

II. SECTION.

DIE FARBENERSCHEINUNGEN  
DES BALATONSEES

VON

DR. EUGEN v. CHOLNOKY

MIT 2 FARBENTAFELN UND 34 FIGUREN IM TEXT.



## EINLEITUNG.

Über die «Farben des Balatonsees» zu schreiben wäre für Jemanden, der nur ein poetisches Stimmungsgemälde bieten will, eine sehr dankbare Aufgabe. Jeder Wasserspiegel, sei es nun der Ozean oder ein See, ist im Gegensatz zu den kühnen Linien des mit demselben sich berührenden Festlandes, mit seinen dunklen Farben ein schönes Landschaftselement. Das Farbenspiel des Wasserspiegels drückt dem Stimmungsdichter aller Herren Länder die Laute in die Hand. Jedoch ist dieses Farbenspiel auf unserem Balatonsee ein anderes als auf den tiefen, klaren Gebirgseen oder auf dem Meere mit seinen grossen Tiefen.

Sehr schwierig ist aber die Aufgabe des Naturforschers, wenn er sich mit den Farben des Balaton zu befassen hat. Vor Allem wird die Frage laut: was haben wir eigentlich unter der Farbe des Balatonsees zu verstehen? Dieses Problem kann auf mehrerlei Weise aufgefasst werden.

1. Wir können von der Farbe des Balatonwassers sprechen, wie sie sich an der dem See entnommenen Probe in einem durchsichtigen Gefäss zeigt. Es ist leicht einzusehen, dass derartige Untersuchungen von keiner grossen wissenschaftlichen Bedeutung sind. Diese schwer definirbare Farbe ist eine so zufällige, unbedeutende Begleiterscheinung der Verunreinigung des Seewassers, dass sie selbst über die Beschaffenheit und Menge der das Wasser trübenden anorganischen und organischen Stoffe keinen zulänglichen Aufschluss gibt. Diese Farbe — genau untersucht — verändert sich fortwährend, nach den Jahreszeiten, dem Wetter und dem Orte der Probeentnahme. Die Probe muss sofort nach der Entnahme untersucht werden, da sich die Farbe, die Trübung, die Durchsichtigkeit des Wassers innerhalb einer kurzen Zeit verändert. Von derartigen Untersuchungen können bei dem heutigen Stand unserer

Wissenschaft nicht viel Resultate erhofft werden, umsoweniger, da F. A. FOREL bereits nachgewiesen hat, dass sich diese grüne Farbe unter der Einwirkung der aus dem Boden der Uferpflanzen, namentlich aber aus dem der Torflager stammenden Humussäure gründlich verändert.

2. Unter der Farbe des Balatonwassers kann man auch jene Farbe verstehen, die es z. B. dem Auge des unter Wasser getauchten Menschen zeigt. Wer seine Augen unter Wasser zu öffnen vermag, sieht eine eigenthümlich glänzend grüne Farbe um sich, die aber gleichfalls sehr veränderlich und von lokalen und Wetterverhältnissen abhängig ist.

3. Schliesslich können wir von der Farbe des ganzen Sees sprechen, wie sie von ferne, von nahe, vom Ufer, vom Schiff oder vielleicht vom Luftschiff betrachtet erscheint. Dies aber ist eine komplizierte Erscheinung, deren Analysirung mit nicht geringen Schwierigkeiten verbunden ist. Doch verdient diese Frage schon deshalb erörtert zu werden, da dieses Farbenspiel Jedermann auffällt und jeder Naturfreund, der die Schönheiten der Natur zu geniessen versteht, die Erklärung des Zusammenhanges, welcher zwischen dem Farbenspiel und den dasselbe verursachenden physikalischen Erscheinungen besteht, mit Freude aufnehmen wird.

Bei Erforschung dieses komplizierten Problems müssen wir der Reihe nach die einzelnen Faktoren vornehmen, welche die Ursache der Farbenveränderungen sind und wenn es vielleicht auch nicht gelingt, mit ihrer Hilfe in jedem speziellen Falle diesen oder jenen Pinselstrich im Farbenbilde des Sees vollkommen einwandfrei zu erklären, so werden wir uns doch davon überzeugen, dass wir inmitten der riesigen Mannigfaltigkeit die Hauptgesetze doch leicht auffinden und bei ruhiger Betrachtung beinahe ausnahmslos die Ursache der Nuancen angeben werden können.

Mit dem Problem der Farben des Seewassers und der auf den Seen sich zeigenden sonstigen optischen Erscheinungen haben sich bereits Viele befasst. Monographische Beschreibungen finden wir in folgenden Arbeiten:

F. A. FOREL: *Le Léman*. Bd. II., pag. 408—571.

A. DELEBECQUE: *Les lacs français*. Paris 1898. — Es wird die Farbe und Durchsichtigkeit von 118 französischen Seen beschrieben.

Dr. J. Ritter LORENZ v. LIBURNAU: *Der Hallstätter See*; Mittheilungen der k. k. Geographischen Gesellschaft in Wien. Bd. XLI, Nr. 1 u. 2. — Befasst sich pag. 69 mit der Durchsichtigkeit, auf pag. 84 mit den Farben des Sees. «Beiträge zur wissenschaftlichen Untersuchung des Vierwaldstättersees», in den «Mittheilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Luzern» Jhg.

- 1896/97, Heft 2, auf pag. 109. XAVER ARNET: Die Durchsichtigkeit des Wassers etc. Luzern, 1898. — Diese Abhandlung hat die Durchsichtigkeit zum Hauptgegenstand und finden wir in derselben eingehende Betrachtungen über die Ursachen der Transparenz. — Im Jhg. 1898/900 derselben Publikation befasst sich auch Dr. G. BURCKHARDT mit der Durchsichtigkeit und Farbe des Sees, aber kürzer, als der vorhergehende. (Quantitative Studien über das Zooplankton des Vierwaldstättersees.) — Luzern, 1900.
- Dr. WILHELM HALBFASS: Beiträge zur Kenntniss der Pommerschen Seen; Peterm. Mitth. Ergänzungsh. Nr. 136. — Es werden über die Durchsichtigkeit zahlreicher kleiner Seen lückenhafte Beiträge mitgetheilt, die in Anbetracht der kleinen Dimensionen der Seen kaum verwerthbar sind. Denn gerade bei den kleinen Seen ist die Durchsichtigkeit mit dem Wetter sehr veränderlich, so dass nur lange Reihen von Daten von einiger Bedeutung wären.
- SELIGO: Hydrobiologische Untersuchungen. Schriften der Naturwiss. Gesellschaft zu Danzig. Neue Folge, Bd. VII, Heft 3. — Und gleichfalls
- SELIGO: Untersuchungen in den Stuhmer-Seen. Herausgegeben vom Zool. Verein und dem Westpreuss. Fischereiverein, Danzig, 1900. — Beide Arbeiten behandeln den Einfluss des Planktons auf die Durchsichtigkeit des Wassers.
- HALBFASS: Der Arendsee in der Altmark; Mittheilungen des Vereins für Erdkunde zu Halle, 1899, pag. 62.
- Dr. F. A. FOREL: Transparenz und Farbe des Bodensees; Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, XXII. Heft. — Eine von der Meisterhand FOREL's stammende, sehr wichtige Studie.
- H. FOL et É. SARASIN: Pénétration de la lumière du jour dans les eaux du lac de Genève et dans celles de la Méditerranée. Archives des sciences phys. et nat. Genève. T. XIX. 1888. pag. 447.
- M. J. PICCARD: Phénomènes de réflexion à la surface des nappes d'eau. Archives des sc. phys. et nat. Genève. III. per., T. XXI. 1889, pag. 481—508. — Eine sehr interessante und wichtige Studie.
- J. L. SORET et É. SARASIN: L'indice de réfraction de l'eau de mer. Arch. des sc. phys. et nat. Genève. III per. T. XXI. 1889. 509—514.
- J. L. SORET: Sur la polarisation de la lumière bleue de l'eau. Comptes rendus de l'Acad. des Sc. T. LXVIII. 1869. pag. 911.
- J. L. SORET: Sur l'illumination des corps transparents. Arch. des sc. phys. et nat. Genève. T. XXXVII. 1870. pag. 129—175. — Beide Abhandlungen befassen sich mit jener subtilen Erscheinung, wonach auch das vollkommen reine Wasser unter Einwirkung des Lichtstrahls hell wird. Für die vorliegenden Erörterungen von wenig Nutzen.
- ED. HAGENBACH: Sur la Polarisation et le couleur bleue de la lumière réfléchiée par l'eau ou par l'air. Arch. des sc. phys. et nat. Genève. Nouvelle période, T. XXXVII. 1870. pag. 176—181. — Eine kleine Abhandlung, an die J. L. SORET Bemerkungen knüpft.

