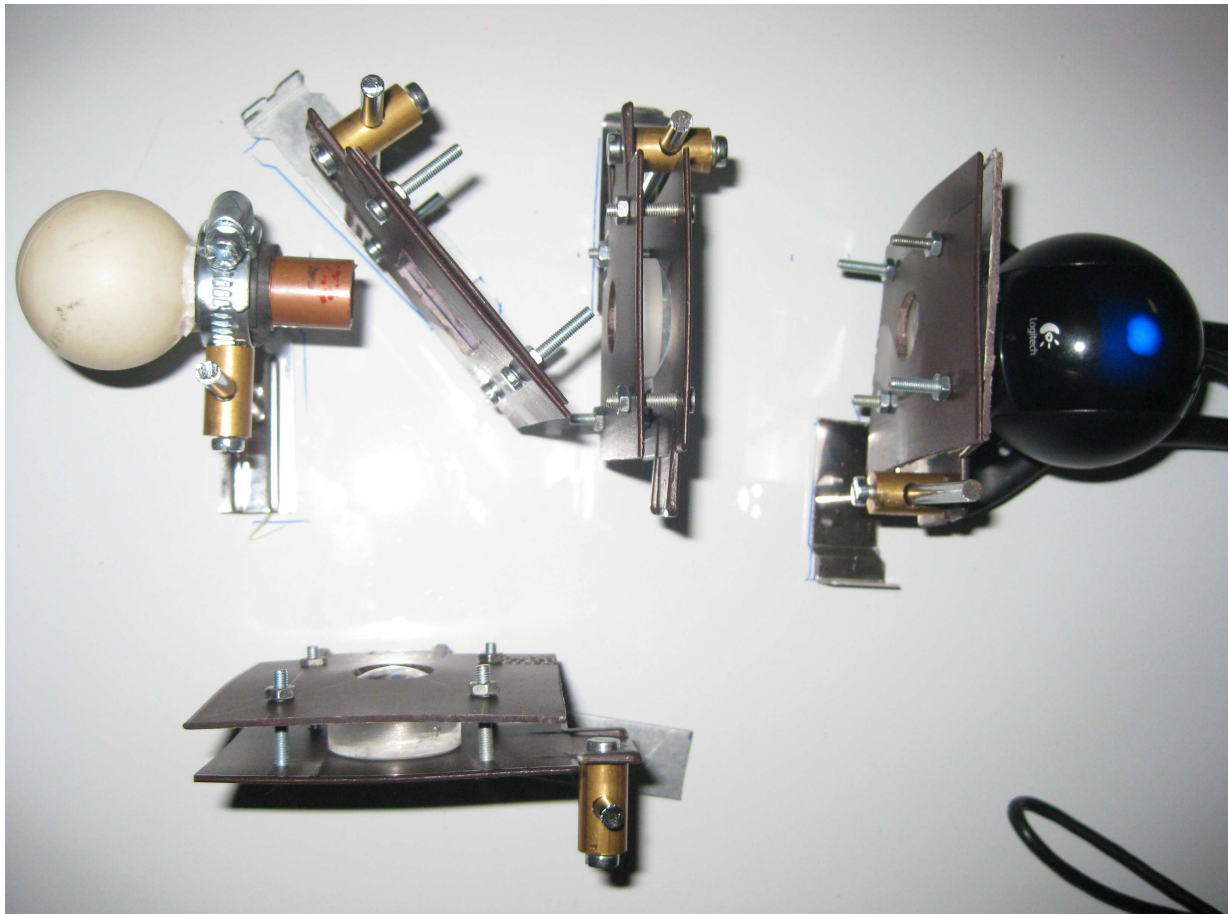


# Fotographisch – Optische Erfassung der menschlichen Netzhaut



Wettbewerb „Jugend forscht“ 2009

Kim von Scheidt (16 Jahre)

Arbeitsgemeinschaft „Jugend forscht“  
des Christian Gymnasium Hermannsburg  
Leitung StD Thomas Biedermann

