

**Ueber die Trübungen der Hornhaut in Folge mechanischen Druckes und der Quellung : Inauguraldissertation / von Ludwig Meyr.**

**Contributors**

Mayr, Ludwig.  
Ophthalmological Society of the United Kingdom. Library  
University College, London. Library Services

**Publication/Creation**

München : Druck von Carl Robert Schurich, 1856.

**Persistent URL**

<https://wellcomecollection.org/works/jsvy9bnu>

**Provider**

University College London

**License and attribution**

This material has been provided by This material has been provided by UCL Library Services. The original may be consulted at UCL (University College London) where the originals may be consulted.

This work has been identified as being free of known restrictions under copyright law, including all related and neighbouring rights and is being made available under the Creative Commons, Public Domain Mark.

You can copy, modify, distribute and perform the work, even for commercial purposes, without asking permission.



Wellcome Collection  
183 Euston Road  
London NW1 2BE UK  
T +44 (0)20 7611 8722  
E [library@wellcomecollection.org](mailto:library@wellcomecollection.org)  
<https://wellcomecollection.org>



Ueber die

# Trübungen der Hornhaut

in Folge mechanischen Druckes und der Quellung.

---

## ***Inauguraldissertation***

von

Dr. med. Ludwig Mayr

von Kempten.

---

München, 1856.

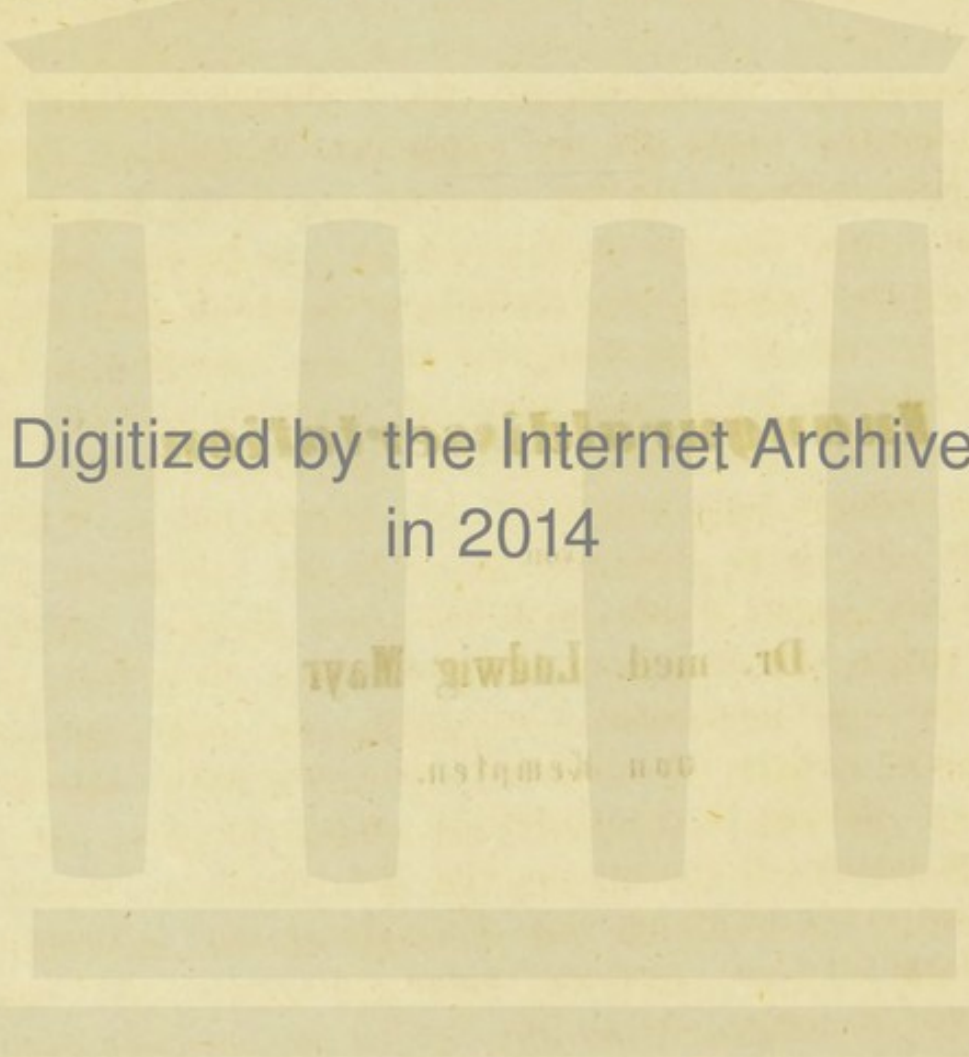
Druck von Carl Robert Schurich.



Ueber die

# Trübungen der Hornhaut

in Folge mechanischen Druckes und der Quellung



Digitized by the Internet Archive  
in 2014

Dr. med. Ludwig Mayr  
von Regensburg

München, 1850

Druck von Carl Robert Schmitt

<https://archive.org/details/b21644135>

1844032



## Einleitung.

Ich nahm im Sommersemester des verflossenen Jahres an einem praktischen Course aus der Experimentalphysiologie Theil, welchen Herr Professor Harless in dem physiologischen Institute leitete. Nachdem ich mich in der physiologischen Experimentirkunst nach mannigfachen Richtungen hin bereits geübt hatte, gab mir der sehr verehrte Herr Professor die Anregung, meine weiteren Arbeiten der Lösung irgend einer physiologischen Aufgabe zu widmen, welche ich späterhin zum Thema meiner Inauguraldissertation wählen könnte. Ich begann nun nach dem Vorschlage des Herrn Professor Harless die Trübungen der Hornhaut des Auges, welche nach dem Tode künstlich hervorgerufen werden können, näher zu untersuchen, und stellte im Verlaufe der unternommenen Untersuchung eine Reihe von Experimenten an, welche ich in dieser Abhandlung jetzt mittheilen werde. Ich untersuchte hauptsächlich zwei Arten von künstlicher Trübung der Hornhaut; die eine Art betraf die Trübung, welche nach der Einwirkung eines hinreichend starken Druckes auf die Hornhaut zum Vorschein kommt; die andere Art von Trübung war diejenige, welche in Folge der Quellung der Hornhaut in Wasser entsteht. Ich wählte zur Untersuchung dieser Verhältnisse die Hornhäute von Ochsenaugen. Ich war bestrebt, die Augen möglichst bald nach dem Schlachten des Thieres zur Untersuchung zu erhalten, um sie dem Experimente in einem Zustande unterwerfen zu können, in welchem die cadaveröse Veränderung der Durchsichtigkeit der Hornhaut noch nicht eingetreten war.



