PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND XLII.

*I. Ueber die Durchlässigkeit des Wassers
für Licht von verschiedener Wellenlänge;
von G. Hüfner und E. Albrecht.*

Soviel uns bekannt, sind ausser einigen Messungen von F. Boas¹⁾ exacte systematische Versuche über die vorstehende Frage bisher noch niemals durchgeführt worden. Zwar besitzen wir schon aus früherer Zeit Angaben über den Intensitätsverlust, den der sogenannte chemisch wirkende Antheil des gewöhnlichen Lichtes beim Durchgange durch reines Wasser erleidet. Wir erinnern in dieser Beziehung an einige Ergebnisse aus den photochemischen Untersuchungen von Bunsen und Roscoe²⁾, ferner an die Resultate ähnlicher Messungen, die W. Hankel³⁾ ausführte. Dagegen beziehen sich die von H. Wild⁴⁾ mit seinem vortrefflichen Photometer gefundenen Zahlen lediglich auf die für das Auge direct sichtbaren Strahlen in ihrer Gesammtheit, sind also bloss Mittelwerthe, die über die Durchlässigkeit für die einzelnen farbigen Strahlen leider nichts aussagen; während endlich Glan's⁵⁾ mit demselben Apparate ausgeführte Messungen nur für durch rothes Glas filtrirte Lichtstrahlen Geltung haben.

1) F. Boas, Beiträge zur Erkenntniss der Farbe des Wassers. Inauguraldiss. Kiel 1881. Boas arbeitete mit rothem, gelbem und blauem Lichte. Siehe hierüber die Bemerkungen weiter unten, p. 12.

2) Bunsen u. Roscoe, Pogg. Ann. 101. p. 245. 1857.

3) W. Hankel, Abhandl. der math.-phys. Cl. der Kgl. Sächs. Ges. Wiss. 6. p. 84. 1864.

4) H. Wild, Pogg. Ann. 99. p. 272. 1856; ferner 134. p. 583. 1868.

5) Glan, Pogg. Ann. 141. p. 66. 1870.

Nicht blos die Wichtigkeit, welche die Entscheidung unserer Frage für die Lösung jenes alten Problems besitzt, das uns in der Eigenfarbe der natürlichen Gewässer immer von Neuem entgegentritt, mehr noch ihr grosses physiologisches Interesse, die Bedeutung, die ihre Beantwortung namentlich für die Beurtheilung der biologischen Resultate der Tiefseeforschungen gewinnen muss, hat uns veranlasst, die Durchlässigkeit des Wassers für eine grössere Anzahl verschiedener Spectralfarben zu untersuchen und womöglich die entsprechenden Extinctionscoëfficienten genau festzustellen.

Allgemeiner Versuchsplan.

Die Methode unserer Untersuchung sollte im wesentlichen dieselbe sein, wie bei der quantitativen Spectralanalyse. Es kam also darauf an, unmittelbar über oder unter dem Spectrum eines direct von einer Lichtquelle zum Spectrophotometer gelangenden Lichtstrahles das Spectrum eines zweiten, ursprünglich gleich intensiven Strahles zu entwerfen, welcher aber durch eine längere Schicht reinen Wassers gegangen ist, und sodann die Intensitäten einer Reihe gleichnamiger Regionen beider Spectren miteinander messend zu vergleichen.

Zu den bezüglichen Messungen konnte somit das auf die Anwendung polarisirten Lichtes gegründete Spectrophotometer dienen, das der Eine von uns vor einiger Zeit beschrieben hat.¹⁾ In Betreff der speciellen Einrichtung des Apparates und seines Gebrauches muss auf jene Beschreibung verwiesen werden. Hier sei nur einiges Wenige davon wiederholt, weil es zum rascheren Verständniss unserer Versuchsordnung nothwendig ist.

Die Trennung des Spectrums in zwei durch eine zarte Horizontallinie von einander getrennte Hälften ist bei unserem Apparate durch einen mit zwei planparallelen Flächenpaaren versehenen Flintglaskörper bewirkt, dessen eine scharfe Kante, in welcher zwei solcher Flächen unter bestimmtem spitzen Winkel zusammenstossen, unmittelbar vor dem Collimatorspalte und zwar so nahe an demselben gelegen ist, dass

1) G. Hüfner, Zeitschr. f. phys. Chem. 3. p. 562. 1889.

man beide praktisch als in die gleiche Ebene fallend betrachten kann. Durch diesen Körper wird zugleich die gegenseitige Lage zweier paralleler Lichtbündel, die auf ihn fallen und durch ihn hindurchgehen, umgekehrt. Die halb-schematische Zeichnung Fig. 1, in welcher die einzelnen Theile in halber Grösse und in der Anordnung wiedergegeben sind, welche gerade für den vorliegenden Zweck als die beste erfunden wurde, gibt davon eine genügende Vorstellung. Darin ist m das Collimatorrohr, f der fragliche Flintglaskörper. Bei g befindet sich die Ebene des Spaltes, bei h die halbirende Horizontalkante des Körpers; r und r' sind die beiden Lichtbündel, die in der Richtung der Pfeile zum Photometer kommen, und n ist ein vor der metallenen Fassung des Glaskörpers f angebrachtes Nicol'sches Prisma, durch welches der Strahl r vollständig polarisirt wird. In den Gang des anderen Strahles, r' , wird das diaphane Medium eingeschaltet, dessen Lichtschwächungsvermögen untersucht werden soll.