- CH. DUFOUR: De l'altération des images par réflexion sur la surface des eaux  
Bulletin de la Soc. vaud. des Sciences naturelles. T. XIII. pag. 73. —  
Eine sehr wichtige Schrift, welche die bekannte DUFOUR'sche Methode  
zur Bestimmung der Dimensionen der Erde enthält.
- J. REINDL: Die schwarzen Flüsse Südamerikas. Münchener geographische Studien,  
Heft XIII.

Während der Drucklegung vorliegender Arbeit erschien:

- OTTO Freiherr von und zu AUFSSESS: Die Farbe der Seen; München, 1903. — In  
dieser mit grosser Sorgfalt verfassten physikalischen Studie werden die  
Farben der Seen auf Grund spektroskopischer Untersuchungen klassifizirt,  
was zweifellos die einzig präzise Methode ist.
-

## I. KAPITEL.

### DIE DURCHSICHTIGKEIT DES SEEWASSERS.

Ein Masstab für die Transparenz des Wassers kann in der Sichtbarkeit von unter Wasser getauchten Objekten bestehen. Das untergetauchte Objekt kann ein Leuchtkörper oder aber eine einfache weisse Scheibe sein, die durch das von oben eindringende Licht beleuchtet, sichtbar wird. Bei Messung der Lichtdurchlässigkeit des Wassers kommt auch jene Methode in Anwendung, dass lichtempfindliche Platten unter Wasser getaucht und es mittels derselben ermittelt wird, bis zu welcher Tiefe das Licht einzudringen, resp. auf die lichtempfindliche Platte einzuwirken vermag.

Diese drei Methoden wurden sowohl bei der Erforschung der Ozeane, als auch des Léman-Sees angewendet und es hat FOREL<sup>1</sup> die Bedeutung einer jeden derselben eingehend erwogen. Von den erreichten Resultaten ist es sehr wichtig, die folgenden zu erwähnen:

Ein Theil der Lichtstrahlen wird vom Wasser absorbiert, selbst wenn dasselbe vollkommen rein ist. Die Trübung des Seewassers wird aber grösstentheils nicht durch diese Lichtabsorption, sondern hauptsächlich durch die im Wasser suspendirten, überaus feinen Verunreinigungen verursacht, welche die Umrisse der unter Wasser getauchten Objekte einem sehr dünnen Nebel gleich verschwommen erscheinen lassen. In den sehr klaren Seen oder im Wasser der tiefen Ozeane ist die Quantität des suspendirten und trübenden Materials sehr gering, weshalb dort die unter Wasser getauchten Objekte mehr in Folge der Lichtabsorption verschwinden. Wenn z. B. eine weisse Scheibe auf offener See in das Wasser hinabgelassen wird, so wird dieselbe in einer Tiefe von ca. 50 m. sichtbar sein, vorausgesetzt, dass die Sonne genügend hoch steht und so die Scheibe von einem genügend intensiven Licht beschienen wird, um von derselben reflektirt, die Wasserschicht nochmals zu durchdringen und in das Auge gelangen zu können. Bei untergehender Sonne wird die Tiefe, bei welcher die Scheibe noch sichtbar bleibt, mit abnehmender Sonnenhöhe successive geringer.

Ganz anders verhält sich die Sache im Wasser solcher Seen, wo die hinabgetauchten Objekte durch die im Wasser suspendirten feinen Verunreinigungen getrübt werden. Wenn die Beleuchtung heller wird, z. B. bei aufgehender Sonne, da nimmt auch die Helligkeit der ins Wasser getauchten Scheibe zu, aber gleichzeitig auch die Beleuchtung der suspendirten feinen Partikeln. In Folge dessen wird auch das Deckungsvermögen des trübenden Mediums vergrössert.

---

<sup>1</sup> F. A. FOREL: Le Léman. T. I., p. 408.

Wird das Licht schwächer, so dass das trübende Material weniger beleuchtet ist, dann verringert sich auch das reflektirte Licht der untergetauchten Scheibe. Ist demnach im Seewasser verhältnissmässig viel feines Material suspendirt, so hängt die Sichtbarkeit der untergetauchten Körper nur in sehr geringem Masse von der Intensität der allgemeinen Tagesbeleuchtung ab. Alldies wurde von FOREL l. c. eingehend erörtert.

Das Licht von leuchtenden Körpern, z. B. von elektrischen Lampen dringt von sehr bedeutenden Tiefen bis zur Wasseroberfläche, im Léman-See aus circa 30—40 m. noch ganz einfach, als direkter Lichtstrahl; aus grösseren, 60—80 m. betragenden Tiefen aber beleuchtet es die trüben Wasserschichten in der Nähe der Seeoberfläche nur mehr als zerstreutes Licht.

Auf dem Balatonsee kann von derartigen Untersuchungen und Erwägungen nicht die Rede sein. Die mittlere Tiefe des Sees ist beinahe genau 3 m. und die grösste Tiefe der Becken bleibt zwischen 4 und 5 m. Die tiefste Stelle des ganzen Sees befindet sich unterhalb Tihany vor der Fähre, wo sie aber auch nicht mehr als 11·5 m. beträgt. In so seichtem Wasser haben die Untersuchungen mit lichtempfindlichen Platten und elektrischen Lampen keinen Zweck, da es ja offenbar ist, dass das Licht beiläufig überall bis zum Seegrund eindringt.

Es hätte wohl ein Versuch angestellt werden können, wie weit der in den See getauchte Leuchtkörper seine Strahlen in horizontaler Richtung durch das Wasser zu senden vermag, doch wäre auch dies ohne besonderer Bedeutung, da sich — wie wir sehen werden — die Durchsichtigkeit des Seewassers mit dem Wetter rasch verändert und zur selben Zeit an verschiedenen Punkten des Sees aus leicht verständlichen Ursachen überaus verschieden ist.