## I. Die Trübung der Hornhaut durch mechanischen Druck.

Man kann sich diese Art von Trübung der Hornhaut auf sehr einfache Weise zur Anschauung bringen. Nimmt man ein frisches Auge, dessen Hornhaut ihre volle Durchsichtigkeit besitzt, in die Hand, und drückt es zwischen den Fingern, so erscheint bei hinlänglichem Drucke rasch eine intensive, weissliche Trübung der ganzen Hornhaut. Diese Trübung hält so lange an, als der Druck fortwirkt; sobald man den Druck aufhebt, verschwindet sie, und die Hornhaut hat ihre ursprüngliche Durchsichtigkeit wieder erlangt. — Ich suchte die Grösse des Druckes, welcher zur Erzeugung dieser Trübung nothwendig ist, zu bestimmen. Ich nahm eine Glasröhre, welche an ihrem unteren Ende umgebogen war, und in eine trichterförmige Erweiterung endigte, welche mit Quecksilber gefüllt war. Es wurde nun ein Auge in zwei Hälften getheilt, in eine vordere und eine hintere, und die vordere Hälfte, welche die Hornhaut, den vordern Abschnitt der Sklerotica, das Kammerwasser, die Linse und den zugehörigen Abschnitt des Glaskörpers in sich begriff, auf die Mündung des trichterförmigen Endes aufgesetzt, und daran mit Ausschluss aller Luftblasen mittelst Bindfäden befestigt. Sodann wurde durch die obere Oeffnung die vertical aufgestellte Glasröhre so hoch mit Quecksilber gefüllt, bis die Hornhaut ihre Durchsichtigkeit verloren hatte, und die besagte Trübung sichtbar war. Dann wurde die Höhe der Quecksilbersäule sowohl in dem langen Schenkel der Glasröhre, als in dem kürzern gemessen, und aus der Differenz der beiden Höhen die Druckhöhe, welche eigentlich auf die Hornhaut wirkte, festgestellt. Ich erhielt aus zwei Versuchen, welche ich mit zwei Hornhäuten anstellte, die mittlere Druckhöhe von 15 Centim. Nach der Neigung der Glasröhre verschwand die Trübung der Hornhaut wieder. Wenn man den Inhalt der dem Drucke ausgesetzten Fläche der Hornhaut, welche beim Rinde eine nahezu elliptische Form hat, in der Art berechnet, dass man aus dem durchschnittlichen Längendurchmesser der Hornhaut von 3,3 Centim., und dem queren von 2,5 Centim. die entsprechenden Kreisflächenräume bestimmt, und daraus den mittleren Kreisflächen-



inhalt berechnet, welchen man für den approximativen Flächeninhalt der Hornhaut nimmt, so bietet die Hornhaut dem Drucke der Quecksilbersäule eine Basis von 6,73 □-Centim. dar. Multiplicirt man diesen Werth mit der Druckhöhe, so erhält man als Cubikinhalt der auf die Hornhaut drückenden Quecksilbersäule 100,95 Cub.-Centim., welche einem Gewichte von 1372,92 Gramm. entsprechen.

In einem anderen hieher gehörigen Versuche brachte ich die vom Auge lospräparirte Hornhaut zwischen zwei Glasplatten, und comprimirte sie zwischen denselben. Ich beobachtete bei ergiebigem Drucke ebenfalls rasches Trübwerden der Hornhaut. Nach Aufhebung des Druckes kehrte die frühere Durchsichtigkeit wieder zurück, indem die Hornhaut zugleich ihre eigene Flüssigkeit, welche ihr während der Compression ausgepresst worden war, wieder in sich sog. — Ich machte ähnliche Versuche mit Stücken der Hornhaut von verschiedener Grösse, und beobachtete hiebei die nämlichen Erscheinungen. — Wurde die Hornhaut einem sehr starken Drucke ausgesetzt, wobei ihre Flüssigkeit mehr weniger weit aus dem Bereich der Hornhaut gewichen war, so blieb sie undurchsichtig.

Man kann diese Art von Trübung auch an lebenden Thieren hervorrufen. Drückt man z. B. hinreichend stark auf das Auge eines Kaninchens, so erscheint ebenfalls eine intensive, mit dem Nachlass des Druckes verschwindende Trübung der Hornhaut.

Hieher gehört wohl auch eine Wahrnehmung, welche man bei der Keratonyxis gemacht hat. Man bemerkt nämlich an der Stelle, wo der Operateur das Staarmesser eindrückt, vorübergehendes Trübwerden der Hornhautsubstanz.