Fig. 1.

Das zu prüfende Wasser füllt man am besten in messingene Röhren ein, die innen sorgfältig mit scharfem Sande gereinigt, alsdann aber zur Vermeidung des Glanzes mit einer Reihe von gleichfalls messingenen, durch Salpetersäure schwarzgebeizten Blendungen versehen sind. Die Glasplatten, die zum Verschlusse der Röhre dienen, müssen, damit die Brechungsverhältnisse derselben die gleichen sind, aus der nämlichen Tafel geschnitten sein.

Um aus der Messung denjenigen Lichtverlust zu eliminiren, der durch die mehrmaligen Reflexionen beim Uebergange des Lichtes aus dem einen in ein anderes Mittel bedingt wird, kann man gleichzeitig zwei verschieden lange

Wassersäulen, z. B. eine 2,0 und eine 0,2 m lange, anwenden, deren eine, die kürzere, in den Gang des Strahles r , deren andere in denjenigen von r' zu liegen kommt. Die im Photometer beobachtete Helligkeitsdifferenz wird dann nur von der Länge einer Wassersäule erzeugt sein, um welche das eine Rohr kürzer ist als das andere.

Sollen solche Versuche unter Anwendung künstlichen Lichtes, z. B. von Petroleumlicht, ausgeführt werden, so sind hierzu wegen der geringen Flammenhöhe zwei besondere Lichtquellen nöthig, und es müssen dann die beiden Wassersäulen senkrecht gegeneinander gerichtet, und das aus der einen austretende Licht durch ein Vergleichsprisma in das Photometer geleitet werden. Dagegen ist es nicht nöthig, die Helligkeit beider Spectra schon vor Einlegung der Röhren gleich gross zu machen; wenn nur beide Röhren zugleich erst leer und sodann gefüllt vor den Apparat gebracht werden und in beiden Fällen gemessen wird, um wieviel dunkler das Spectrum des Strahles ist, der das lange Rohr durchlaufen hat, als das Spectrum desjenigen, der durch das kurze gegangen ist. Die Entfernung der beiden Lichtquellen vom Photometer wird dabei am besten die gleiche sein.

Wir haben in der That im Laufe des letzten Winters eine Reihe derartiger Versuche erst mit Petroleumlicht, später mit dem ungleich helleren Auer'schen Gaslichte angestellt, aber niemals ausreichend sichere Resultate erhalten. Wohl lehrten diese Versuche bereits übereinstimmend, dass die Lichtabsorption durch das Wasser auf der minder brechbaren Seite des Spectrums am grössten ist, und dass sie gegen das brechbarere Ende hin verhältnissmässig rasch abnimmt; allein infolge der Enge der Röhren, die ihrerseits durch die geringe Höhe und Breite des gleichmässig leuchtenden Flammentheiles bestimmt war, ging erstaunlich viel Licht verloren, und so war namentlich die genaue Photometrie der blauen, selbst schon der blaugrünen Strahlen des Spectrums — auch bei 0,5 mm Breite des Collimatorspaltes — äusserst schwierig, ja beinahe schon unmöglich gemacht.

Es blieb uns, sollte das Spectrophotometer mit mehr Glück benutzt werden, nichts anderes übrig, als auf künstliche Lichtquellen ein für alle Mal zu verzichten und die

Ausführung der Versuche lieber auf dauernd sonnenhelle, womöglich wolkenlose, Tage zu verschieben. In dieser Beziehung bot der schöne September dieses Jahres die beste Gelegenheit.

Endgültige Versuchsanordnung.

Die Anwendung des Sonnenlichtes gestattete uns folgende endgültige Versuchsanordnung.

Auf den vor dem Fenster stehenden Heliostaten folgt zunächst eine mattgeschliffene Glasplatte, mit welcher die Oeffnung im Fensterladen des Dunkelzimmers geschlossen ist, und auf diese eine grosse Collectivlinse von 23 cm Brennweite und 10,5 cm Oeffnung in solcher Entfernung von der Platte, dass die letztere genau in der Focalebene der ersteren liegt. Hierauf kommt, in der Richtung des Mittelstrahles gelegen, die die Wassersäule einschliessende Messingröhre und endlich das Photometer.

