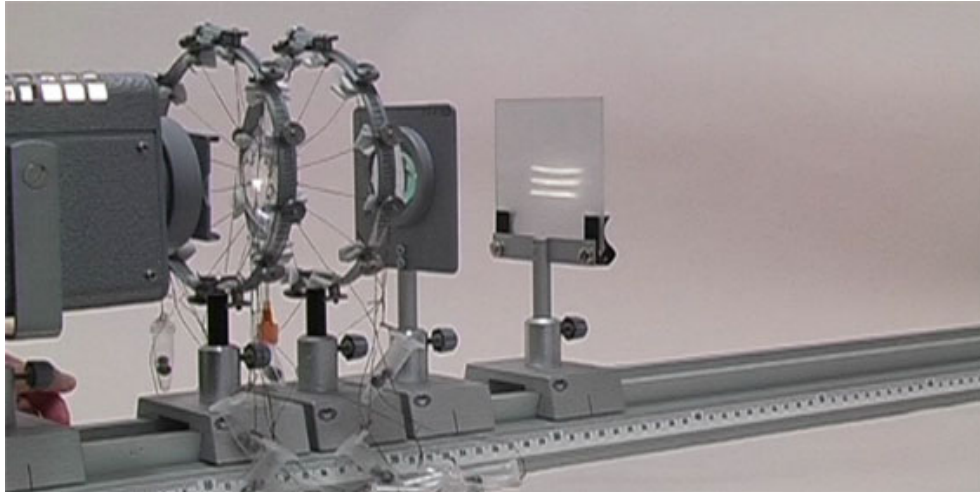


Abb. 23: Nahakkommodation, „Schirm-nah“-Position

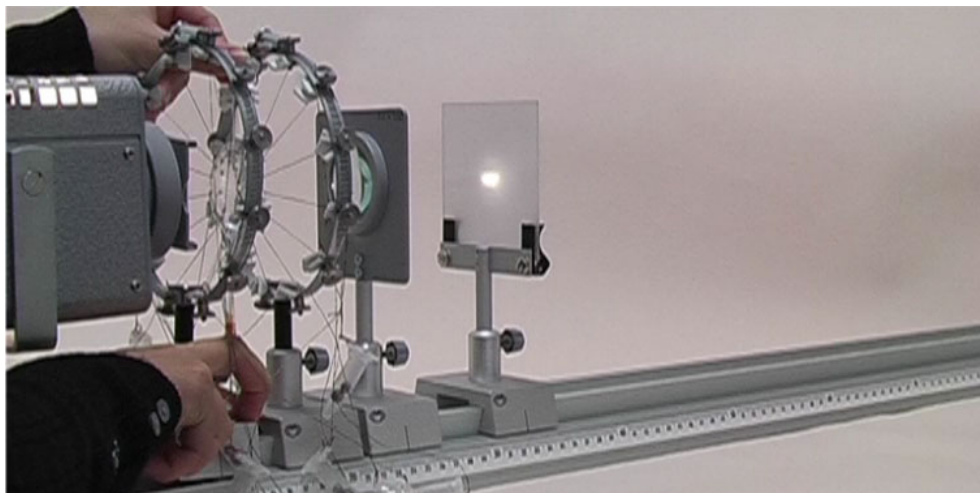


Abb. 24: Fernakkommodation, „Schirm-nah“-Position

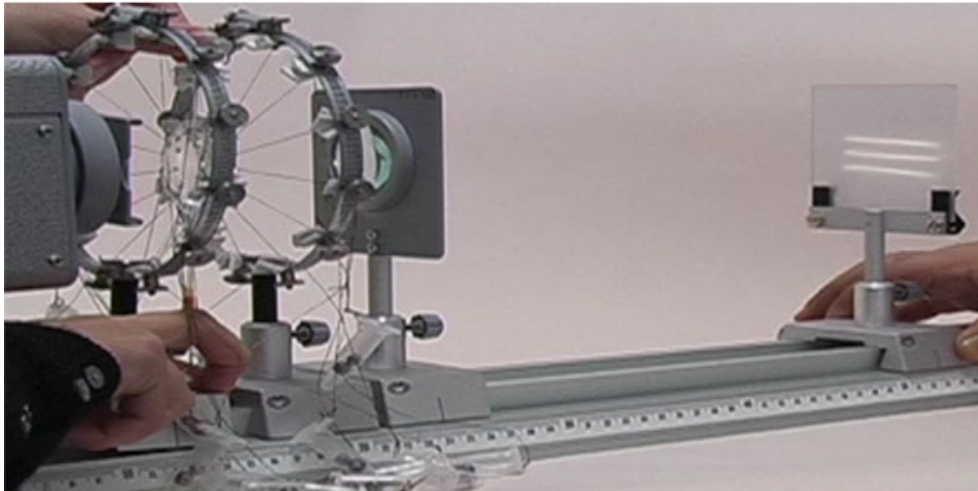


Abb. 25: Fernakkommodation, „Schirm-fern“-Position

Die 6 Versuche mit dem ‚Dia 1 – Lichtstreifen‘ ergaben folgende Messergebnisse:

| Linsenfuß 1 nah | Schirm nah | Linsenfuß 1 fern | Schirm fern |
|-----------------|--------------|------------------|--------------|
| 13,5 | 32,5 | 12,7 | 60,0 |
| 13,5 | 34,0 | 12,7 | 60,0 |
| 13,5 | 34,5 | 12,8 | 63,0 |
| 13,5 | 35,0 | 12,7 | 62,5 |
| 13,5 | 34,0 | 12,7 | 61,0 |
| 13,5 | 33,0 | 12,7 | 63,0 |
| | --- 33,83 | | --- 61,58 |

Tab. 3: Dia 1 – Lichtstreifen

Durch die Veränderung der Linsenbrechkraft wurde eine durchschnittliche Verschiebung der Bildweite um 27,75 cm erzielt.