### Theorie der Druckwirkung.

Ich glaube, die Beobachtung, dass die Hornhaut durch Druck auf das Auge ihre Durchsichtigkeit verliert, und nach Aufhebung des Druckes wieder gewinnt, mit zwei allgemein bekannten Erscheinungen in Eine Reihe zusammenstellen zu dürfen. Die eine ist die, welche man an matt geschliffenem Glase beobachtet, das in der Luft nur wenig Licht durchlässt,



aber wieder durchsichtig wird, wenn man es mit Wasser oder noch besser mit Terpentinöl, welches mit dem Glase fast gleiches Brechungsvermögen besitzt, übergiesst. Die andere Erscheinung besteht darin, dass ein undurchsichtiges Papier beinahe durchsichtig wird, wenn man es mit Oel trinkt, welches die in den Poren desselben enthaltene Luft austreibt und an die Stelle derselben tritt. Bei der Hornhaut, wie bei dem matten Glase beruht die Undurchsichtigkeit, welche sie unter gegebenen Umständen zeigen, auf dem durch diese Umstände bedingten, grossen Unterschiede in dem Lichtbrechungsvermögen ihrer auf einander folgenden, optisch verschieden wirkenden Elemente und der umgebenden Medien. Die Durchsichtigkeit dagegen verdanken die drei fraglichen Medien, die Hornhaut, das befeuchtete, matt geschliffene Glas und das ölgetränkte Papier, einer Flüssigkeit, welche den erwähnten Unterschied der mit einander verbundenen lichtbrechenden Medien durch ihr vermittelndes Dazwischentreten verkleinert. Diese Flüssigkeit ist bei der Hornhaut ihre Parenchymflüssigkeit. Sie befindet sich in ihr wie in den Poren eines von elastischen Hüllen umschlossenen Schwammes. Bei dem Drucke auf das Auge wird der flüssige Inhalt desselben an die Hornhaut angedrängt, und diese nach Maassgabe des Druckes ausgedehnt. Sie verändert dabei ihre Form, die Dickedurchmesser nehmen ab, die Flächendimensionen zu; die Faserbündel der Hornhaut rücken einander näher, und die Maschenräume zwischen denselben verkleinern sich. Die in der Hornhaut enthaltene Flüssigkeit muss auch ihre Form, namentlich die Dicke ihrer Schichte, entsprechend ändern. Der veränderten Vertheilung der Parenchymflüssigkeit folgt die Trübung; denn der Unterschied des Lichtbrechungsvermögens wird in dem Maass grösser, als die Differenz der Dicke von Faser- und Flüssigkeitsschicht wächst. Nach der Aufhebung des Druckes stellt die Elasticität der Hornhautfasern die ursprüngliche Form der Hornhaut wieder her. Die Faserbündel rücken auseinander, wobei die Maschenräume ihre natürlichen Dimensionen wieder gewinnen, und sich in entsprechender Weise mit der Parenchymflüssigkeit füllen. Mit der Wiederherstellung der natürlichen Flüssigkeitsver-



theilung tritt der ursprüngliche optische Zustand der Hornhaut wieder ein.

## II. Die Quellung der Hornhaut.

Die Hornhaut des Auges erhält sich im Leben, wiewohl sie sich ihrer anatomischen Lage nach stets im Contacte mit Flüssigkeiten befindet, vermöge der Lebensthätigkeit, namentlich der Blutcirculation, stets auf der nämlichen Durchfeuchtungsstufe, welche ihrer Bestimmung zu einem durchsichtigen Medium entspricht. Ich suchte diesen natürlichen Wassergehalt der Hornhaut zu bestimmen. Ich präparirte von dem Auge eines frisch geschlachteten Thieres die Hornhaut ab, befreite sie mittelst Fliesspapier möglichst von den adhärirenden Flüssigkeiten und wog sie zwischen zwei Uhrschaalen zur Beschränkung des Verdunstens eingeschlossen. Ich liess sie sodann, auf eine Uhrschaale gelegt, im Sandbade austrocknen; nachdem ihr Parenchym-Wasser durch die Wärme entfernt worden war, wog ich ihren festen Rückstand. Der aus der Differenz des Gewichtes der frischen Hornhaut und ihres festen Rückstandes resultirende Werth des Wassergehaltes auf 100 Gewichtstheile frischer Hornhautsubstanz berechnet, schwankte bei mehreren Versuchen zwischen 76 % — 80 %.

Sobald aber das Leben erloschen ist, macht sich die Fähigkeit der Hornhaut, die sie umgebenden wässerigen Flüssigkeiten in ihr Inneres treten zu lassen, und dadurch ihr Volumen bedeutend zu vergrössern, in Folge der Aufhebung des regulirenden Blutstromes geltend, und sie ändert dabei zugleich ihre Cohäsion, ihr specifisches Gewicht, ihre Elasticität und insbesondere ihre Durchsichtigkeit. Auf diese Weise entsteht nach dem Tode die Trübung der Hornhaut, welche als eine gewöhnliche Leichenerscheinung bekannt ist, und eben von der Imbibition der Hornhaut durch das Kammerwasser herrührt.

Legt man eine präparirte Hornhaut in irgend eine wässrige Flüssigkeit, z. B. in Wasser, Kochsalzlösung, Eiweisslösung, oder selbst in den *Humor aqueus*, welchen man aus mehreren Augen gesammelt hat, so treten in kurzer Zeit die erwähnten Erscheinungen der Quellung deutlich hervor. Ich untersuchte die



Quellung der Hornhaut in destillirtem Wasser näher. Zuvörderst lag es mir daran, das Verhältniss der Quellung, welches sich ergibt, wenn man das Gewicht des eingesogenen Wassers mit dem der aufnehmenden Hornhaut vergleicht, kennen zu lernen. Ich suchte dabei nicht bloss die Menge von Wasser, über welche hinaus keine weitere Aufnahme mehr stattfindet, das sogenannte Quellungs-Maximum, zu bestimmen, sondern auch die Bruchtheile jener Menge, welche von der Hornhaut in bestimmten Zeitabschnitten der Quellung aufgenommen werden, anzugeben, um aus den letzteren Bestimmungen die Geschwindigkeit des Eindringens des Wassers zu ermitteln. Da die Quellung immer mit einem chemischen Auszuge der im Wasser löslichen Bestandtheile der Hornhaut verbunden ist, wodurch dieselbe im Verlaufe der Quellung mehr und mehr an ihren festen Bestandtheilen verliert, so suchte ich auch diesen Verlust zu erfahren, indem ich die Flüssigkeit, in welcher die Hornhaut der Quellung ausgesetzt war, abdampfte und den festen Rückstand wog. Die Kenntniss dieses Gewichtsverlustes der Hornhaut ist auch zur genaueren Bestimmung des Quellungsverhältnisses nothwendig, wie von selbst erhellt. Es ergaben sich bei diesen Untersuchungen bezüglich des Quellungs-Maximum und der Geschwindigkeit der Quellung verschiedene Resultate. Ich erkannte als die vorzüglichsten influirenden Umstände folgende: Den öfteren oder aber unterlassenen Wechsel des Wassers, in welchem die Hornhaut quellen soll, die Zeit nach dem Schlachten des Thieres, welche bis zum Beginn der Quellung verflossen war, und die Temperatur der Quellungsflüssigkeit. Je öfter der Wechsel der Quellungsflüssigkeit stattfindet, je mehr die Hornhaut erschlafft ist, und je höher die Temperatur des Quellungswassers, desto ergiebiger und rascher geht die Quellung vor sich. Im Allgemeinen geschieht die Imbibition anfänglich mit grösserer Geschwindigkeit, gegen das Ende hin, bis das Quellungs-Maximum erreicht ist, mit immer geringerem.