Die Einschaltung der mattgeschliffenen Platte hat den Zweck, das durch die Spiegelung am Heliostaten theilweise polarisirte Licht wiederum zu depolarisiren; denn die Construction unseres Photometers setzt ja, wie die Beschreibung¹⁾ lehrt, voraus, dass die am Apparate ankommenden Strahlen nur aus gewöhnlichem Lichte bestehen. Um nun das so depolarisirte, dafür aber auch sehr zerstreute Licht wieder zu parallelstrahligen Bündeln zu vereinigen, dazu dient die grosse Collectivlinse.

Das an drei Punkten seiner Länge unterstützte Messingrohr *l* (vgl. Fig. 1), in dem sich das Wasser befindet, hat 2 m Länge und 28 mm lichte Weite. Es ist, wie oben erwähnt, mit Blendungen (siehe Fig. 1) und zwar mit 20 derselben von je 2 mm Breite versehen, sodass der Durchmesser des austretenden Strahlenbündels auf 24 mm vermindert ist. Das Rohr besteht aber nicht aus einem einzigen Stücke allein, sondern ist absichtlich aus zwei wasserdicht aneinandergeschraubten Theilen zusammengesetzt, einem längeren von 180 und einem kürzeren von nur 20 cm Länge. Zwischen diese beiden ungleichen Röhrenstücke lässt sich, so

1) G. Hüfner, l. c. p. 565.

oft es nöthig, eine gläserne Verschlussplatte einpressen, welche wiederum aus derselben Tafel geschnitten ist, wie diejenigen (p), die sich vor den äusseren Rohröffnungen befinden und daselbst durch Schraubenmuttern (u) mit zwischengelegter Lederscheibe wasserdicht aufgepresst sind. Auf diese Weise ist es möglich gemacht, das Rohr entweder seiner ganzen Länge nach, also auf 2 m Länge, oder nur auf eine Strecke von 20 cm mit Wasser zu füllen. Ist nur die kürzere Abtheilung gefüllt, so unterbleibt der Glasverschluss des längeren Stückes. Das Rohr bewahrt, mag es die lange oder die kurze Wassersäule enthalten, immer die gleiche, unverrückbare Lage, und die durchgehenden Strahlen treffen immer genau auf dieselbe Stelle des Glaskörpers f des Photometers. Oberhalb des Messingrohres gelangt ein anderes Bündel, r , von der grossen Collectivlinse ausgehender Parallelstrahlen direct zum Photometer, und zwar zum Nicol n .

Es mag noch bemerkt werden, dass zum Zwecke der Abhaltung jeglichen störenden Lichtes vom Auge des Beobachters der Oculartheil des Photometers von einem aus dunkler Pappe gefertigten Gehäuse umstellt und dass die jedesmalige Ablesung des Einstellungswinkels am Theilkreise durch Hervorziehung eines Wachslightchens ermöglicht ist, das während der Beobachtung selbst hinter dem Gehäuse versteckt bleibt.

Die Aufgabe ist nun, unmittelbar nacheinander zwei Versuchsreihen durchzuführen. In der ersten vergleicht man die Intensität der gleichnamigen Spectralfarben der Strahlen r und r' , nachdem r' die kurze, in der zweiten, nachdem er die lange Wassersäule durchlaufen hat. In beiden Fällen wird sich das Spectrum von r' gegenüber demjenigen von r sehr wesentlich verdunkelt zeigen, und zwar wird diese Verdunkelung hauptsächlich durch die Einschaltung des Rohres als solches veranlasst sein; denn selbst das ganz leere Rohr übt in dieser Hinsicht schon einen sehr beträchtlichen Einfluss aus. Da indessen die Helligkeitsdifferenz durch Einschaltung der langen Wassersäule doch noch merklich erhöht wird, so kann man aus diesem Plus, dessen Werth in den einzelnen Spectralregionen durch Messung sich sicher

ermitteln lässt, den Extinctionscoefficienten des Wassers für die verschiedenen Wellenlängen sehr einfach berechnen.

Sei nämlich die nach Durchstrahlung einer 20 cm langen Wassersäule noch übrig bleibende Lichtstärke irgend eines Farbtones J und die Intensität desselben Farbtones nach Durchstrahlung einer 10 Mal längeren Wassersäule J' , so gilt zunächst die Proportion:

$$J:J' = 100:x,$$

d. h. man erfährt aus Gleichung:

$$(1) \quad x = 100 \cdot \frac{J'}{J},$$

wieviel Procente jener Strahlengattung von einer 180 cm dicken Wasserschicht hindurchgelassen werden.