Einzig und allein die Beobachtung der weissen Scheibe versprach Resultate. Zu diesem Zwecke wurden weiss angestrichene Blechscheiben mit einem Durchmesser von 16·5 cm. verwendet, die an drei Punkten aufgehängt und unten mit einem von drei Schnüren gehaltenen Gewichte beschwert, in das Wasser getaucht wurden (Fig 1).<sup>1</sup> Die Länge der Schnur wurde — so weit sie in das Wasser getaucht war — in jedem einzelnen Falle besonders gemessen, um so dem Fehler auszuweichen, welchem ARNET bei den Messungen im Luzerner Becken des Vierwaldstätter-Sees verfallen ist, der die Schnur vorher eingetheilt hat, deren Länge sich jedoch mit der Zeit wesentlich veränderte.

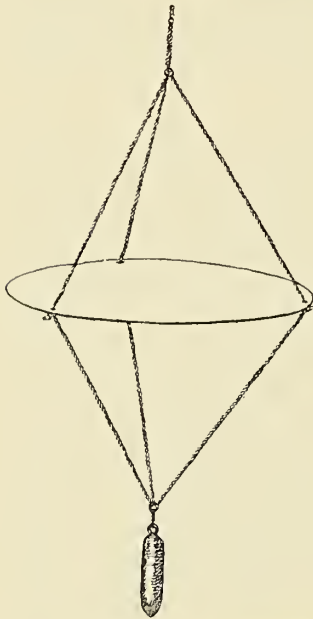


Fig. 1. Scheibe zur Messung der Durchsichtigkeit.

Bevor ich jenes wenigwerthvolle Resultat erwähne das sich aus sehr zahlreichen Messungen ableiten liess, möchte ich an diese Methode resp. an deren Anwendung beim Balatonsee einige kritische Bemerkungen knüpfen.

<sup>1</sup> Von manchen wird diese Scheibe die SECCHI'sche, von HALBFASS aber, da sie von J. Ritter LORENZ v. LIBURNAU zuerst angewendet wurde, die Liburnau'sche Scheibe genannt. Ich glaube, dieses Instrument ist so einfach, dass es nicht verdient, mit dem Namen so hervorragender Naturforscher belegt zu werden.



Selbst FOREL gesteht ein, dass diese Methode nur annähernde Resultate gibt und dass auch diese durch zahlreiche zufälligen Umstände wesentlich modifizirt werden. Er leitet die Folgerungen aus seinen gründlichen Studien ab, indem er in seinen Anweisungen zu derartigen Untersuchungen betont, dass (auf dem Léman- und Bodensee) nur dort die Durchsichtigkeit gemessen werden darf, wo die Tiefe zumindest bereits 25 m. beträgt, damit die Mittelwerthe durch das eventuelle Aufrühren des am Grunde befindlichen Schlammes oder durch die vom Ufer zufällig in das Wasser gelangten Verunreinigungen nicht beeinflusst werden können. Ein so tiefer Punkt aber ist im Balatonsee überhaupt nicht vorhanden und es war in Folge dessen unmöglich nach FOREL's Vorschrift vorzugehen. Wie sehr der gelehrte Forscher Recht hat, indem er seine Anweisungen auf diese Weise gibt, sehen wir gerade beim Balatonsee am besten erwiesen. Die geringe Tiefe, der im ganzen Seebecken auffindbare littorale Charakter der Verunreinigung des Wassers bergen die Ursache in sich, dass bei uns von 10—20 m. betragenden Tiefen, als von solchen, aus welchen die untergetauchte Scheibe im Léman-, Boden- und Vierwaldstättersee noch immer sichtbar ist, nicht die Rede sein kann. Die grösste Tiefe, in welcher die Scheibe noch sichtbar war, beträgt unter sämtlichen Messungen 3·5 m., doch wurde dies nur ein einzigesmal von Dr. L. v. Lóczy im Wasser eines in das Eis des eingefrorenen Balatonsees gehauenen Loches am 25. Feber 1893 zwischen Tihany und Szántód beobachtet, da das Wasser unter der mächtigen Eisdecke bereits seit Monaten in Ruhe war. Unter meinen eigenen zahlreichen Messungen war 1·75 m. die grösste Durchsichtigkeit, u. zw. gleichfalls unter dem Eise. Die grösste Transparenz war im Léman-See 22·5 m., im Bodensee<sup>1</sup> ca. 12 m., im Vierwaldstätter See 16·6 m. (ARNET), resp. 17·4 (BURCKHARDT), am Hallstätter See 8·8 m. Der Mittelwerth sämtlicher Messungen war bei dem Léman-See 10·2 m., beim Bodensee 5·36, bei dem Balatonsee aber bloss 0·85 m., wenn aus diesen Messungen überhaupt ein arithmetisches Mittel gebildet werden darf, da dieselben derart voneinander abweichen, dass die Durchsichtigkeit sehr häufig bloss 30—40 cm. betragen hat.

Bei einer so geringen Durchsichtigkeit darf die Messung nicht an einer beliebigen, von der Sonne beschienenen oder aber im Schatten befindlichen Stelle erfolgen, wie dies bei den Alpenseen möglich ist, da dort die Werthe dadurch, dass wir im Schatten oder im Sonnenschein arbeiten, kaum beeinflusst werden; nur die Oberfläche des Wassers muss nach den Anweisungen beschattet sein, da das vom Wasserspiegel direkt reflektirte Licht die Beobachtungen alterirt.

Bei den Beobachtungen können sich die folgenden Fälle ergeben:

1. Am Beobachtungsorte wird die Wasseroberfläche und die Scheibe von der Sonne beschienen. In diesem Falle lässt sich eine sehr unvollkommene Beobachtung erwarten, insbesondere wenn die Wasseroberfläche bewegt ist, da die Scheibe durch das von der Oberfläche reflektirte Licht sehr bald verdeckt wird. Wie wir später sehen werden, haben sich diese Beobachtungen am Balatonsee wider Erwarten als sehr gut erwiesen.

2. Es wird bloss das Wasser von der Sonne beschienen, die Scheibe nicht. In diesem Falle ist die Messung die denkbar schlechteste, denn während vorher

---

<sup>1</sup> Dr. F. A. FOREL: Transparenz und Farbe des Bodensees. — Dieser Werth kann an der dem Berichte beigeschlossenen graphischen Tafel abgelesen werden.

die beschienene Scheibe durch die Lichtreflexe der Oberfläche hindurchleuchtete verschwindet die beschattete Scheibe in diesem Falle sofort, sobald sie in das Wasser getaucht wird.

3. Es wird bloss die Scheibe durch das Wasser hindurch von der Sonne beleuchtet, die Wasseroberfläche aber am Beobachtungsorte nicht. Dieser Fall kann sich sehr häufig ereignen, wenn wir die Oberfläche mittels eines Sonnenschirmes beschatten oder aber die Beobachtung von einem niederen Kahn oder vom Bug eines nicht tiefgehenden, schmalen Schiffes vornehmen.