Wurde die Hornhaut, welche ihr Quellungs-Maximum erreicht hatte, im Sandbade eingetrocknet und dann von neuem der Quellung unterworfen, so ging dieselbe nur sehr schwach





vor sich und erreichte bei Weitem nicht mehr ihre vorige Höhe.

Ich führe jetzt die einzelnen Ergebnisse an, welche ich aus der Untersuchung von zwei Hornhäuten eines und desselben Thieres gewonnen habe. Die Quellungsflüssigkeit besass eine mittlere Temperatur von  $12^{\circ}$  C., und wurde so oft gewechselt, als ich das einer gewissen Zeit entsprechende Quellungsverhältniss mittelst der Waage bestimmte. Diese Hornhäute kamen zwei Stunden nach dem Schlachten des Thieres zur Untersuchung. Die Quellung hatte nach sechs Tagen ihr Maximum erreicht.

Die Resultate, auf 100 Gramm. frischer Hornhautsubstanz berechnet, sind folgende:

Hornhaut Nr. I.				Hornhaut Nr. II.			
Maximum: 757 ‰.				808 ‰ aufgenommenes Wasser.			
Quellungsgang:							
nach	1 Stunde:	15	„	15	„		
„	2	69	„	72	„		
„	3	158	„	163	„		
„	5	281	„	264	„		
„	48	436	„	333	„		
„	72	576	„	508	„		
„	76	641	„	669	„		
„	120	694	„	731	„		
Verlust fester							
Bestandtheile:		3,268	„	1,22	„		

Als die Hornhäute ihr Quellungs-Maximum erreicht hatten, waren ihre Dickedurchmesser, welche ursprünglich ungefähr 1 Millim. betrugen, auf  $4\frac{1}{2}$  und 5 Millim. gestiegen. Welchen grossen Einfluss auf die Quellung der öftere Wechsel des Wassers habe, zeigt folgender Versuch: Eine frische Hornhaut, welche 0,663 Gramm. wog, wurde in Wasser gelegt. Als sie nach 24 Stunden wieder gewogen wurde, betrug ihr Gewicht 2,73 Gramm. Sie wurde hierauf in die nämliche Flüssigkeit wieder gelegt, und nach 20 Stunden herausgenommen und wiederholt gewogen. Jetzt hatte sie nur ein Gewicht von 2,602



Gramm. Sie hatte also nicht nur kein Wasser mehr aufgenommen, sondern von dem früher aufgenommenen einen Theil an die Quellungsflüssigkeit, welche theils durch Auszug fester Bestandtheile der Hornhaut, theils in Folge der Verdunstung dicklich geworden war, wieder zurückgegeben. Die Hornhaut wurde nun in reines Wasser gelegt. Sie zeigte nach Verlauf von 24 Stunden ein Gewicht von 3,885 Gramm.

### III. Die Trübung der Hornhaut während der Quellung.

Was die Veränderung der Durchsichtigkeit anlangt, welche die Hornhaut bei der Quellung im Wasser erfährt, so nimmt man bald wahr, dass die Durchsichtigkeit sich allmählig vermindert und diese Verminderung mit dem während der Quellung wachsenden Wassergehalte der Hornhaut in einem gesetzlichen Zusammenhange steht. Ich machte es mir zur Aufgabe, diesen Zusammenhang zu bestimmen. — Die Lösung dieser Aufgabe zerfällt der Natur der Sache gemäss in zwei neben einander laufende Reihen von Bestimmungen; die eine Reihe betrifft die der Wassergehaltwerthe, welche die Hornhaut auf verschiedenen Quellungsstufen besitzt; die andere Reihe bilden die Bestimmungen der Grade der Trübung, welche die Hornhaut auf den entsprechenden Quellungsstufen erreicht. Die erste Bestimmungsreihe ist mit der gehörigen Genauigkeit in der im Vorhergehenden angegebenen Weise zu machen. Es handelt sich nun darum, die Methode zu entwickeln, durch welche die zweite Bestimmungsreihe ermittelt werden kann.