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Vorüberlegungen</b>	<b>3</b>
2.1	Wie funktioniert das Sehen?	3
2.2	Welche Einschränkungen gibt es beim sehen?	4
2.3	Fragestellung	4
2.4	Wie kann ich in ein Auge hinein sehen?	4
2.5	Auf was muss ich achten?	5
2.6	Linsenformen	5
<b>3</b>	<b>Versuch</b>	<b>6</b>
3.1	Mein simuliertes Auge	6
3.2	Mein erster Aufbau	7
3.3	Verfeinerung meines Versuches	9
<b>4</b>	<b>Beobachtungen</b>	<b>9</b>
4.1	Problem mit der Lichtintensität	9
4.2	Genauigkeit des Aufbaues	10
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Danksagung</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Quellenangaben</b>	<b>10</b>

# 1 Einleitung

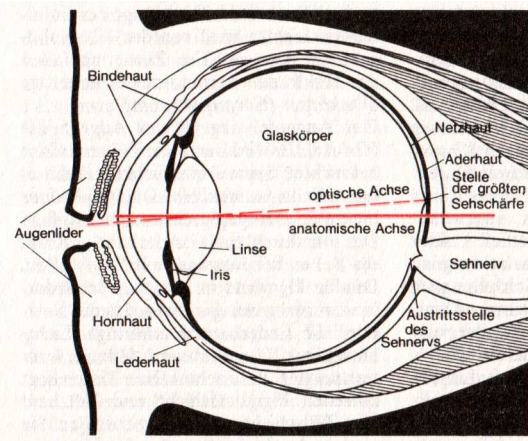
In diesem Jahr starte ich das vierte Mal bei dem Wettbewerb „Jugend forscht“. Dadurch ließ sich schnell ein neues Thema finden. Schon in den letzten Jahren beschäftigte ich mich viel mit Biologie und Vorgängen im Menschen. Und so sollte es dann auch dieses Jahr wieder sein. Mich interessierte schon im Schulunterricht das Thema Auge. Wie funktioniert das Auge überhaupt? Warum können wir sehen? Nachdem viele von meinen Fragen in der Schule beantwortet wurden, war mir dies jedoch nicht genug. Mich faszinierten die Vorgänge, die im Auge geschehen. Dabei stellte sich mir immer wieder die Frage: Wie sieht unser Auge eigentlich von innen aus? Abbildungen hatte ich davon zum Beispiel in Büchern schon gesehen, doch ich wollte mir im wahrsten Sinne des Wortes selbst ein Bild davon machen. So kam ich auf die Idee, dass es doch zu schaffen sein muss, die Netzhaut in unserem Auge selber abzubilden. Diese Idee sollte verwirklicht werden.

## 2 Vorüberlegungen

### 2.1 Wie funktioniert das Sehen?

Um ein Bild wahrnehmen zu können laufen viele Prozesse ab. Zunächst wird das Auge auf ein Bild fokussiert. Dies geschieht von unserem Körper automatisch. Dabei verändern die Ziliarmuskeln die Linse so, dass das fokussierte Bild scharf auf unserer Netzhaut abgebildet wird. Auf unserer Netzhaut befinden sich zwei verschiedene Arten von Sehsinneszellen: Die Stäbchen und die Zapfen. Diese Sehsinneszellen unterscheiden sich in zwei Punkten: die Zapfen sind für das Farbsehen verantwortlich und funktionieren nur bei Helligkeit. Anders die Stäbchen. Sie können zwar nur schwarz und weiß erkennen, funktionieren jedoch auch bei wenig Helligkeit und ergeben eine Auflösung, die etwa 1000-mal höher ist als bei den Zapfen.

Alle Lichtsinneszellen enthalten lichtempfindliche Farbstoffe. In den Stäbchen ist es Sehpurpur (Rhodopsin), für dessen Aufbau Vitamin A aus der Nahrung benötigt wird. Trifft Licht auf eine Sehsinneszelle, so wird sie gereizt: Der Sehfärbstoff absorbiert Licht und zerfällt in zwei Bestandteile. Dabei erzeugt die Zelle ein elektrisches Signal. Die Signale werden an die zweite Zellschicht, die aus Schaltzellen besteht, weitergeleitet. Diese übertragen die Signale an die dritte Schicht. In ihr liegen etwa eine Million Nervenzellen, deren lange Fortsätze sich zum Sehnerv vereinigen und elektrische Signale zum Gehirn leiten. Die Vielzahl der dort einlaufenden Nervenimpulse wird zu einem individuellen Bild unserer Umwelt verrechnet. Jede Nervenzelle liefert dabei einen Bildpunkt des wahrgenommenen Bildes. [3]