So untersuchte ich die Durchsichtigkeit des Seewassers sehr häufig vom Bohrschiff der Balaton-Kommission, natürlich immer an jener Seite, nach welcher der grosse Körper des Bohrschiffes seinen Schatten warf. Ich musste jedoch mit Überraschung wahrnehmen, dass das Mass der Durchsichtigkeit an der sonnenbeschienenen Seite des Schiffes grösser ist als an der Schattenseite. So z. B. war:

am 25. Juli 1894, 11 <sup>h</sup> a. m.	die Durchsichtigkeit an der Schattenseite	0.62 m.
» » » 1894, 11 <sup>h</sup> » » »	» » » Sonnenseite	0.80 m.
» » » 1894, 3 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup> p. m.	» » » Schattenseite	0.60 m.
» » » 1894, 3 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup> » » »	» » » Sonnenseite	0.90 m.

Sodann begab ich mich auf den Bug des Schiffes, wo die schiefen Sonnenstrahlen im Wasser unter dem Bug an die beschattete Seite des Schiffes gelangen. Als ich hier die Scheibe hinabliess (Fig. 2), verschwand dieselbe alsbald in dem grünen Wasser und war in einer Tiefe von ca. 0.6 m. nicht mehr sichtbar. Indem

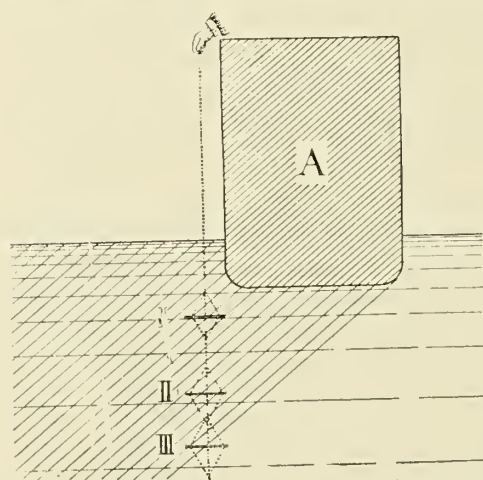


Fig. 2. Die verschiedenen Fälle bei der Messung der Transparenz.

ich dieselbe noch tiefer hinabliess, wurde sie bei ca. 0.8 m. abermals sichtbar, u. zw. in einem eigenthümlichen, schönen grünen Lichte. Eine einfache kleine Konstruktion kann uns davon überzeugen, dass die Scheibe bei jenem Punkte abermals sichtbar wurde, wo sie das unter dem Schiffskörper durchscheinende Sonnenlicht wieder traf. In Fig. 2 ist *A* der Querschnitt des Schiffskörpers. In Folge der grossen Belastung des hinteren Theiles ging der Bug kaum 10–15 cm. tief. Die Höhe der Sonne war an diesem Tage Nm. dreieinhalb Uhr 39.5° über dem Horizont und da ihr Azimut 73° war, schien sie quer zur Achse des Schiffes, welches der nordwestlichen Winde wegen, beiläufig senkrecht zur Achse des Sees mittels drei Anker verankert war. In der Lage I befindet sich sowohl das Wasser, als auch die Scheibe im Schatten und die letztere ist noch sichtbar. In der Lage II ist die Scheibe bereits nicht sichtbar. In der Lage III taucht die Scheibe wieder auf.

Es ist leicht einzusehen, dass dieser Umstand bei so kleinen Tiefen eine wesentliche Rolle spielt, während er z. B. bei den grossen Tiefen des Léman-Sees sozusagen von verschiedenem Einfluss ist.

Schwerer lässt sich jene Erscheinung erklären, dass die Scheibe an der sonnenbeschienenen Seite des Schiffes bei einer grösseren Tiefe sichtbar ist, als an der Schattenseite. Die Ursache hiefür lässt sich im Folgenden vermuthen:

Bei den vom Bohrschiff angestellten Forschungen stand die Farbe des Wassers der 11. der FOREL'schen Skala am nächsten; sie war also sehr hellgrün, noch bedeutend gelber als das schöne Wiesengrün. Dies ist ein Zeichen dessen, dass im Wasser sehr viel Lösungen pflanzlichen Ursprunges enthalten sind, deren kleine, feste Bestandtheile keine dichte, das Wasser trübende Wolke bilden, sondern sich im aufgelösten Zustande befinden und somit der in seine Moleküle zerfallene Farbstoff im Wasser suspendirt ist. Die Lichtabsorption einer solchen Lösung aber ist bedeutend grösser als die des reinen Wassers.<sup>1</sup> Nun war die Quantität der pflanzlichen Lösungen zu jener Zeit so gross, dass die lichtabsorbirende Wirkung derselben nicht ausser acht gelassen werden darf, da vielmehr ausser der Wirkung der im Wasser suspendirten, trübenden, festen Partikelchen auch dieser Lichtabsorption eine bedeutende Rolle zufällt. In Folge dessen wird ein so intensiver Unterschied in der Beleuchtung, wie er zwischen Schatten und Sonnenschein herrscht, auch an der Sichtbarkeit der Scheibe zur Geltung kommen, gerade so wie im Ozean, wo die Intensität der Beleuchtung auf die Sichtbarkeit gleichfalls einwirkt. Während aber im Meere die Verunreinigung des Wassers durch feste Partikelchen so gering ist, dass neben derselben die Lichtabsorption des Wassers nicht vernachlässigt werden darf, wird im Balatonsee die Lichtabsorption des Wassers durch die pflanzlichen Lösungen in solchem Masse erhöht, dass dieselbe trotz der wesentlichen Verunreinigung durch feste Partikelchen nicht wirkungslos bleibt. Eine ganz ähnliche Erwägung müssen wir auch dann anstellen, wenn wir die hellgrüne Farbe nicht mittels der FOREL'schen Pflanzenlösungs-Theorie erklären, sondern voraussetzen, dass die grüne Nuance nach den Untersuchungen SPRING's<sup>2</sup> durch die Konzentration der schwerlöslichen Salze verursacht wird, was man beim Balatonsee gleichfalls voraussetzen darf (Siehe das Kapitel über die Farben.)

4. In den vorhergehenden Erörterungen zeigte sich auch der Fall, dass weder die Scheibe noch die Wasserfläche an dem Beobachtungsorte von der Sonne beleuchtet wird. Wir haben gesehen, dass in diesem Falle das Mass der Durchsichtigkeit nicht so gross ist wie im 1. Falle, in welchem die Scheibe um circa 20—30% tiefer hinabgelassen werden kann, um noch sichtbar zu sein.

5. Der fünfte Fall schliesslich wäre der, dass die Sonne durch die Wolken verdeckt wird. Es ist mittels Vergleichung der Daten sehr schwierig, am Balaton festzustellen, wann die Scheibe unter denselben Verhältnissen in einer grösseren Tiefe sichtbar ist: ob bei klarem Himmel und Sonnenschein oder bei trübem Wetter. In letzterem Falle nämlich ist die Oberfläche des Sees gewöhnlich unruhiger als bei klarem Wetter. Auch ist das Wasser trüber. In Folge dessen lässt sich aus den zahlreichen Daten wohl entnehmen, dass die Durchsichtigkeit bei trübem Wetter

---

<sup>1</sup> ILOSVAY L.: Chemische Eigenschaften des Wassers des Balatonsees, p. 20. — Leider kann die Quantität der organischen Lösungen nicht genau bestimmt werden. Auch ILOSVAY kann sich nur darauf beschränken, dass im See verhältnissmässig viel organisches Material gelöst ist.