Vor der Ausführung der Versuche gaben wir dem Collimatorspalte ein für alle Mal eine Breite von nur 0,05 mm, während der Ocularspalt so weit geöffnet ward, dass er dem Auge in der deutlichen Sehweite etwa 1,5 mm breit erschien. In der Gegend zwischen den Fraunhofer'schen Linien B und C entsprach seine Breite einem Intervall von 23 μ , zwischen C und D einem solchen von 18 μ , zwischen D und E von 11 μ , zwischen E und F von 8 μ und zwischen F und G von 6 μ .

Da sich ferner zeigte, dass die Helligkeitsdifferenz der beiden aneinandergrenzenden Spectren schon nach Einschaltung der kurzen Wassersäule eine so grosse war, dass es einer Drehung des analysirenden Nicols bis über 70° bedurfte — dieser Winkel heisse φ —, ehe beide Hälften eines durch die Ocularschieber ausgeschnittenen Streifens gleich hell erschienen, und dass dann bei Einschaltung der langen Wassersäule der betreffende Drehungswinkel — er sei mit φ' bezeichnet — selbst für die stärkst absorbirten Strahlen infolge der Gültigkeit des Cosinusquadratgesetzes nur um wenige Grade grösser wurde, so haben wir in unseren entscheidenden Versuchsreihen die Helligkeitsdifferenz von r und r' sogleich von vornherein durch ein in den Gang von r eingeschaltetes und vor dem Nicol n befestigtes Rauchglas vermindert. Dadurch wuchsen die Unterschiede der correspondirenden Drehungswinkel, $\varphi' - \varphi$, und eine um einen bestimmten Bruchtheil eines Grades fehlerhafte Bestimmung

eines oder beider Winkel musste natürlich jetzt bei grösserer Winkeldifferenz auf die Feststellung des Verhältnisses J'/J einen minder schädlichen Einfluss ausüben, als wenn jene Winkeldifferenz selbst nur eine kleine war.

Zugleich war aber ein solches Rauchglas auch ein nützliches Vexirmittel. Da nämlich dasselbe durchaus kein völlig gleichmässiges, sondern vielmehr ein schwach electives Extinctionsvermögen besass, so ergab sich bei seiner Anwendung trotz gleicher Reihenfolge der nacheinander untersuchten Spectralregionen eine andere Folge von Winkelgrössen, als früher, wo es nicht angewandt worden. Erst nach Berechnung der J - und J' -Werthe aus den beobachteten Grössen von φ und φ' und bei Aufstellung des Quotienten J'/J konnte sich zeigen, ob der Gang der Lichtabsorption, die das Wasser auf die verschiedenen Farben ausübt, gegen das Ende solcher Versuchsreihen der gleiche geblieben war, wie am Anfange derselben. So diente also die Einschiebung des Rauchglases als ein heilsames Gegenmittel gegen etwaige Selbsttäuschung. Denn gar zu leicht erliegt man bei derartigen, auf die Empfindlichkeit des eigenen Auges gegründeten Messungen, wenn auch unbewusst, dem Drange, während der Beobachtung selbst ein ganz bestimmtes, mit früheren übereinstimmendes, wenn auch vielleicht dem wirklichen Thatbestande widersprechendes Resultat zu erzwingen, nur weil man es von vornherein um der früheren willen als richtig voraussetzte.

Auf die Herstellung des zu solchen Versuchen zu benutzenden *destillirten Wassers* muss nach den übereinstimmenden Erfahrungen vieler Beobachter die allergrösste Sorgfalt verwendet werden. Wir haben uns dasselbe unmittelbar vor jedem Paare zusammengehöriger Versuchsreihen frisch bereitet. Ein nochmaliges Filtriren desselben haben wir aber sehr bald unterlassen; denn selbst wenn wir das feinste schwedische Filtrirpapier dazu verwandt hatten, erwies sich das Wasser nach dieser Operation meist weniger transparent, als vor derselben, besonders für die brechbareren Strahlen.¹⁾

1) Vergleiche über derartige Erfahrungen, die bereits von mehreren Beobachtern gemacht sind, die Bemerkungen von M. J. L. Soret in den

Wir stellten unsere Versuche in zehn verschiedenen Spectralregionen an: 1) im Roth, zwischen den Fraunhofer'schen Linien *B* und *C*, speciell bei den Wellenlängen 658—671 μ ; 2) im Orange und Gelb zwischen *C* und *D* und zwar einmal näher bei *C*, bei 622—640 μ , sodann näher bei *D*, bei 593—611 μ ; 3) im Gelbgrün zwischen *D* und *E*, zunächst bei 571—582 und weiter bei 546—557 μ ; 4) im Grünblau zwischen *E* und *F*, bei 523—531 μ und bei 502—510 μ ; 5) im Hellblau in der Umgebung von *F*, speciell bei 483 bis 491 μ , und endlich 6) im dunkleren Blau zwischen *F* und *G*, bei 465—471 μ und bei 446—452 μ .