Wie die Physik nachweist, erleidet das Licht bei dem Uebergange aus einem Mittel in ein anderes allemal einen Verlust, indem ein Theil des einfallenden Lichtes reflectirt, ein Theil absorbirt und nur ein Theil durchgelassen wird. Es müssen somit schon bei ihrem Durchgang durch eine Hornhaut, welche noch ihre volle Klarheit besitzt, die Lichtstrahlen eine Schwächung erfahren. Die Schwächung muss um so beträchtlicher ausfallen, je mehr die Hornhaut, durch welche die Strahlen hindurchgehen, durch Quellung an ihrer Durchsichtigkeit eingebüsst hat. Es liegt also daran, den Verlust, welchen eine gewisse Lichtmenge beim Durchgange durch die trübe Hornhaut erleidet, zu bestimmen. Von seiner Grösse hängt offenbar der Grad der



Erhellung ab, welche die nämliche Lichtmenge nach ihrem Durchgange durch die trübe Hornhaut auf einer ihrer Strahlung ausgesetzten Fläche bewirkt. Wenn man daher die Helligkeit der Fläche, welche sie in Folge der indirekten Beleuchtung besitzt, mit derjenigen vergleicht, welche sie nach Entfernung des schwächenden Mittels unter übrigens gleichen Umständen zeigt, so erhält man das Maass der Trübung für die untersuchte Hornhaut. Zur Bestimmung der Differenz der Helligkeit, welche verschieden erleuchtete Flächen zeigen, dienen die Photometer oder Helligkeitsmesser, wovon im Laufe der Zeit viele Arten erfunden worden sind. Ich wählte für meine Untersuchung das Photometer von Bunsen in seiner einfachsten Form. Dieses Photometer besteht bekanntlich in einem mit weissem Papier überzogenen Rahmen, welcher sich auf einem 12' langen und etwa  $\frac{1}{2}$ ' breiten Brette, an dessen einem Seitenrande eine 2" hohe Leiste befestigt ist, längs dieser Leiste so verschieben lässt, dass die Ebene des Papieres stets senkrecht zur Leiste und zum Brette steht. In der Mitte des Papieres befindet sich eine durchscheinende Figur, welche mittelst geschmolzenen Stearins erzeugt ist.

Ausserdem hatte ich zwei Flammen nöthig, mit deren Licht der Grad der Transparenz einer Hornhaut geprüft werden konnte. Was die Flammen betrifft, so ist es, wenn man auch nur auf eine annähernd richtige Bestimmung der Trübung einer Hornhaut Anspruch machen will, eine unerlässliche Bedingung, dass sie gleichförmig leuchten. Die Nothwendigkeit dieser Eigenschaft wird bei der später folgenden Beschreibung des Bestimmungs-Versuches selbst klar werden. Die Flammen dürfen also nicht flackern, ein Umstand, welcher die Lösung der Aufgabe wesentlich erschwert. Denn die gewöhnlich zu Gebote stehenden Flammen, wie die verschiedenen Kerzen- und Oellicht-Flammen flackern trotz aller Correctionen, die man anzubringen weiss, immerhin so erheblich, dass sie keine Sicherheit in der Bestimmung der Trübung gewähren. Es wäre durch diesen Umstand die vorgenommene Untersuchung ganz vereitelt worden, wenn nicht die Gasbeleuchtung in dem physiologischen Institute eingeführt worden wäre, welche mir in den Leuchtgasflammen



die Mittel an die Hand gab, die Untersuchung auszuführen. — Die Leuchtgasflammen entsprechen der besprochenen Anforderung vollkommen, so lange sie eine gewisse Höhe (von 15 — 20 Millim.) nicht übersteigen. Sie gewähren zudem den Vortheil, dass man sie in Beziehung auf Grösse und Leuchtkraft einander gleich machen kann, so dass sie in gleicher Entfernung von dem Photometerschirm denselben mit gleicher Stärke erhellen: hiedurch wird die Bestimmung der Trübung sehr vereinfacht. — Ich bedurfte ferner noch zweier Vorrichtungen, welche geeignet waren, die zu untersuchende Hornhaut auf eine zweckmässige und für alle Versuche constante Weise der Flamme entgegen zu halten. Ihre Construction betreffend, so war jede dieser Vorrichtungen aus zwei Brettchen in der Art zusammengesetzt, dass das eine, dünnere, breitere und längere als ein Lichtschirm senkrecht an das andere, horizontal liegende und kleinere, als Fussgestell des Schirms dienende Brettchen gefügt war.

Das Schirmbrettchen hatte in seiner Mitte eine kreisrunde Oeffnung von 1 Centim. Durchmesser. Auf dieser war ein Uhr-Gläschen von entsprechender Krümmung befestigt. Bei der Construction der Vorrichtung wurde darauf gesehen, dass der Mittelpunkt dieser Oeffnung bei der senkrechten Aufstellung des Schirmes auf dem langen Brette des Photometers mit dem Mittelpunkte des ebendasselbst aufgestellten Rahmens gleiche vertikale Entfernung vom Brette hatte. An die constante Krümmung dieses Uhrgläschens konnte die Hornhaut zweckmässig angelegt und nach Bedarf an den Umfang der Oeffnung mit Stecknadeln befestigt werden.

Es versteht sich von selbst, dass die photometrischen Versuche in einem Raume, von welchem alles fremde Licht abgehalten war, angestellt wurden.

Ich theile nun die Art und Weise mit, auf welche mittelst der beschriebenen Apparate die einzelnen Bestimmungen der Trübung der Hornhaut gemacht wurden.

Das Bunsen'sche Photometer wurde in dem verfinsterten Raume, wo die Untersuchung stattfand, sachgemäss angebracht. Der Rahmen wurde auf das lange Brett, welches durch Quer-