<sup>2</sup> Sur l'origine des phénomènes de coloration de l'eau de la mer et de l'eau des lacs. Bull. Acad. roy. de Belg. 3. series. T. XII, no. 12, 1886.

im Allgemeinen kleiner ist, doch darf dies keinesfalls einzig und allein auf das Gewölk zurückgeführt, die Erscheinung muss vielmehr zum grössten Theil dem das Gewölk begleitenden unruhigeren Wetter zugeschrieben werden.

\*            \*            \*

Wie wir aus dem Obigen sehen, kann den Versuchen mit der unter Wasser getauchten weissen Scheibe schon in Folge des verschiedenen Masses der Beleuchtung keine besondere Wichtigkeit beigelegt werden.

Und thatsächlich kann die Durchsichtigkeit von Stelle zu Stelle, von Stunde zu Stunde einer ausserordentlichen Veränderung unterworfen sein. Es wurde erwähnt, dass die Durchsichtigkeit am 25. Juli 1894 zwischen 60—90 cm. schwankte. Am anderen Tage, am 26. Juli Vm. 11<sup>h</sup> 43<sup>m</sup> war dieselbe 43 cm. und am nächstfolgenden Vm. 10<sup>h</sup> nur mehr 28 cm.! Sodann folgte ein Wetter, bei welchem der hohe Schlammgehalt des Wassers mit freiem Auge sichtbar war, wie das schlammige Wasser mit scharfen Konturen der Strömung folgte. — Ebenso rasch veränderte sich die Durchsichtigkeit, als v. Lóczy das vorher berührte Maximum beobachtet hat. Am 25. Feber 1893 begab sich v. Lóczy am Eise des Sees von Tihany nach Szántód. Unterwegs wurde die Durchsichtigkeit von ihm an zwei Punkten gemessen. Zuerst ober der grössten Tiefe (10 m.), unter einer 19 cm. dicken Eisdecke, Mittags. Die Durchsichtigkeit war in diesem Falle 2·1 m. Nachmittags 3<sup>h</sup> fand er dieselbe in einem 4 m. tiefen Wasser, unter einer 24 cm. dicken Eisdecke gleich 3·5 m. (Er stellte die Messungen nicht mit einer weissen Scheibe, sondern mit einem, in ein weisses Blechgehäuse eingeschlossenen Maximum-Minimumthermometer an, der diesem Zwecke vollkommen entsprach.)

Aus den sehr zahlreichen Messungen ergibt sich nur das Resultat, dass das Mass der Durchsichtigkeit bei ruhigem Wetter in der Seemitte 0·6—0·8 m. beträgt, bei unruhigem Wetter aber oder in der Nähe der Röhrichte auf 0·28 m. herabsinken kann.

Eine wesentliche Veränderung der Verhältnisse stellt sich unter der gleichförmigen Eisdecke ein. Das Wasser befindet sich zwar — wie der Limnograph beweist — auch dann nicht in vollständiger Ruhe, doch ist die Bewegung desselben so weit herabgedrückt, dass es sich beträchtlich klärt. Auch das Wasser der Schlamm und pflanzliche Lösungen zuführenden Bäche ist wesentlich vermindert; der Schlamm wird durch die Wellen nicht aufgerührt und wahrscheinlich verringert sich auch die Mikrofauna und Mikroflora. In diesem Falle kann die grösste Durchsichtigkeit beobachtet werden, beläufig das Doppelte der im freien Wasser erhaltenen Daten. Die grösste Tiefe, bis zu welcher die weisse Scheibe hinabgelassen werden konnte, um noch sichtbar zu sein, beobachtete ich am 7. Feber 1895 und war dieselbe 1·75 m. Behufs Durchführung der Messung liess ich in das 32·5 m. dicke, schöne, spröde Eis ein Loch von der Grösse 45/45 cm. hauen. Die Oberfläche des Eises war mit einer ungleichmässigen, dünnen Schneeschichte bedeckt. Das Wasser erscheint im Loche dunkel, beinahe schwarz, doch erkennt das geübte, namentlich an derartige Untersuchungen gewöhnte Auge sofort, dass es reiner ist, als es im Sommer zu sein pflegt.

Noch grössere Tiefen hat — wie bereits erwähnt — v. Lóczy am 25. Feber 1893 beobachtet. Der See fror in diesem Winter am 13. Dezember 1902 ein; in

der Enge Tihany-Szántód war sogar schon am 26. November eine Eisdecke vorhanden. Nach den Mittheilungen v. Lóczy's war das 24—28 cm. dicke Eis vollkommen rein und durchsichtig. Ausser diesem wichtigen Maximum hat gleichfalls v. Lóczy am 6. Feber 1895 vor Kövesd, 1 Km. vom Ufer entfernt, in einem 3·1 m. tiefen Wasser und unter einem 32·5 cm. dicken Eise eine Durchsichtigkeit von 1·75 m. konstatiert. Es muss noch erwähnt werden, dass das Wasser in beiden Fällen selbst in der immer bewegten Enge Tihany-Szántód sehr ruhig war, da sich unter der Temperatur des Grundes und der Oberfläche ein wesentlicher Unterschied zeigte.

Leider ist es nicht rathsam, wenn der See grösstentheils eingefroren ist, den offenen Stellen sich zu nähern, auch ist zu dieser Zeit kein Kahn vorhanden, um die Durchsichtigkeit des Wassers auch an dieser Stelle messen zu können. Ein besonderes Ergebniss liesse sich aber auch hieraus nicht erwarten, es würde sich bloss der Unterschied in der Beleuchtung (infolge Fehlens der Eisdecke) fühlbar machen.

Im Allgemeinen kann die Durchsichtigkeit des Wassers in einem in das Eis gehauenen Loch mit 1·5—2 m. angesetzt werden.

\* \* \*

Die Daten bezüglich der Transparenz des Balatonwassers können mit jenen anderer Seen kaum verglichen werden, da kaum noch ein dem Balaton ähnlicher seichter, grosser See vorhanden ist. Unter jenen Seen, auf welchen derartige Messungen vorgenommen wurden, sind ihm die von DELEBEQUE beschriebenen<sup>1</sup> Seen der Landes in Frankreich am ähnlichsten; ferner die Seen Preussens, über welche HALBFASS<sup>2</sup> eine eingehendere Studie veröffentlicht hat.

DELEBEQUE hat die Durchsichtigkeit der Seen der Landes im Dezember 1895 gemessen, also aller Wahrscheinlichkeit nach zu einer Zeit, in welcher die Durchsichtigkeit gross ist. Die gewonnenen Resultate sind folgende:

Name des Sees	Flächeninhalt	Grösste Tiefe	Farbe nach der FOREL'schen Skala	Durchsichtigkeit
Lac de Cazaux . . . . .	5608 ha. 30	22·3 m.	VI.	6·0 m.
Lac d'Aureilhan . . . . .	414 » 19	6·0 »	VII.	2·7 »
Lac de Parentis . . . . .	3502 » 45	20·5 »	VII—VIII.	5·5 »
Lac de Lacanau . . . . .	1767 » —	6·9 »	IX—X.	1·5 »
Lac de Garros . . . . .	24 » —	2·0 »	X.	1·6 »
Lac d'Irieu . . . . .	43 » —	3·5—4 »	X.	1·6 »
Lac d'Hourtin . . . . .	5923 » —	9·7 »	X—XI.	0·7 »

Wie es scheint, ist dem Balaton der letztgenannte See der Lac d'Hourtin, oder Étang de Carcans, am meisten ähnlich, der sich unmittelbar südlich von der Girondemündung ganz am Meeresstrande ausbreitet. Seine Länge beträgt zwar nur 17 Km., sein Flächeninhalt 59·2 Km<sup>2</sup>, was bloss ein Elftel des Balatonsees ist, doch kommt die Ausdehnung innerhalb solcher Dimensionen in dieser Hin-

<sup>1</sup> Les lacs français. Paris, 1898.