## 2.2 Welche Einschränkungen gibt es beim Sehen?

Viele Menschen in unserer Umwelt tragen eine Brille. Man muss sich meistens nur kurz umsehen, bis man jemanden mit einer Sehhilfe antrifft. Doch warum ist das so? Ich musste mich darüber genauer informieren, um zu wissen ob es Einschränkungen für mein Projekt gibt und ob ich beim Abbilden der menschlichen Netzhaut zusätzlich Linsen benötige um das Bild im Inneren unseres Auges konstruieren und sehen zu können.

Brillen sind nichts anderes als eine Zerstreuungs- oder Sammellinse. Je nachdem, ob man Kurz- oder Weitsichtig ist, benötigt man bei Kurzsichtigkeit eine Zerstreuungslinse und bei Weitsichtigkeit eine Sammellinse. Jemand der weitsichtig ist, hat Probleme, Abbildungen in kurzen Entfernungen vor dem Auge zu erkennen, da die Linse seines Auges sich nicht so weit umstellen kann, dass das Bild auf dem Schirm der Netzhaut liegt. Das Bild würde hinter der Netzhaut entstehen und man erkennt die Abbildungen nur unscharf. Setzt man nun aber eine Sammellinse davor, so kann der Strahlengang des eigenen Auges soweit verändert werden, dass bei kurzen Entfernungen die Abbildungen wieder genau auf der Netzhaut scharf abgebildet werden. Bei Kurzsichtigen ist es genau umgekehrt.

Bei meinem Projekt könnten Brillenträger zu einem kleinen Problem führen, da ihre Linsen anders scharf stellen als „normale“ Linsen. Dies könnte bedeuten, dass die Linsenkonstruktion mit der Kamera für jeden individuell eingestellt werden muss. Schließlich ist es wichtig das meine Konstruktion für jeden Augentyp verwendbar ist, da ich die Pupillenerweiterung umgehen möchte.

## 2.3 Fragestellung

Meine Fragestellung ist in diesem Jahr die fotografisch – optische Abbildung der menschlichen Netzhaut. Ich habe diesen Titel gewählt, da er die fotografisch arbeitende Webcam beinhaltet, die Optiken erwähnt, die ich benötigen werde, um die Netzhaut scharf abbilden zu können und letztlich auch die *menschliche* Netzhaut einbezieht. Zur frühzeitigen Erkennung von Augenerkrankungen ist es in der heutigen Augenmedizin sehr wichtig, möglichst genaue Informationen über den inneren Zustand des Auges zu erlangen. Die derzeit häufig angewendeten Methoden haben den Nachteil, dass man für den Blick ins Auge die Pupillen weiten muss, um ein hinreichendes Bild zu bekommen. Mein Ziel ist es, das Weiten der Pupillen durch Medikamente zu vermeiden.

## 2.4 Wie kann ich in ein Auge hineinsehen?

Bevor ich mit meinem Projekt starten konnte, musste ich mir überlegen, mit welchen Hilfsmitteln ich in ein Auge hinein sehen kann. Ich entschloss mich für eine Webcam, da ich sie direkt an einen Computer anschließen kann. Da eine Webcam ein fortlaufendes Bild auf dem Computer abgibt, kann ich sofortige Veränderungen der Bildqualität erkennen. So hilft es mir beim Aufbau meines Experimentes, denn wenn ich meine Kamera ausgerichtet habe, muss ich sie nicht verschieben um zu sehen, wie das Bild geworden ist. Doch es entsteht ein Problem. Die Webcam allein wird kein scharfes Bild von meinem Auge erzeugen

können, da der Radius meines Auges durch die Augenlinse sehr klein ist und die Webcam mit ihrem Weitwinkelobjektiv nicht auf einen nahen Punkt fokussieren kann. Doch wie bekomme ich nun ein scharfes Bild?