striche in 12 Fusse eingetheilt war, so gestellt, dass die Papier-Ebene mit der durch den sechsten Theilstrich gehenden Vertical-Ebene zusammenfiel. Hierauf wurden die hölzernen Schirme auf dem Brette so aufgestellt, dass der eine mit der Vertical-Ebene des vierten Theilstriches zusammentraf, der andere aber in der Verticalebene des achten Theilstriches sich befand. Sofort wurde hinter jedem Schirm auf das horizontale Fussbrettchen desselben ein gleicher, durch einen Cautschukschlauch beweglicher, Bunsen'scher Gasbrenner ohne Röhre aufgesetzt. Dieser Brenner hatte eine solche Höhe, dass die Flamme, welche an seiner Oeffnung hervorkam, sich gerade hinter der Oeffnung des Schirmes befand und ihre Strahlen senkrecht durch diese Oeffnung auf die Papierebene des Photometer fallen konnten. Dann wurden die Flammen einander gleich gemacht, indem jeder eine Höhe von 17 Millim. gegeben wurde; die Papierfläche war dann gleichmässig erleuchtet und die durchscheinende Figur nicht sichtbar. Es wurde nun die Hornhaut aus dem Wasser, in welchem sie eine bestimmte Zeit gelegen hatte, herausgenommen, von dem an ihrer Oberfläche adhären den Wasser mittelst Fliesspapier leicht befreit und mit möglichster Vermeidung von Compression und Faltung an das Uhrgläschen des einen Schirms angeschmiegt. Bei schwacher Quellung hielt die Hornhaut schon von selbst an dem Gläschen fest; wenn sie aber schon stärker angequollen war, musste sie mittelst Stecknadeln an den Umfang der Oeffnung befestigt werden. Der andere Schirm blieb frei und war als Blendung zur Herstellung der Gleichheit der Erleuchtungsumstände vor den Flammen aufgestellt. Nach dem Anlegen der Hornhaut begann die eigentliche Bestimmung der Trübung. Der Beobachter, welcher auf der Seite der geschwächten Flamme stand, bemerkte dann, dass die Einheit der Helligkeit an der ihm zugekehrten Fläche des Papierschirms aufgehoben war, und zwar die durchscheinende Figur heller erschien, als ihre Umgebung.

Um die Differenz der Helligkeit zu bestimmen, ward die geschwächte Flamme mit dem ihr zugehörigen Schirm soweit gegen die Papierfläche hingerückt, bis Eine Helligkeit wieder hergestellt und das Stearinbild völlig verschwunden war. Diese



Methode ist wegen der ungleichen Absorptionskraft von stearinfreiem und mit Stearin getränktem Papier der gewöhnlichen vorzuziehen, bei welcher die Lichter ihre gegenseitigen Entfernungen beibehalten und der Schirm bis zum Verschwinden seiner transparenten Figur zwischen den ungleich stark leuchtenden Flammen verschoben wird. Man misst nach der Herstellung der gleichen Helligkeit der durchscheinenden Figur und ihrer Umgebung den Abstand der geschwächten Flamme von der Mitte des Papierschirms, und berechnet daraus auf die nachher anzugebende Art den Trübungs- oder Schwächungs-Coëfficienten, d. h. den Bruchtheil der ungeschwächten Lichtmenge welcher, durch die trübe Hornhaut hindurch gelangend, die indirekte Erleuchtung des Papierschirms bewirkt. Ist dieser Coëfficient bekannt, so ist auch der Verlust, welchen das Licht beim Durchgang durch die trübe Hornhaut erleidet, und somit der Grad der Trübung bestimmt.

Nachdem auf diese Weise die Trübung der Hornhaut gefunden ist, wird dieselbe von dem Schirm abgenommen und, zwischen Uherschalen eingeschlossen, gewogen; hierauf wird sie der Quellung in erneuertem destillirten Wasser wiederum ausgesetzt, um sie später auf einer höhern Quellungsstufe bezüglich ihrer Trübung neuerdings zu untersuchen. Die Flüssigkeit, in welcher die Hornhaut vorher gelegen war, wird im Sandbade abgedampft, um die festen Bestandtheile, welche die Hornhaut in ihr verloren hatte, zu bestimmen und sie bei der Feststellung des Wassergehaltes, welchen die Hornhaut auf der geprüften Quellungs-Stufe besessen hatte, in Rechnung bringen zu können.

Die Berechnung des Schwächungs-Coëfficienten stützt sich auf den nachfolgenden Grundsatz, welchen die Physik für den Gebrauch des Bunsen'schen Photometer aufstellt.

Die Leuchtkräfte zweier Flammen verhalten sich zu einander wie die Quadrate ihrer gemessenen Abstände vom Photometer-Schirm, bei welchen weder auf der einen noch andern Seite des Schirmes von der Stearinfigur etwas zu erkennen ist. Bezeichnet man die Leuchtkräfte mit  $J, J'$ , die gemessenen Abstände mit  $R, R'$ , so bildet der Satz die Formel:



$$J : J' = R^2 : R'^2.$$

Bei unseren Versuchen sind die Flammen ursprünglich einander gleich. Der photometrisch zu bestimmende Unterschied ergibt sich erst, wenn die Leuchtkraft der einen Flamme durch Zwischenstellung einer Hornhaut, deren Durchstrahlung mit einem Lichtverluste verbunden ist, in ihrer erleuchtenden Wirkung auf den Photometerschirm geschwächt worden war, während die andere Flamme direkt, ohne ein solches Mittel durchstrahlen zu müssen, den Schirm erleuchten kann. Es ist also die auf diese Weise verminderte Leuchtkraft der einen Flamme, welche wir mit der unverminderten, direkt wirkenden Leuchtkraft der andern Flamme vergleichen wollen. Diese geschwächte Leuchtkraft ist aber Eines mit dem, was wir mit dem Worte „Trübungs-Coëfficient“ bezeichnen.

Wenn wir ihn nun mit E bezeichnen und die ungeschwächte Leuchtkraft der andern Flamme zur Einheit nehmen, so lautet unsere Formel:

$$E : 1 = R^2 : R'^2,$$

woraus sich die Gleichung bilden lässt:

$$E = \frac{R^2}{R'^2}$$

d. h. wir erhalten die Grösse des Trübungs-Coëfficienten, wenn wir das Quadrat des Abstandes, welchen die geschwächte Flamme nach Herstellung gleicher Helligkeit von der Mitte des Photometerschirmes hat, mit dem Quadrate der constanten Entfernung der anderen Flamme von der Mitte des Schirmes dividiren.