<sup>2</sup> Beiträge zur Kenntniss der pommerschen Seen; Peterm. Ergänzungsheft Nr. 136.

sicht nicht mehr in Betracht. Ein wichtigerer Unterschied besteht darin, dass die mittlere Tiefe des Sees etwas grösser zu sein scheint, als die des Balaton, da auf der schönen Karte Taf. XIX. der DELEBEQUE'schen Arbeit 210 Millionen m<sup>3</sup> als Rauminhalt des Sees angegeben werden, woraus sich eine mittlere Tiefe von 3·6 m. ergibt, während dieselbe beim Balaton bloss 3·0 m. beträgt. Diese nur einige Dezimeter betragende Differenz aber kann bereits von wichtigem Einfluss auf die Durchsichtigkeit des Sees sein. Trotzdem ist die Ähnlichkeit so gross, dass es nicht Wunder nehmen kann, dass auch das Mass der Durchsichtigkeit jenem des Balatonsees ähnlich ist. Es ist bedauernswert, dass bloss diese einzige Beobachtung zur Verfügung steht.

Die Tiefe der übrigen Seen ist bedeutend grösser und dementsprechend auch die Durchsichtigkeit, ausgenommen die Garros- und Irieux-Seen, deren Transparenz thatsächlich von zufälligen Umständen abhängen kann.

Interessant ist auch ein Vergleich der auf die pommerschen Seen bezüglichen bedeutend zahlreicheren Beobachtungen. HALBFASS liefert für die Transparenz von 81 Seen Daten, u. zw. vom Dratsig, Madü, Calenzig und Streitzig ganze Serien, von den übrigen je eine Beobachtung. Die Beobachtungserien beweisen, dass die Durchsichtigkeit dieser kleinen Seen grossen Schwankungen unterworfen ist (Dratzig: 2·0—6·0 m., Madü: 2·0—9·5 m., Calenzig: 4·5—9·1 m., Streitzig: 1·3—4·5 m.), weshalb je eine Aufzeichnung einen nur sehr geringen Wert besitzt. In gewisser Hinsicht können aber diese Daten in Form von arithmetischen Mitteln vereinigt und sodann aus denselben allgemeinere Schlüsse abgeleitet werden. In den Tabellen (pag. 83—88.) finden wir auch die Windstärke während der Beobachtungen verzeichnet, aber bloss mit allgemeinen Angaben. Wir wollen auf Grund derselben die resultierten Durchsichtigkeitsgrade gruppieren und ihr arithmetisches Mittel nehmen.

See	Windstille		Schwacher Wind		Mässiger Wind		Ziemlicher Wind		Starker Wind		Sturm	
	Daten-zahl	Durch-sich-tigkeit	Daten-zahl	Durch-sich-tigkeit	Daten-Zahl	Durch-sich-tigkeit	Daten-Zahl	Durch-sich-tigkeit	Daten-zahl	Durch-sich-tigkeit	Daten-zahl	Durch-sich-tigkeit
Dratsigsee . .	12	4·82	5	3·92	6	3·81	4	3·52	2	3·0	—	—
Madüsee . . .	12	4·82	3	6·03	14	6·28	5	7·4	—	—	—	—
Calenzigsee . .	5	7·82	—	—	—	—	8	6·23	—	—	2	4·75
Streitzigsee . .	23	1·76	1	2·20	7	2·9	1	1·15	—	—	—	—
Die übrigen Seen zum arith- metischen Mittel vereinigt	59	2·33	36·0	2·90	13	2·94	31	3·27	11	3·05	—	—

Überdies sind vom Madüsee Beobachtungen vorhanden, bei welchen in der Wetterrubrik verzeichnet ist: «Windstille, Tags vorher bewegt». Es sind 23 solche Daten vorhanden und die Durchsichtigkeit an diesen Tagen: 6·1.

Wenn wir nun die am Dratsig-, Madü- etc. See erhaltenen Mittel als je eine Angabe betrachten und dieselbe mit den Daten der übrigen Seen vereinigen, wobei

wir das Gewicht einer jeden gleich der Zahl der Einzelwerthe annehmen, aus denen dieselbe gebildet wurde, so gelangen wir zur folgenden Zahlenreihe:

Wind:	0	schwacher	mässiger	ziemlicher	starker o. Sturm
Durchsichtigkeit:	2·44	2·99	3·21	3·70	3·17

Diese Daten sind von ziemlicher Bedeutung. Die Messungen waren in den zahlreichen kleinen Seen bei sehr verschiedenem Wetter, bei verschiedenen Tiefen angestellt, so dass die so erhaltenen Daten einen gewissen «zufälligen» Charakter besitzen, welcher das arithmetische Mittel gerechtfertigt erscheinen lässt. Aus den sich ergebenden Mittelwerthen können also mit einer gewissen Sicherheit Schlüsse abgeleitet werden. Es geht aus denselben hervor, dass die Durchsichtigkeit bei zunehmendem Winde bis zu einem gewissen Grade gleichfalls zunimmt; sobald aber der Wind zu heftig wird, nimmt dieselbe wieder ab. Die Erklärung hiefür liegt wahrscheinlich darin, dass bei lebhafterem Wellenschlag die durch das Plankton verursachte Trübung verschwindet, während ein stärkerer Wind in den nicht tiefen Seen den Schlamm aufrührt, wodurch die Durchsichtigkeit natürlich stark herabgemindert wird. Man kann aber auch an ein Vermengen der Schichten verschiedener Temperatur durch den mässigen Wind denken, wobei die Konvektions Strömungen aufhören (SPRING).

Wie sich auch die Sache verhalten mag, so sehen wir, dass der Wind auf die Durchsichtigkeit der seichten Seen unzweifelhaft einen Einfluss hat, doch ist der Zusammenhang bei weitem nicht so einfach, wie man im ersten Augenblick zu denken geneigt wäre.

Leider hat der Verfasser die Farben der Seen mit der FOREL'schen Skala nicht verglichen; wäre dies der Fall gewesen, so könnte aus den Farben einigermaßen auf die Ursache der Trübung geschlossen werden.

In den Ozeanen und grossen Alpenseen wurden Versuche behufs Feststellung dessen, wie tief das Licht überhaupt in das Wasser des Sees einzudringen vermag, angestellt. Zu diesem Zwecke wurden lichtempfindliche Platten in das Wasser bis zu verschiedenen Tiefen hinabgelassen und aus der Schwärzung derselben das Vorhandensein oder Fehlen des Lichtes konstatiert. Im Balatonsee haben derartige Untersuchungen keinen Zweck, da das Licht unzweifelhaft überall bis an den Seegrund dringt.