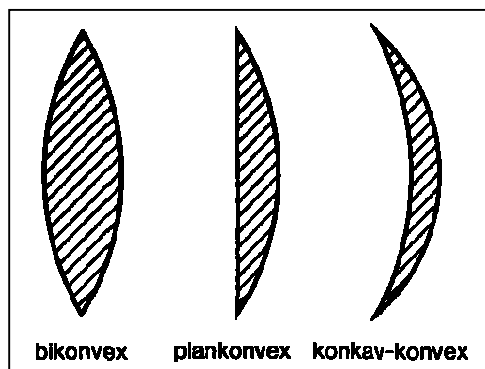
Ich überlegte mir, dass ich vor die Webcam ein Linsensystem setzen werde, um den Strahlengang für die Webcam so zu verändern, dass sich der Fokus der Webcam möglichst auf den Radius der Augenlinse reduziert, um so ein scharfes Abbild meiner Netzhaut erzeugen zu können, ähnlich wie bei einem extrem weitsichtigen Menschen.

## 2.5 Auf was muss ich achten?

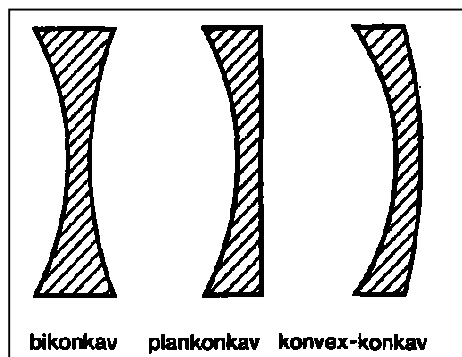
Bevor ich meine Linsenkonstruktion mit der Kamera an einem Menschen ausprobiere, ist es wichtig sicherzustellen, dass mein Projekt das Auge nicht übermäßig belastet und auch keine Folgeschäden an ihnen verursacht. Deswegen habe ich zunächst ein Modellauge gebaut, um damit den Strahlengang zu simulieren. Außerdem kann ich damit prüfen, ob Helligkeit und Bildschärfe für auswertbare Aufnahmen ausreichend sind und ob diese Konstruktion auf das menschliche Auge angewendet werden kann.

## 2.6 Linsenformen

In der Physik unterscheidet man zwei verschiedene Hauptgruppen von Linsen:



Die Konkav- und die Konvexlinsen (auch bekannt unter Sammellinse- und Zerstreuungslinsen). Diese sind auf Anhieb leicht zu unterscheiden, da die Zerstreuungslinsen im Gegensatz zu den Sammellinsen in der Linsenmitte immer dünner sind als am Rand der Linse. Die Sammellinsen hingegen sind innen dicker als außen. In diesen zwei Hauptgruppen von Linsen unterscheidet man jeweils drei verschiedene Linsenarten. Bei den



Sammellinsen sind es die bikonvex, plankonvex und konkav-konvex-Linsen, bei den Zerstreuungslinsen die bikonkav, plankonkav und konvex-konkav-Linsen (siehe Abb. 2 und 3), was besonders bei Linsenkombinationen wichtig ist. Alle Sammellinsen haben jedoch gemeinsam, dass durch die Brechung an den Grenzflächen der Linse die zur optischen Achse parallel einfallenden Strahlen nach Durchqueren der Linse die optische Achse in einem Punkt schneiden (auch Brennpunkt genannt).

Parallelstrahlen, die nicht parallel zur optischen Achse sind, schneiden sich nach dem Durchqueren der Linse ebenfalls in einem Punkt, der aber neben dieser Achse liegt – alle diese Punkte bilden die sog. Brennebene. Anders ist es bei der