Es geht nun hervor, warum ein gleichförmiges Leuchten der Flammen zur richtigen Bestimmung nothwendig ist. Die Flammen dürfen nicht nur nicht flackern, sondern auch keine successiven Verstärkungen oder Verminderungen erfahren. Das Flackern verursacht beständige Schwankungen der auszugleichenden Helligkeiten, und macht darum die Bestimmung unmöglich. Wenn aber während des Versuches eine stätige Veränderung einer Flamme eintreten würde, so müsste diess zu einer unrichtigen Bestimmung führen. Denn der Trübungscoëfficient bezeichnet die nach der Anlegung der Hornhaut hervortretende Differenz der Flammenwirkungen, welche nach Entfernung der



Hornhaut augenblicklich verschwinden muss, wenn sie als Trübungseffekt der Hornhaut gelten soll. Diess findet nur statt, wenn die Flammen absolut gleich bleiben. Die Flammen müssen sich nun vorzüglich während der Bestimmung der erwähnten Differenz gleich bleiben; wird die geschwächte Flamme nach dieser Bestimmung an ihre ursprüngliche Stelle zurückgebracht und die schwächende Hornhaut entfernt, so muss die Gleichheit der Erleuchtung des Schirmes sich wieder herstellen, wenn die bestimmte Differenz als eine reine Folge der zwischengestellten Hornhaut angesehen werden soll. Diese Probe besteht die Bestimmung nur bei constanten Flammen. Wie bereits angedeutet, erlitt die Richtigkeit der Bestimmung der Trübung von Seite der benützten Leuchtgasflammen keine Störung.

Es treten dagegen andere Umstände ein, welche die Richtigkeit der Methode beeinträchtigen. Es liegt schon eine nicht unerhebliche Fehlerquelle in der Beurtheilung der gleichen Helligkeit durch das blosse Augenmaass, welches nicht so empfindlich ist, um die Stelle auf dem langen Brette des Photometer genau bestimmen zu können, bis zu welcher die geschwächte Flamme gerückt werden muss, auf dass eine objektive Gleichheit der Erleuchtung der Papierfläche hergestellt werde.

Eine noch bedeutendere Fehlerquelle trägt die Art und Weise in sich, in welcher die Hornhaut der Strahlung der Flamme ausgesetzt werden muss. Ist nämlich die Hornhaut noch wenig angequollen, so ist sie nicht ohne irgend eine Faltung an das Uhrgläschen anzubringen. Wenn sie aber durch die Quellung bereits ziemlich voluminös geworden ist, so lässt sie sich nicht gut an das Uhrgläschen befestigen, ohne dass die dickeren Ränder ein ungleiches Durchstrahlen des Lichtes bedingen. Die Folgen hievon äussern sich an der ungleichmässigen Beleuchtung des Photometerschirmes. Desshalb wurden in solchen Fällen, um die Fehler zu eliminiren, mehrere Einstellungen der geschwächten Flamme vorgenommen, so zwar, dass man untersuchte, bei welcher Stellung die Mitte, der obere, der untere Rand, die rechte, die linke Hälfte des Bildes verschwand. Schliesslich wurde das Mittel aus allen Bestimmungen genommen.

Ich habe nun die Methode, den Trübungsgrad einer Horn-



haut zu bestimmen, umständlich erörtert. Diese Bestimmungen sind in der Absicht gemacht worden, um das Gesetz zu ermitteln, nach welchem die Zunahme der Trübung erfolgt. Es ist mir nicht gelungen, dieses Gesetz aus den gewonnenen Resultaten mit Bestimmtheit abzuleiten. Die Schuld davon trägt einerseits die Unsicherheit der Methode, andererseits vielleicht auch der Umstand, dass die Fäulniss an der Trübung einen bald mehr, bald weniger erheblichen Antheil gehabt haben mochte. Indess glaube ich, auf die Ergebnisse der Untersuchung hin wenigstens als wahrscheinlich annehmen zu dürfen, dass die Trübung der Hornhaut in einer arithmetischen Progression mit ihrer Wasser-Aufnahme wachse.

Ich stelle vorerst in nachfolgender Tabelle die Resultate zusammen, welche sich bei zwei der Untersuchung unterworfenen Hornhäuten von einem und demselben Thiere ergaben \*). Es wurden die Werthe der Trübung und des procentischen Wassergehaltes von sechs verschiedenen Quellungsstufen bestimmt. Ich erneuerte nach jeder einzelnen Quellungsstufe das Quellungs-Wasser; um den Wassergehalt genau berechnen zu können, dampfte ich die verbrauchten Quellungsflüssigkeiten ab, und bestimmte ihren festen Rückstand; zu demselben Zwecke wurde nach vollendeter Quellung die Hornhaut eingetrocknet und gewogen.

#### I. Hornhaut:

Versuchs- Nummer.	Quellungs- Zeiten.	Wasser- Gehalt %.	R der Formel.	Coëfficient der Trübung.
1	Frisch	80	21"	0,76
2	I. 40 Minuten	81,9	17,5"	0,53
3	II. 1½ Stunden	87,5	16,65"	0,48
4	III. 3 „	92,5	13,65"	0,32
5	IV. 5¾ „	95,1	8,75"	0,13
6	V. 7¼ „	96,4	7"	0,08
7	VI. 22¾ „	97,9	4,875"	0,04

\*) Ich führe nur die letzten Untersuchungen an, bei welchen durch eine mehrere Monate hindurch fortgesetzte Reihe von Versuchen mit verschiedenen Flammen und Apparaten die Beobachtungsfehler in die engsten Grenzen eingeschlossen waren.



## II. Hornhaut:

Versuchs- Nummer.	Quellungs- Zeiten.	Wasser- Gehalt $\frac{0}{100}$ .	R der Formel	Coëfficient der Trübung.
8	Frisch	80,32	21"	0,76
9	I. 40 Minuten	82,9	18,75"	0,60
10	II. $1\frac{1}{2}$ Stunden	88,2	17,375"	0,52
11	III. 3 „	93	11,25"	0,25
12	IV. $5\frac{3}{4}$ „	95,3	8,75"	0,13
13	V. $7\frac{1}{4}$ „	96,5	7,75"	0,10
14	VI. $22\frac{3}{4}$ „	97,86	5"	0,04.