## II. KAPITEL.

### DIE EIGENFARBE DES BALATONSEEWASSERS.

Wie bereits erwähnt, zeigt das Wasser des Balatonsees in einem Glasgefäße sehr verschiedene Farben. Manchmal ist es ganz rein und zeigt kaum eine Verunreinigung. Ein anderesmal wieder — u. zw. in der Regel — ist es trüb und macht den Eindruck, als ob ihm einige Tropfen Milch beigemischt wären. Nach kurzer Zeit setzen sich aber der Schlamm und die Thontheile zu Boden und das Wasser wird ganz klar.

Viel besser kann die Farbe des Wassers im Becken selbst untersucht werden. Wenn wir das reflektirte Licht dadurch ausschliessen, dass wir uns ganz nahe zur Oberfläche hinabbeugen und so in die Tiefe blicken, sehen wir die wirkliche Farbe des Wassers.

Ob wir dieselbe Farbe sehen würden, wenn wir das Wasser in ein dunkelwandiges Rohr giessen und durch dasselbe, wie mit einem Fernrohre gegen den klaren Himmel blicken würden, ist nicht wahrscheinlich. Während wir bei dem Hinabblicken in das Wasser jenes Licht sehen, welches durch die im Wasser suspendierten festen Theilchen reflektirt zerstreut wurde, gelangt durch das im Rohr befindliche Wasser hauptsächlich jenes Licht in unser Auge, welches von der Flüssigkeit durchgelassen wird, obzwar auch in diesem Falle eine ziemliche Menge zerstreuten Lichtes sichtbar ist. Die beiden Lichtarten werden einander jedenfalls ähnlich, aber kaum gleich sein. Wir können uns nicht in jene interessante Debatte einlassen, die sich mit der Erklärung der grünen Farbe der Gewässer des Festlandes und des Meeresgestades befasst, da dies eine rein physikalische Frage ist. Die im Balaton angestellten Untersuchungen scheinen aber dafür zu sprechen, dass die grüne Farbe des Seewassers eher den organischen Säuren, als den konzentrirten Salzlösungen zuzuschreiben sei.

Die Farbe des Balatonseewassers erschien von oben aus betrachtet sehr verschieden. Sie schwankte zwischen den Farben VI und XI der FOREL'schen Skala<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> FOREL hat zur Untersuchung der Farbe der Seen Flüssigkeiten von verschiedener Farbe hergestellt u. zw. zuerst eine blaue Lösung:

Kupfersulphat . . . . .	1 Theil
Ammoniak . . . . .	5 »
Destillirtes Wasser . . . . .	194 »
Zusammen . . . . .	200 Theile



und stand in der Regel der VIII. Farbe am nächsten. Im Wechsel der Farben gelang es keinerlei Gesetzmässigkeit zu konstatiren, höchstens die, dass nach anhaltend klarem, ruhigen und warmen Wetter, wie es in der Umgebung des Balaton im September zu herrschen pflegt, die Farbe des Wassers meistens zwischen den Farben IX—XI, liegt, während sie, wenn das Wasser durch lebhaften Wellenschlag, Strömungen, Schwanken des Wasserstandes bewegt ist, meistens zwischen den Farben VI—IX schwankt. Dieses einzige Resultat spricht abermals für FOREL's Theorie, wonach die in Lösung befindlichen organischen Stoffe die ursprüngliche blaue Farbe des Wassers in eine grüne verwandeln.

Sodann eine gelbe Flüssigkeit:

Neutr. chromsaures Kali . . .	1	Theil
Destillirtes Wasser . . .	199	»
Zusammen . . .	200	Theile

Es wurden sodann verschiedene Quantitäten dieser Lösungen gemengt, wodurch die folgende Skala resultirte:

Farbe	Gelbe Lösung	Blaue Lösung	Wellenlänge in Millionstelmm.
I.	0	100	479
II.	2	98	486
III.	5	95	495
IV.	9	91	504
V.	14	86	514
VI.	20	80	527
VII.	27	73	—
VIII.	35	65	—
IX.	44	56	—
X.	54	46	—
XI.	65	35	—

Wie bekannt ist die Herstellung der Farben der FOREL'schen Skala sehr einfach, die Flüssigkeiten ziemlich beständig und — was die Hauptsache — es sind reine, einfache Farben ohne jede wesentlichere Nebenuance.

Unzweifelhaft ist die Farbe des See- und Flusswassers in den seltensten Fällen diesen Farben vollkommen ähnlich. Dies ist aber auch gar nicht nothwendig. Bei einiger Übung kann man alsbald sehr leicht jenen Grad finden, welchem das Seewasser am nächsten steht und sollte es von demselben abweichen, so lässt sich dies mit Leichtigkeit umschreiben.

Gegen die Benützung dieser Farbenskala wurden von mehreren Seiten Einwendungen erhoben und andere Methoden empfohlen. So wurde die Zahl der Farben durch die Hinzunahme anderer färbiger Lösungen erhöht oder aber anstatt Lösungen andere Stoffe zum Vergleiche verwendet Namentlich ist J. Ritter LORENZ v. LIBURNAU mit dieser Farbenskala unzufrieden (l. c.) der die RADDE'sche internationale Farbenskala empfiehlt, in welcher 882 Nuancen enthalten sind! Noch empfehlenswerther findet er, die Farbe der Seewässer mit jenen der Mineralien, namentlich der Edelsteine zu vergleichen. (Saphyr, Smaragd, Nefrit etc.) — Andere wieder waren nur bemüht, die FOREL'sche Farbenskala zu erweitern (ULE), was in gewisser Hinsicht auch nothwendig war.

Wir halten aber die weiteren Kombinationen der Farben der FOREL'schen Skala nicht für richtig. So viel Farben wir auch für normale Lösungen herstellen mögen, werden wir die Farbe des Sees doch nie vollkommen treffen. Wenn Jemand eine absolute Genauigkeit anstrebt, so steht ihm die einzige ganz einwandfreie Methode zur Verfügung: die Spektralanalyse, mittels welcher die scheinbare Farbe des Seewassers jederzeit bis in die feinsten Details charakterisirt werden kann. Diese Methode wurde von O. Freiherrn von und zu AUFSSESS angewendet; sein diesbezüglicher Bericht ist jedoch erst nach Fertigstellung vorliegender Arbeit erschienen und es konnten deshalb seine Resultate nicht mehr berücksichtigt werden. Obzwar eine derartige Untersuchung umständlich und mühsam ist, stellt sie sich doch billiger, als die Anschaffung von schönen, reinen und genügend

Ein helles Licht wird auf diese Frage durch Heranziehung der bei der Erforschung der s. g. «schwarzen Flüsse»<sup>1</sup> Südamerikas erreichten Resultate geworfen. Einige der südamerikanischen Flüsse sind weiss, wie z. B. die Donau vor Budapest, andere bräunlich, ausserordentlich rein, erscheinen aber theils ihrer Reinheit, theils ihren hellen Kaffeefarbe wegen sehr dunkel, oft ganz schwarz. Solche Flüsse kommen aus von Urgesteinen (Granit, krystall. Schiefer) gebildeten Gebieten, wo viel Alkalien als mineralische Lösungen in das Wasser gelangen; dieselben fliessen jedoch über Strecken, wo grosse Mengen vermodernder Pflanzen ihr Wassersammelgebiet bedecken. Hier gelangt viel Humussäure in den Fluss, die mit den Alkalien leichtlösliche, braune Verbindungen bildet. Wenn ein solches Wasser auf kalkigen Boden gelangt, tritt der Kalk an die Stelle der Alkalien und bindet die organischen Säuren in Form schwerlöslicher Salze, die sich im Wasser niederschlagen. Dasselbe geschieht auch mit vorhandenem Magnesium. Hier verliert also das durchsichtige bräunliche Wasser seine schöne volle Farbe, gleichzeitig aber auch seine Durchsichtigkeit und wir sehen den gewöhnlichen grauen oder weissen Fluss vor uns.