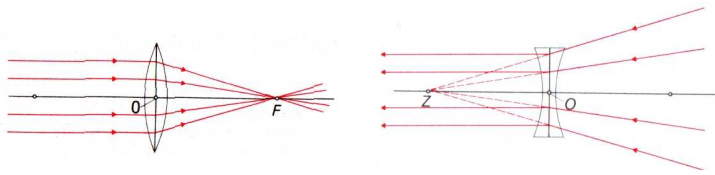


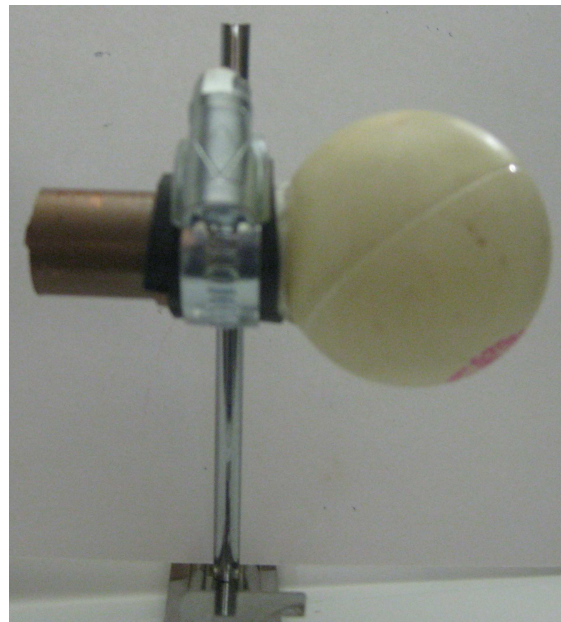
Abb. 4: Strahlengang bei Sammell- und Zerstreuungslinsen

Zerstreuungslinse. Bei ihr spricht man nur von virtuellen Brennpunkten, da die einfallenden Strahlen nach Durchqueren der Linse die optische Achse nicht schneiden, sondern von ihr weg gebrochen werden und damit - wie der Name schon sagt - das Lichtbündel zerstreuen. Um festzustellen, wo das Bild abgebildet wird, nutzt man den virtuellen Brennpunkt vor der Linse, um das Bild zu konstruieren. Dabei entsteht das Bild zwischen Objekt und Linse (siehe Abb. 4). [2]

## 3 Versuch

### 3.1 Mein simuliertes Auge

Bevor ich mit einem Versuch beginnen konnte, musste ich mir überlegen wie ich ein Auge simulieren kann, so dass es auch Detailgetreu und Im Größenverhältnis dem menschlichen Auge entspricht. Da ein Auge einen Durchmesser von etwa 2,4 cm hat [1], habe ich mich dafür entschieden, einen Tischtennisball als „Augenersatz“ umzufunktionieren. Dieser hat zwar einen etwas größeren Durchmesser (ca. 3,7 cm), jedoch hat die leicht vergrößerte Form den Vorteil, bei meinen ersten Versuchen auch im Inneren des Auges Objekte anbringen zu können. Die Augenöffnung habe ich mit etwa 1,5 cm Durchmesser ähnlich groß gewählt wie bei einem echten Auge. Um bei meinem Versuch die Linse des natürlichen Auges zu ersetzen, benötige ich eine Linse mit etwa 40 Dioptrien und einem Durchmesser von höchstens 1,5 cm. Derartige Linsen sind in der Regel schwer zu bekommen. Zu meinem Glück hat unsere Jugend forscht Gemeinschaft erst vor kurzem eine größere Zahl von Linsen in vielen verschiedenen Brennweiten, Bauformen und Größen gesponsert bekommen. So hatte ich es doch ein bisschen einfacher. Zur Darstellung der variablen Augenlinse entschied ich mich für ein Linsensystem, bestehend aus einer +23 PK und einer -50 BK, das insgesamt die gewünschte Brennweite erzeugt. Da unser menschliches Auge jedoch die Eigenschaft hat, ihre Brennweite dem Abstand der sehenden Objekte anzupassen, müssen die beiden Linsen gegeneinander verschoben werden können. Dafür verwende ich zwei Kupferrohre, deren Innendurchmesser genau so groß ist, dass die Linsen



sich exakt einpassen lassen. Diese beiden Kupferrohre kann ich in einem weiteren Kupferrohr gegeneinander verschieben und somit die Brennweite des Linsensystems gezielt verändern, wie es auch im menschlichen Auge geschieht. Nach dem Montieren des Tischtennisballes an dem Kupferrohr war das Auge auch schon fertig.