Ich habe eine weitere Reihe von Versuchen angestellt, bei welchen die Hornhäute nach vorhergegangener Bestimmung ihres ursprünglichen Gewichtes der Quellung ausgesetzt und später auf verschiedenen Quellungsstufen betreffs ihrer Trübung und der Wasseraufnahme geprüft wurden. Bei diesen Versuchen aber wurde der Wechsel des Quellungswassers unterlassen. Hierbei machte ich die Beobachtung, dass nach einer Quellungszeit von 6 — 8 Stunden die Membrana Descemeti sich von der hinteren Fläche der Hornhaut ablöste, beträchtlich anquoll und Wulstungen bildete, welche das photometrische Resultat bedeutend modificirten. Diese Erscheinung fehlte bei jenen obigen Versuchen, bei welchen das Quellungswasser öfters erneuert worden war, und ist darum der durch das unreine Wasser begünstigten Fäulniss zuzuschreiben. Ich bestimmte den Einfluss, welchen die Membrana Descemeti in solchem Zustande auf den Werth der Trübung ausübte, indem ich denselben vor und nach sorgfältiger Hinwegnahme der Descemet'schen Haut bestimmte. Hierbei ergab eine Hornhaut von 90 $\frac{0}{100}$  Wasser, welche mit der gewulsteten Descemet'schen Haut einen Coëfficienten von 0,14 zeigte, nach Entfernung der letzteren den Coëfficienten 0,19. Eine andere Hornhaut von 91 $\frac{0}{100}$  Wasser hatte mit der lockeren Membrana Descemeti eine Trübung von 0,19, ohne dieselbe aber den Coëfficienten 0,26. — Das Gewicht einer gequollenen, abgenommenen Membrana Descemeti betrug 0,295 Gramm.

Bei den letzten Versuchen beobachtete ich ferner, dass sich auch die Conjunctiva corneae nach 24stündiger Quellung löslöste, in ähnlicher Weise anquoll und die Trübung der Hornhaut vermehrende Wulstungen bildete. Ich bestimmte auch



hier auf dieselbe Weise den speciellen Einfluss dieser Membran auf die Trübung; dieser Einfluss äusserte sich in folgender Weise: Mit der gewulsteten Conjunctiva betrug E 0,17; nach der Entfernung derselben aber 0,27.

Ich theile hier von jener an 6 Hornhäuten angestellten Versuchsreihe, bei welcher der Wechsel des Quellungswassers unterlassen wurde, die nach einer gleichen Quellungszeit gefundenen Mittelwerthe des Wassergehaltes und des Trübungs-Coëfficienten mit:

Quellungszeiten	Wassergehalt %	Trübungscoëfficient
I. 2 Stunden	87	0,45
II. 4 „	89,3	0,30
III. 5 „	90	0,22
IV. 6½ „	90,4	0,20
V. 23 „	92,8	0,17
VI. 27 „	93,9	0,14

Untersuchen wir nun, in wie ferne die angeführten Resultate die Vermuthung rechtfertigen, dass die Trübungen der Hornhaut mit der procentischen Zunahme des Wassergehaltes proportional wachsen. Wir halten uns hiebei an die in der ersten Tabelle aufgeführten Resultate, weil diese bezüglich ihrer Wassergehaltwerthe genauer bestimmt und hinsichts der Trübungs-Werthe nicht von Seite der Membrana Descemeti in der besagten Weise gestört worden sind.

Es liegt in der Natur der Begriffe, dass die Lichtschwächungs-Coëfficienten im umgekehrten Verhältnisse zu den Trübungs-Graden stehen. Wir müssen sohin in den beiden Bestimmungs-Reihen zwei correspondirende arithmetische Progressionen erhalten, wovon die eine zunehmender, die andere aber abnehmender Art ist.

Die zunehmende Progression der Wassergehaltwerthe beginnt mit dem der frischen Hornhaut: 80% und endet mit dem auf der zuletzt untersuchten Quellungsstufe gefundenen: 98%. Die procentische Zunahme während der ganzen Quellung beträgt also 18, welche Zahl mit dem Anfangsgliede die Anzahl der Glieder der Reihe bestimmt, deren Differenz 1% ist. Die correspondirende abnehmende Progression der Lichtschwächungswerthe eröffnet 0,76, der Werth der frischen Hornhaut,



und schliesst 0,04, der Werth auf der zuletzt geprüften Quellungsstufe. Da die Anzahl der Glieder 19 sein muss, so ergibt sich als die Differenz dieser Reihe:

$$\frac{0,76 - 0,04}{19 - 1} = 0,04.$$

Wenn wir nach dem unterstellten Gesetze die Zwischen-Glieder der Reihen einsetzen, so erhalten wir:

Procent.	Trübungscoefficient		Versuchs-
Wassergehalt	berechnet	beobachtet	Nummer
80	0,76	0,76	(1)
81	0,72		
82	0,68	0,53	(2)
83	0,64	0,60	(9)
84	0,60		
85	0,56		
86	0,52		
87	0,48	0,48	(3)
88	0,44	0,52	(10)
89	0,40		
90	0,36		
91	0,32		
92	0,28	0,32	(4)
93	0,24	0,25	(11)
94	0,20		
95	0,16	0,13	(5)
		0,13	(12)
96	0,12	0,08	(6)
97	0,08	0,10	(13)
98	0,04	0,04	(7,14)

Vergleichen wir nun diese proportionalen Werthe mit den wirklich gefundenen Resultaten, so ist die approximative Uebereinstimmung nicht zu verkennen; die Abweichungen, welche sich ergeben haben, liegen mit grosser Wahrscheinlichkeit noch innerhalb der Fehlergränzen. Ich mache darauf aufmerksam, dass bei den in der zweiten Tabelle angeführten Versuchen die gefundenen Trübungswerthe sämmtlich unter die proportionalen Werthe fallen; es ist diess wohl der Begünstigung der Fäulniss zuzurechnen, welche durch Unterlassung der Erneuerung des Quellungswassers stattgefunden hatte.