Weiter gegen das brechbarere Ende hin waren sichere Bestimmungen nicht mehr möglich, einmal wegen zu geringer Lichtstärke, mehr aber noch wegen des wechselnden Einflusses von allerlei trübenden Bestandtheilen, die sich kaum vollständig aus dem Wasser entfernen lassen. Aber auch weiter nach dem rothen Ende des Spectrums hin war keine Messung mehr ausführbar; die Strahlen von 730 μ Wellenlänge und darüber erschienen uns bereits als vollständig ausgelöscht.

Da die Intensitätsmessung bei Anwendung unseres Photometers auf der Herstellung gleicher Helligkeit in zwei aneinander grenzenden Feldern beruht und diese durch Drehung eines Nicols um eine bestimmte Anzahl Grade geschieht, deren Betrag φ , bez. φ' , jedesmal an einem Theilkreise abgelesen werden muss, so wurden, um den Punkt gleicher Helligkeit möglichst sicher zu ermitteln, für jede einzelne Region stets mehrere Einstellungen gemacht, und zwar Einstellungen in je zwei verschiedenen Quadranten. In den beiden ersten Versuchsreihen wurden je zwei oder auch drei solcher Doppeleinstellungen zur Erlangung eines brauchbaren Mittelwerthes von φ , bez. φ' , für genügend erachtet; in den beiden letzten aber, welche übrigens beide einander ergänzen, wurden dazu jedesmal fünf Doppeleinstellungen vollführt, sodass man deren Resultate wohl als die genauesten (natür-

Archives des sciences physiques et naturelles. Nouvelle périod. 61. p. 338, an deren Schlusse es heisst: „Il résulte de là que si l'on veut opérer avec précision, il faut autant que possible éviter les filtrations.“

lich auch nur für das jeweiligen benutzte Wasser gültig) betrachten darf.

Die Versuche wurden an vier verschiedenen, völlig nebelfreien und wolkenlosen Septembertagen ausgeführt.

In der folgenden Tabelle sind die in unseren einzelnen Versuchsreihen ermittelten *Procente an Licht verschiedener Wellenlänge* zusammengestellt, welche von einer 180 cm langen Wassersäule bei einer zwischen 17° und 18° C. schwankenden Temperatur hindurchgelassen werden.

Tabelle I.

Wellenlänge	Durchgelassene Procente.				Mittelwerthe
671—658	48,11	50,55	—	49,08	49,25
640—622	60,60	57,98	61,93	—	60,17
611—593	63,16	64,42	63,54	—	63,70
582—571	—	84,48	80,74	79,30	81,50
557—546	89,41	84,21	88,26	—	87,29
531—523	93,09	92,12	91,59	—	92,27
510—502	93,13	92,82	91,96	—	92,63
491—483	93,89	95,02	—	91,83	93,58
471—465	—	95,35	—	95,04	95,19
452—446	94,88	95,87	—	94,42	95,06

Das Resultat unserer Versuche ist hiernach zweifellos und zugleich sehr lehrreich.

Wie schon unsere ersten, bei künstlicher Beleuchtung angestellten Versuche, so zeigen auch diese, dass die Lichtextinction durch das Wasser im allgemeinen um so mehr zunimmt, je länger die Lichtwellen werden; allein sie lehren noch mehr. Schon andere Beobachter¹⁾ haben darauf aufmerksam gemacht, dass das Spectrum des reinen Wassers bei genügend dicker Schicht des letzteren mehrere Absorptionsbänder zeigt: ein breites im Roth, von *A* bis *C* reichend (in der Mitte ein wenig heller), und ein zweites im Orange, näher der *D*-Linie. Die Existenz solcher Bänder an ziemlich

1) Schönn, Pogg. Ann. Ergbd. 8. p. 670 1878. Russell und Lapraik, Nature. 22. p. 368. 1880. Die Letzteren haben in ihrer Abhandlung sogar eine Abbildung davon gegeben. Soret und Sarasin, Arch. d. sc. phys. et natur. III. période. 11. p. 327 ff. 1884.

den gleichen Stellen¹⁾ geht auch aus unseren Messungen hervor.

Construirt man nämlich mit Hülfe unserer Zahlenmittel eine Curve, deren Abscissen die Wellenlängen, deren Ordinaten die durchgelassenen Lichtmengen angeben, so sieht man (vgl. Fig. 2), dass dieselbe durchaus keinen gleichmässigen Verlauf hat, sondern dass sie vielmehr sowohl in der Gegend von *D*, wie in derjenigen von *C* sehr entschiedene Sprünge aufweist.

Fig. 2.