### 3.2 Mein erster Aufbau

Damit ich mein simuliertes Auge und die Linsen, die ich zwischen der Webcam und dem Auge benötige, auch fest montieren kann, musste ich mir als nächstes eine Befestigungsmöglichkeit überlegen. Leichter gesagt als getan. Denn diese Befestigung sollte zum einen höhenverstellbar, drehbar und auch frei beweglich und nicht fest verschraubt sein. Nach langem Überlegen und verschiedenen gescheiterten Versuchen etwas derartiges zu bauen kam mir der rettende Einfall.

Ich nahm alte Slotbleche eines Computers und schraubte daran senkrecht eine kleine Metallstange fest. An diese Stange schraubte ich ein kleines Rohr, an dem man seitlich eine Platte anbringen kann oder durch eine zusätzliche Schraube etwas anderes (wie zum Beispiel eine Klemme) befestigen kann. Durch dieses kleine Rohr ist das System zum einen Höhenverstellbar und Drehbar. Als nächstes nahm ich zwei Plastikplatten und bohrte vier Löcher an die Ecken, dazu ein weiteres für die Befestigung an meinem Rohr und ein großes in die Mitte, damit man z.B. Linsen zwischen die beiden Platten spannen kann. Durch die vier Löcher an den Ecken steckte ich Schrauben und versah sie mit passenden Muttern. So kann ich nun eine beliebige Linse nehmen und sie zwischen den Platten einspannen. Damit das ganze System auch einen festen Halt hat, montierte ich unter der Metallplatte am Fuß meines Systems ein Magnetstreifen. So kann ich diese Halterungen auf einer Magnettafel oder einem White-Board nutzen. Hat man das erste Problem gelöst, folgt das nächste zugleich. Ich hatte nun eine gute

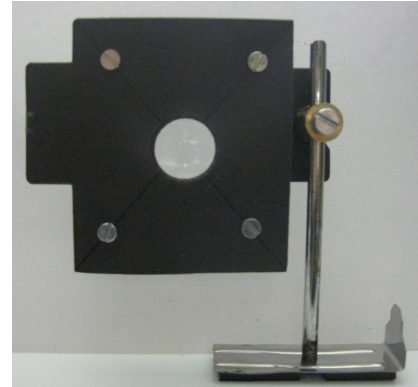
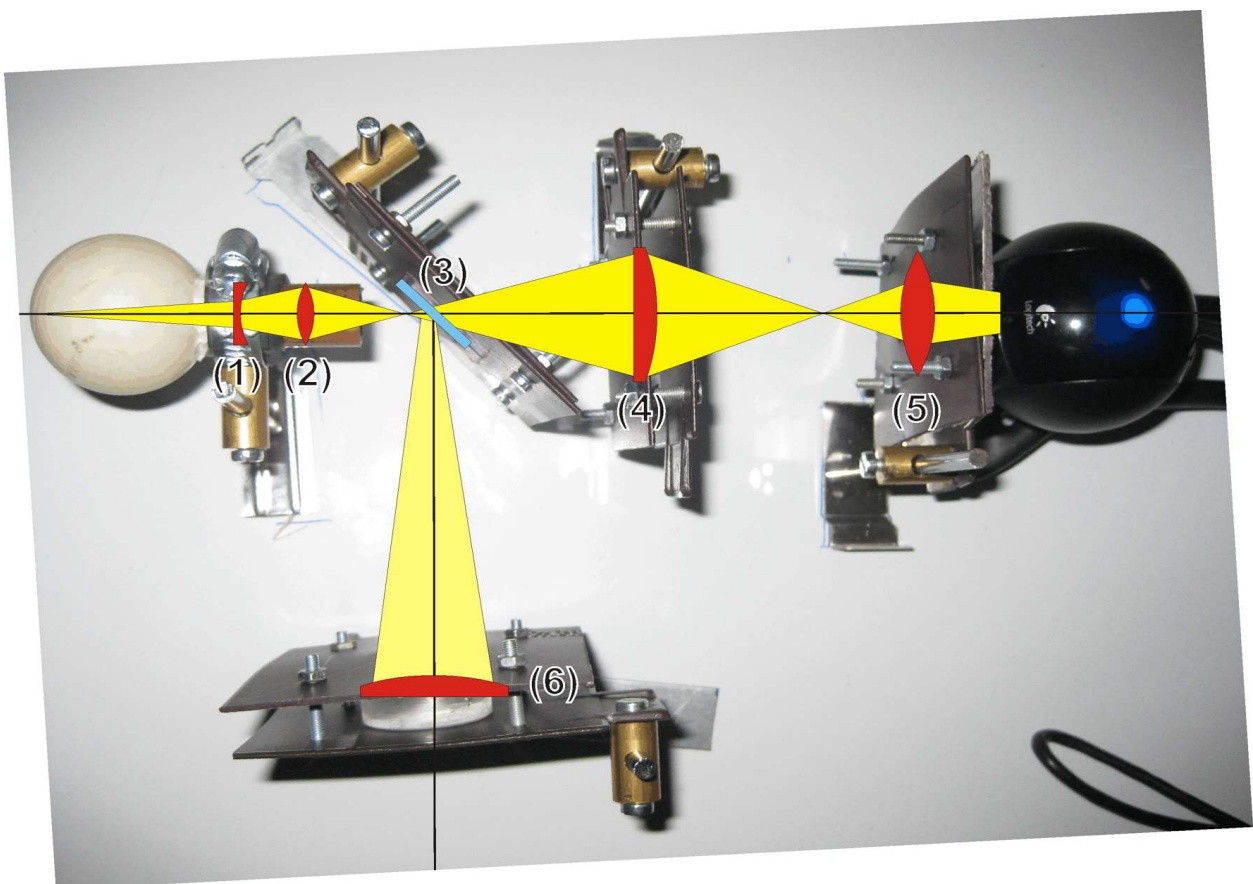