Mit dem ‚Dia 2 - Acuity Resolution Target-Vision Card‘ wurden in 6 Versuchen folgende Werte gemessen:

| Linsenfuß 1 nah | Schirm nah | Linsenfuß 1 fern | Schirm fern |
|-----------------|------------|------------------|-------------|
| 13,5 | 35,5 | 12,6 | 70,5 |
| 13,5 | 38,5 | 12,4 | 71,0 |
| 13,5 | 36,0 | 12,4 | 71,0 |
| 13,5 | 36,5 | 12,6 | 71,0 |
| 13,5 | 36,0 | 12,8 | 71,5 |
| 13,5 | 34,0 | 12,6 | 74,0 |
| | 36,08 | | 71,5 |

Tab. 4: Dia 2 – Acuity Resolution Target-Vision Card

Die Bildweite verschob sich dabei im Durchschnitt um 35,42 cm in die Ferne.

Mit der Verschiebung der Bildweite in die Ferne war gezeigt, dass die Brechkraft des Linsensystems abgenommen hatte. Diese Abnahme resultierte ausschließlich aus der Verstellung der Modelllinse, da die zusätzliche Sammellinse ($f=+100$) eine konstante Brechkraft von +10,0 Dpt aufwies.

Zur Berechnung der Einzelbrechkraft der Modelllinse im akkommodierten bzw. desakkommodierten Zustand diente folgende Formel:

$$s_{i2} = \frac{f_2 d - f_2 s_{o1} f_1 / (s_{o1} - f_1)}{d - f_2 - s_{o1} f_1 / (s_{o1} - f_1)}$$

- s_{i2} Bildweite des Linsensystems
- s_{o1} Objektweite des Linsensystems
- f_1 Brennweite des Linse 1 (Modelllinse)
- f_2 Brennweite des Linse 2 (Sammellinse $f=+100$)
- d Abstand zwischen beiden Linsen

Um die Brennweite und daraus die Brechkraft der Modelllinse zu berechnen, musste die Formel nach f_1 umgestellt werden:

$$f_1 = \frac{s_{o1} s_{i2} (d - f_2) - s_{o1} f_2 d}{s_{i2} (d - f_2) - f_2 d + s_{i2} s_{o1} - f_2 s_{o1}}$$

Aus dem Versuchsaufbau und den gemessenen Bildweiten ergaben sich folgende Werte für die einzelnen Variablen:

- s_{i2} = Abstand: Bildschirm (nah/fern) - Linse 2 (24 cm)
 - Dia 1: nah (33,83 cm) – 24 cm = 9,83 cm
 - fern (61,58 cm) – 24 cm = 37,58 cm
 - Dia 2: nah (36,08 cm) – 24 cm = 12,08 cm
 - fern (71,5 cm) – 24 cm = 47,5 cm
- s_{o1} = Abstand: Linse 1 (16 cm) - Dia (12 cm) = 4 cm
- f_2 = +100 mm
- d = Abstand: Linse 2 (24 cm) – Linse 1 (16 cm) = 8 cm

| | s_{i2} | s_{o1} | d | f_2 | f_1 |
|------|----------|----------|------|-------|---------------|
| nah | 0,0983 | 0,04 | 0,08 | 0,1 | 0,0397 |
| fern | 0,3758 | 0,04 | 0,08 | 0,1 | 0,1384 |

Tab. 5: Dia 1 – Lichtstreifen (alle Angaben in Meter)

| | s_{i2} | s_{o1} | d | f_2 | f_1 |
|------|----------|----------|------|-------|---------------|
| nah | 0,1208 | 0,04 | 0,08 | 0,1 | 0,0435 |
| fern | 0,4750 | 0,04 | 0,08 | 0,1 | 0,2800 |

Tab. 6: Dia 2 - *Acuity Resolution Target-Vision Card* (alle Angaben in Meter)

Aus den berechneten Brennweiten konnte nun die entsprechende Dioptriezahl ermittelt werden. Dazu diente folgende Formel:

$$D = 1/f$$

| | | f | Dioptrie |
|--|------|--------|-----------------|
| Dia 1- Lichtstreifen | nah | 0,0397 | 25,2 |
| | fern | 0,1384 | 7,2 |
| Dia 2- <i>Acuity Resolution Target-Vision Card</i> | nah | 0,0435 | 23,0 |
| | fern | 0,2800 | 3,6 |

Tab. 7: Brennweite - Dioptriezahl

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Kraftübertragung der Zonulafasern auf die Linsen kapsel eine Oberflächenveränderung zur Folge hatte. Ausgehend von den punktuell ansetzenden Fasern verteilte sich die Zugspannung so, dass die Ansatzstellen radiär ausgezogen wurden und die zentrale Fläche sich abflachte. Insgesamt wurde die zentrale Linsendicke dadurch kleiner und der zentrale Krümmungsradius vergrößerte sich. Bei Nachlassen der Zugspannung nahm die Modelllinse durch ihre Eigenelastizität ihre ursprüngliche Form wieder an. Es zeigten sich im Modellversuch Brechkraftänderungen von 18 Dpt für Dia 1 bzw. 19,4 Dpt für Dia 2, die ohne Veränderung des äquatorialen Linsendurchmessers induziert werden konnten.