Der starke Absorptionsstreifen im Grün dagegen, den zuerst H. W. Vogel²⁾ bei der spectrokopischen Untersuchung des aus dem Wasser der blauen Grotte zu Capri kommenden Lichtes wahrnahm und den später Aitken³⁾ im Spectrum des Mittelmeerwassers abermals auffand, ist nach

1) Nur „ziemlich“; denn auf unserer Fig. 2 greift das breite im Roth befindliche Band etwas über die *C*-Linie in das Intervall zwischen *C* und *D* herüber, während es bei Russell und Lapraik scharf mit *C* abschneidet. Diese Verschiedenheit ist wahrscheinlich nur die Folge der geringen Dispersion im rothen Theile des Spectrums. Vielleicht war nämlich der Ocularspalt unseres Apparates für die feinere Ausmittlung und die schärfere Abgrenzung verschiedener Intensitätsstufen in dieser Gegend etwas zu breit.

2) H. W. Vogel, Pogg. Ann. 156. p. 325. 1875. „Die beiden Linien *E* und *b*“, heisst es dort, „flossen zu einem deutlichen dicken Absorptionsstreifen zusammen.“

3) Aitken, Beibl. 7. p. 372. 1883.

unseren ¹⁾ Beobachtungen im Spectrum des *reinen* Wassers durchaus nicht vorhanden; er kommt also wohl dem Mittelmeerwasser eigenthümlich zu.

Wir wenden uns jetzt zu den *absoluten* Werthen unserer Messungsergebnisse.

Es ist bereits im Eingange zu dieser Abhandlung mitgetheilt worden, dass exacte Messungen der wirklichen Lichtmengen, die vom Wasser absorbiert werden, aus früherer Zeit nur vereinzelt vorliegen und dass die wenigen Versuche, die sich auf die Absorption farbigen Lichtes beziehen, nur drei Farben, Roth, Gelb und Blau, betreffen. Von diesen dreien aber war wiederum nur das Gelb (in Boas' Versuchen) wahrhaft homogenes Licht, nämlich Natriumlicht; dagegen hatten sich sowohl Boas wie Glan ihr rothes Licht durch Benutzung eines rothen Glases, Boas sein Blau durch Herbeiziehung einer Kupfervitriollösung erzeugt. Immerhin lassen auch die so gewonnenen Resultate mit unseren eigenen Messungsergebnissen einen recht guten Vergleich zu.

Die drei Beobachter, Wild, Glan und Boas, haben die Resultate ihrer bezüglichen Messungen als Werthe des sogenannten Absorptionscoefficienten ²⁾ bezeichnet und unter diesem die Lichtmenge verstanden, welche übrig bleibt, wenn ein Lichtstrahl von der Intensität 1 die Längeneinheit des absorbirenden Mediums durchlaufen hat. Als solche Längeneinheit aber hatte Wild anfangs ³⁾ den Pariser Zoll gewählt, später ⁴⁾ den Decimeter, während Glan und Boas den Centimeter.

Wir wählen als Maass des Lichtschwächungsvermögens eines diaphanen Körpers ein für alle Mal den von Bunsen und Roscoe ⁵⁾ eingeführten Extinctionscoefficienten, worunter man bekanntlich den reciproken Werth der Schichtendicke zu verstehen hat, nach deren Durchstrahlung die ursprüng-

1) Dasselbe fanden Soret und Sarasin, Arch. d. sc. phys. et natur. III. période. 11. p. 328. 1884.

2) Wild nennt diesen Coefficienten später (Pogg. Ann. 134. p. 583. 1868) „Durchsichtigkeitscoefficienten“.

3) Wild, Pogg. Ann. 99. p. 272. 1856.

4) Wild, Pogg. Ann. 134. p. 583. 1868.

5) Bunsen und Roscoe, Pogg. Ann. 101. p. 237. 1857.

liche Lichtintensität bis auf $1/10$ vermindert ist, und ertheilen ihm das Zeichen ε .

Da nun zwischen der ursprünglichen Intensität eines Lichtstrahles J und der nach Passirung eines diaphanen Mediums übrig bleibenden Lichtstärke J' allgemein die Beziehung besteht:

$$(2) \quad J' = \frac{J}{n^m},$$

worin $1/n$ den Bruchtheil, bis auf welchen der Strahl beim Durchgange durch die Schichteinheit geschwächt wird, und m die Anzahl der durchlaufenen Schichteinheiten bedeutet, so erhält man, wenn $J = 1$ und $J' = 1/10$ gesetzt wird, zunächst:

$$(3) \quad m \log n = 1,$$

und wenn wir weiter — gemäss der Definition des Extinctionscoëfficienten — anstatt m das Zeichen $1/\varepsilon$ einführen:

$$(4) \quad \log n = \varepsilon.$$

Da andererseits nach Gleichung (2):

$$m \log n = \log J - \log J',$$

so gilt, wenn wir beiden Grössen, sowohl J wie m , den Werth 1 beilegen:

$$(5) \quad \log n = -\log J' \text{ oder}$$

$$(6) \quad \varepsilon = -\log J'.$$

Als Einheit der Schichtendicke m aber wählt man in der quantitativen Spectralanalyse aus practischen Gründen allgemein den *Centimeter*.¹⁾ Die in unseren Versuchen gemessenen Lichtstärken bezogen sich auf eine Dicke der Wasserschicht = 180 cm; man findet daher ε aus:

$$(7) \quad \varepsilon = \log n = \frac{-\log J'}{180}.$$

Wir haben die Extinctionscoëfficienten des Wassers für die einzelnen von uns untersuchten Spectralfarben in solcher Weise berechnet und ferner nach Gleichung:

$$(8) \quad J' = \frac{1}{n^m}$$

1) Nicht mehr den *Millimeter*, was Bunsen und Roscoe zuerst gethan (l. c. p. 245).

auch die Werthe der Lichtstärke, welche jeder einzelne Farbenstrahl behalten wird, wenn er Wasserschichten einiger verschiedener, practisch in Betracht kommender Dicken durchlaufen hat. Folgende Tabelle gibt alle diese Werthe zusammengestellt.

Tabelle II.

Wellenlänge	s	J' bei			
		$m = 1 \text{ cm}$	$m = 1000 \text{ cm}$	$m = 10000 \text{ cm}$	$m = 100000 \text{ cm}$
671—658 μ	0,001 709	0,99610	0,0196	123.10 ⁻¹⁵	794.10 ⁻¹⁶⁸
640—622 "	0,001 226	0,99716	0,0594	182.10 ⁻¹⁰	398.10 ⁻¹²⁰
611—593 "	0,001 088	0,99749	0,0817	759.10 ⁻⁸	631.10 ⁻¹⁰⁶
582—571 "	0,000 494	0,99885	0,3206	0,00001	251.10 ⁻⁴⁷
557—546 "	0,000 328	0,99923	0,4699	0,00053	631.10 ⁻³⁰
531—523 "	0,000 194	0,99950	0,6397	0,01222	251.10 ⁻¹⁷
510—502 "	0,000 185	0,99957	0,6530	0,01413	32.10 ⁻¹⁷
491—483 "	0,000 160	0,99967	0,6918	0,02512	10 ⁻¹⁷
471—465 "	0,000 119	0,99972	0,7603	0,06457	126.10 ⁻⁹
452—446 "	0,000 122	0,99972	0,7551	0,06026	159.10 ⁻¹⁰

Für den Vergleich unserer Messungsergebnisse mit denen früherer Beobachter sind vor Allem einige Zahlen wichtig, welche in der dritten Columnne vorstehender Tabelle verzeichnet sind. Wir heben sie im Folgenden besonders heraus und stellen sie mit den entsprechenden Befunden unserer Vorgänger in der kleinen Tabelle III zusammen.

Tabelle III.

Lichtart	Bunsen u. Roscoe	Hankel	Wild	Glan	Boas	Hüfner u. Albrecht
Roth	—	—	—	0,9974 (0,9988)	0,9966	0,9961 u. 0,99716
Gelb	—	—	—	—	0,99745	0,99749
Blau	—	—	—	—	0,9986	0,99972
Chem. Strahl.	0,9886*)	0,9932*)	—	—	—	—
Weiss	—	—	0,9978*)	—	—	—

Die mit einem Sternchen bezeichneten Zahlen sind von uns aus den für andere Schichteneinheiten geltenden Angaben der betreffenden Autoren auf 1 cm als Schichteneinheit berechnet. Speciell die zweite Zahl ergibt sich aus zwei nach dem photographischen Verfahren angestellten Versuchen Hankel's, in welchen Licht von der Intensität 1 nach dem Durchgange durch eine mit Quarzplatten verschlossene, mit „frisch destil-

lirtem“ Wasser gefüllte Röhre, deren Länge das eine Mal 64 mm, das andere Mal nur 8 mm betrug, im ersten Falle bis auf 0,77, das zweite Mal bis auf 0,80 geschwächt gefunden wurde. Ist nämlich der beide Male durch die Quarzplatten verursachte Lichtverlust r , so hat man die beiden Gleichungen:

$$\frac{1-r}{n^{6,4}} = 0,77 \quad \text{und} \quad \frac{1-r}{n^{0,8}} = 0,8,$$

und erhält somit für $\epsilon = \log n$ die Zahl 0,00296 und für α , d. h. für J' in 1 cm Tiefe, obigen Werth 0,9932.

Wie man sieht, herrscht zwischen unseren Werthen und denen des Hern. Boas, soweit sie das Roth und Gelb betreffen, eine recht gute Uebereinstimmung; für das Gelb, wo auch Boas völlig homogenes Licht benutzen konnte, ist die Uebereinstimmung sogar eine beinahe vollkommene. Nur im Blau weicht Boas' Zahl verhältnissmässig bedeutend von der unsrigen ab.