Abb. 6: Linsenhalterung



Möglichkeit meine Linsen zu positionieren, doch welche Linsen sind nötig um ein scharfes Abbild meiner Netzhaut zu bekommen? Ich nahm mir die Grundkenntnisse der Optik zur Hilfe. Wenn ein entfernter Gegenstand auf der Netzhaut scharf abgebildet wird, muss im Umkehrschluss das von der Netzhaut stammende Licht nahezu parallel aus der Augenlinse austreten. Ich brauchte also auf jeden Fall eine Sammellinse, um dieses Lichtbündel auf einen Brennpunkt zu fokussieren und somit ein reelles Zwischenbild zu erhalten, das sich weiter vergrößern lässt. Ohne diese Zwischenabbildung wäre das Bild auf der Webcam erheblich zu klein. Mit einer zweiten Linse konnte ich dann das Bild für die Webcam vergrößern und scharf stellen (ähnlich wie in einem Mikroskop). Am Ende erzielte ich ein gutes Bild, wenn ich eine Sammellinse mit einer Brennweite von 23 mm (plankonvex) unmittelbar vor die Webcam setzte und zwischen dieser Linse und dem simulierten Auge in einem Abstand von 5,5 cm von der ersten Linse eine weitere Sammellinse platzierte mit einer Brennweite von 35 mm (ebenfalls plankonvex). Die Augenlinse ist von der zweiten Linse etwa 6,5 cm entfernt. Mit dieser Anordnung ist das Bild auf dem Schirm des simulierten Auges von der Webcam her scharf zu erkennen.

Jedoch entsteht ein neues Problem. Die Linsen können das Bild nicht im Augeninneren der Apparatur erkennen, da nicht genügend Helligkeit vorhanden ist. Eine Lichtquelle musste also noch her. Damit der Strahlengang meiner Linsen nicht unterbrochen wird, entschloss ich mich dafür, den Tischtennisball zunächst von hinten zu beleuchten.





### 3.3 Verfeinerung meines Versuches

Da das natürliche Auge keine Beleuchtung aus dem menschlichen Inneren bekommt, sondern nur von außen, musste ich mich noch damit befassen, wie ich eine ausreichende Beleuchtung des Inneren des Tischtennisballes erreichen konnte, ohne in den Strahlengang einzuwirken. Ich entschloss mich für einen halbdurchlässigen Spiegel, da er einerseits den Strahlengang nicht wesentlich verändert, andererseits aber auch von der Seite eintreffendes Licht in das simulierte Auge spiegeln kann. So ist ausreichend Licht in dem simulierten Auge vorhanden und die Webcam ist immer noch scharf auf den Schirm des Auges fokussiert.

## 4 Beobachtungen

### 4.1 Problem mit der Lichtintensität



Nachdem ich meinen Versuch in der zweiten Form belassen hatte, stellte sich beim Abbilden der simulierten Netzhaut in Form eines roten Sternes auf dem Schirm des Tischtennisballes heraus, dass durch den Oberflächenspiegel direkt am Anfang des Auges ein zu eng gebündeltes Licht im Auge eintrifft. Dadurch wird der Schirm lokal zu stark beleuchtet. Durch eine Sammellinse mit der Brennweite 50 mm (plankonvex) ließ sich der Lichtstrahl weiten. Trotzdem war das einfallende Licht noch zu intensiv, sodass das Bild überlichtet war und man auf der Webcam nichts erkennen konnte (Abb. 9). Bei einem indirektem Licht (zum Beispiel durch

Vorhalten eines Stück Papiers vor die Lichtquelle) löste sich zwar dieses Problem, jedoch ist dann nicht mehr genügend Licht vorhanden, als dass die Webcam noch etwas auf dem Schirm erkennen kann. Zusätzlich sind Spiegelungen auf dem Schirm vorhanden, die vermutlich von dem Kupferrohr der Augenlinse kommen. Diese sind durch das indirekte Licht jedoch schon vermindert. Zum jetzigen Zeitpunkt bekomme ich nur sinnvolle Ergebnisse, wenn ich das Auge von hinten beleuchte.



Abb. 10: Abbildung der „Netzhaut“ mit Beleuchtung von hinten

## 4.2 Genauigkeit des Aufbaues

Mir ist aufgefallen, dass durch den geringen Radius, der mir durch das Auge zur Verfügung steht, eine genaue Positionierung sehr wichtig ist. Weicht man schon millimeterweise von seinem Aufbau ab, so ist das Ergebnis nicht mehr das, was es werden sollte. In Bezug auf mein Ziel, was ich immer noch vor Augen habe, nämlich die Abbildung der menschlichen Netzhaut, wäre eine noch genauere Justiermöglichkeit für die Linsen sehr von Vorteil. Es wäre also das sinnvollste, die Apparaturen so zu verändern, dass eine einfachere Umstellung der Linsen möglich ist. Durch Einfügen von Blenden könnte das Problem der unerwünschten Reflexionen verringert werden, weil damit der Strahlengang genauer kontrolliert werden kann.

## 5 Zusammenfassung

Im allgemeinen würde ich sagen, dass ich meinem Ziel, dem Abbilden der menschlichen Netzhaut, einen großen Schritt näher gekommen bin. Zwar habe ich die menschliche Netzhaut noch nicht abbilden können, doch habe ich den prinzipiellen Aufbau für dieses Vorhaben weitgehend fertig. Die Probleme wie Reflexionen oder der Passgenauigkeit des Strahlenganges sind Dinge, die in Zukunft noch verbessert werden können. Sind diese Schwierigkeiten aber gelöst, steht einer Abbildung der menschlichen Netzhaut wohl nicht mehr im Wege.

## 6 Danksagung

In diesem Jahr möchte ein paar Menschen danken, ohne die ich an diesem Projekt wahrscheinlich verzweifelt wäre. Zum einen ist dies mein Jugend forscht Leiter Thomas Biedermann, der mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Zum anderen möchte ich mich auch bei seiner Frau bedanken, die uns immer mit Orangensaft und Keksen versorgt hat. Natürlich auch meinen Eltern, für das große Verständnis das sie mir entgegen gebracht haben. Danke!

## 7 Quellenangaben

- [1] Pschyrembel, „Klinisches Wörterbuch“, Verlag de Gruyter, Berlin 1993
- [2] Schüler-Duden „Physik“, Dudenverlag, Mannheim 1989
- [3] Schüler-Duden „Biologie“, Dudenverlag, Mannheim 1976