Es wurde bereits oben bemerkt, dass eine Messung der Lichtintensität weiter gegen das rothe Ende des Spectrums hin, etwa in der Gegend der Linie B , in unseren Versuchen, d. h. bei einer Länge der Wassersäule von 2 m, um ihrer ausserordentlichen Schwäche willen schon nicht mehr möglich war. Die Extinction des Lichtes scheint hier — auch abgesehen von besonderen Absorptionsbändern — mit Zunahme der Wellenlänge ausserordentlich rasch zuzunehmen; denn dürfte man sich nach dem Gange des oben construirten Theiles der Intensitätscurve (siehe Fig. 2) einen Schluss auf den weiteren Verlauf derselben erlauben, so wäre es der, dass bei einer Wellenlänge von 760μ , also etwa bei der Fraunhofer'schen Linie A , nur wenig über 0 Procent Licht durch eine 180 cm lange Wasserschicht hindurchgeht. In der That fand auch Tyndall¹⁾ bei Wiederholung von Melloni's Versuchen über die Diathermansie der Flüssigkeiten, dass eine 0,14 Zoll (= 3,58 mm) dicke Wasserschicht von den Strahlen, die ein durch den galvanischen Strom rothglühend gemachter Platindraht aussandte, nur 9 Proc. hindurchgehen liess. Dieser Werth

1) Tyndall, Die Wärme, betrachtet als eine Art der Bewegung. Deutsche Ausg. III. Aufl. Braunschweig 1875. p. 482.

entspricht aber einem Extinctionscoefficienten $\epsilon = 2,91900$ und einem Absorptionscoefficienten a (auf 1 cm bezogen) $= 0,00123$, im Vergleiche zu dem von uns für rothes Licht in der Nähe von C gefundenen $a = 0,9961$!

Ueber den *Einfluss der Temperatur* auf das Extinctionsvermögen des Wassers noch besondere Versuche anzustellen, haben wir um der vielfältigen Schwierigkeiten willen, welche uns die bisherige Untersuchung schon an sich geboten, absichtlich vermieden. Wir haben uns vielmehr, da Wild's¹⁾ Versuche einen solchen Einfluss wahrscheinlich zu machen schienen, gerade sorgfältig bemüht, unsere Messungen bei möglichst gleicher Temperatur auszuführen. Da die Unterschiede im Extinctionsvermögen, die Wild bei verschiedenen Temperaturen gefunden, wohl sehr bedeutend, indessen noch bedeutender diejenigen sind, die durch das vermehrte oder verminderte Auftreten suspendirter Theilchen im Wasser hervorgerufen werden, so möchte man beinahe auf die Vermuthung kommen, diese Unterschiede seien überhaupt beide Male durch dieselbe Ursache und zwar gerade durch die suspendirten Theilchen bedingt gewesen. Diese Theilchen — vielleicht, dass es niedere Organismen sind — mögen bei höherer Temperatur entweder zahlreicher oder lebendiger, d. h. mehr in Bewegung und durch die Flüssigkeit vertheilt, bei niederer dagegen entweder weniger zahlreich oder ruhiger gewesen sein, d. h. mehr auf dem Boden oder an den Wänden des Gefässes geangen haben.

Den Einfluss suspendirter Theilchen zeigen die Zahlenwerthe aufs deutlichste, die Wild bei Beobachtungen mit weissem Lichte und bei gleicher Temperatur an drei verschiedenen Wasserproben gefunden hat.²⁾ Davon war die eine durch grobes, die zweite durch mittelfeines und die dritte durch feinstes Filtrirpapier filtrirt.

Es ergab sich der Absorptionscoefficient a :

bei grobem Papiere	= 0,9872,
„ mittelfeinem „	= 0,9922,
„ feinstem „	= 0,9978.

1) Wild, Pogg. Ann. 134. p. 583. 1868.

2) Wild, Pogg. Ann. 99. p. 1856.

Dagegen gaben Wasserproben, die sämmtlich durch das gleiche Papier filtrirt worden waren, bei drei verschiedenen Temperaturen¹⁾ folgende Werthe:

<i>a</i>	bei	6,2° C.	=	0,9946,
"	"	17,0 "	=	0,9938,
"	"	24,4 "	=	0,9915.

Alle diese Zahlen sind wieder aus den Wild'schen Daten für 1 cm als Einheit des Weges berechnet.

Es dürfte in der That sehr schwierig sein, durch Versuche zu entscheiden, ob die Zunahme der Extinction mit wachsender Temperatur mehr eine Folge des veränderten specifischen Gewichtes und Volumens des Wassers oder einer Zunahme der Trübung desselben durch fremde Bestandtheile ist. Die Hauptschwierigkeit liegt am Wasser.

Tübingen, im October 1890.

1) Wild, Pogg. Ann. 134. p. 583. 1868.