In den Balaton münden, namentlich aus den Lagunen des Südufers mehrere Gräben, die unter regelmässigen Umständen ein sehr reines, klares, braunes Wasser, s. g. «Berek-(Lagunen-)Wasser» führen; dieselben sind im Kleinen das, was die schwarzen Flüsse Amerikas im Grossen. Selbst darin stimmen sie mit diesen überein, dass der Grund der regelmässig Lagunenwasser führenden Gräben weiss

grossen Edelsteinen. Denn dass durch Vergleichen des Wassers mit diesen Mineralien rein «nach dem Gedächtniss» bessere Resultate erzielt werden könnten, als mit der FOREL'schen Skala wird auch J. Ritter LORENZ v. LIBURNAU nicht behaupten wollen. Wie erwähnt, kann es im vorhinein als ausgeschlossen betrachtet werden, dass die Farbe namentlich der grünlichen Seen den FOREL'schen Farben genau gleichen würden, doch darf man nicht vergessen, dass es nie gelingen wird, so sehr wir auch diese Skala detailliren mögen, die Lösung ganz genau zu treffen. Selbst dem Maler dürfte es nur mit grosser Mühe gelingen, die Farben der Natur auf der Leinwand wiederzugeben. Ein grosser Vortheil würde für derlei Untersuchungen darin erwachsen, wenn sie sämmtlich nach ein und derselben Farbenskala durchgeführt werden würden, weil sie dann vergleichbare Daten liefern könnten. Bei den so mannigfaltigen Farben des Balaton lässt sich stets zweifellos bestimmen, welche er FOREL'schen Skala ihr am nächsten steht; man nimmt den Unterschied gerade beim Vergleiche wahr und kann immer jene störende Farbe finden, die der FOREL'schen Farbe beigemischt werden müsste, um die des Wassers zu erhalten. DELEBEQUE war im Stande, die Farbe von über 100 Seen mit der FOREL'schen Skala zu vergleichen und sollte dieselbe gerade beim Hallstatter, Vierwaldstätter und den pommerischen Seen nicht anwendbar sein?

Viel wichtiger ist die Verlängerung der Skala, wie dies von Seiten ULE's geschah. Besonders seit der Erklärung der «schwarzen Flüsse» Amerikas und überhaupt seitdem sich die Frage bezüglich der Einwirkung der organischen Säuren auf die Farbe geklärt hat, ist es thatsächlich zur Nothwendigkeit geworden, die Skala zu verlängern, um so jenseits der grünen auch die braunen Farben vergleichen zu können. Zu diesem Behufe mengte ULE der XI. Lösung der FOREL'schen Skala eine braune Kobaltlösung von der Konzentration 1:200 bei, wodurch folgende Skala resultirte:

Farbenskala	XI.	XII.	XIII.	XIV.	XV.	XVI.	XVII.	XVIII.	XIX.	XX.	XXI.
XI. FOREL'sche Lösung	100	98	95	91	86	80	73	65	56	46	35
Braune Lösung	0	2	5	9	14	20	27	35	44	54	65.

Mit Hilfe dieser Skala können die braunen und bräunlich grünen Farben annähernd ziemlich gut bestimmt werden. Dies war aber beim Balatonsee nicht nötig, doch wollte ich diese ebenfalls einfache und sehr gut anwendbare Farbenskala nicht unerwähnt lassen, damit sie bei der weiteren Erforschung der ungarischen Seen Jedermann zur Verfügung stehen möge.

<sup>1</sup> Siehe Dr. J. REINDL: Die schwarzen Flüsse Südamerikas. Münchener Geograph. Studien. XIII. Stück. München, 1903.

ist. Diese weisse Farbe des Grundes bei den schwarzen Flüssen wird von REINDL folgendermassen erklärt. Die aus den kieselsauren Gesteinen gelösten Stoffe vereinigen sich mit der Humussäure zu sehr leichtlöslichen Verbindungen und bleiben in Folge dessen in Lösung, während das kohlen saure Wasser die kieselsauren Gesteine, resp. deren zersetzbaren Mineralien immer weiter und weiter auflösen; es bleibt somit nichts Anderes zurück, als weissliche Kieselsäure. Es ist sehr wahrscheinlich, dass auch die am unteren Ufer in den Balaton mündenden, braunes Wasser führenden Gräben ihren weissen Grund derartigen Vorgängen verdanken.

Der Zala-Fluss nimmt während seines Weges durch die Moräste des Kis-Balaton gleichfalls sehr beträchtliche Mengen von Sumpfwasser auf, was an seinem Wasser bei niedrigem Wasserstand auch zu erkennen ist. Auch hat LOSVAY<sup>1</sup> vor der Zala-Mündung die grösste Quantität von Sauerstoff vertilgenden, also wahrscheinlich organischen Substanzen konstatiert. Ein ähnliches braunes Wasser enthalten die Gräben zwischen Badacsony und Ederics.

Wenn der Balaton ruhig ist, wird sein Wasser von leicht löslichen, gelblich-braunen Verbindungen gefärbt, welche in der Weise entstehen, dass sich die aus den Lagunen, namentlich aber aus dem Zala-Fluss in grossen Mengen zuströmenden organischen Stoffe mit dem reichen Alkaligehalt des Seewassers vereinigen. Das Wasser dieser Sümpfe führt besonders im September, nach der langen Sommerdürre sehr wenig Schlamm, der Zala-Fluss wird den schwarzen Flüssen ähnlich und überdies sickert das bräunliche Wasser der Lagunen mit dem Fallen des Seespiegels reichlicher herab.

Hiezu kommt noch das Plankton, welches sich zu dieser Zeit frei zu entwickeln vermag. Dieses zeigt schon in sich selbst bei grösseren Massen eine lebhaft grüne Farbe und vermehrt ausserdem die absolute Quantität der organischen Stoffe.

Vom Seegrunde kann Kalk und Magnesia in das Seewasser nicht gelangen, nachdem diese im Schlamm und Sand desselben nicht enthalten sind.

Wenn aber im See der Wellenschlag und die Strömung beginnt, gelangt das Calcium und Magnesium mit den Humussäuren in eine viel innigere Berührung; tritt gleichzeitig ein Regen ein, so schwellen die von den Hügeln und den aus Kalk und Dolomit bestehenden Bergen des nördlichen Ufers kommenden Bäche an, das Wasser des Zala-Flusses und der Lagunen wird trüb und eine grosse Menge von Kalk und Magnesia wird dem See zugeführt, welche die bräunlichen, leicht löslichen humussauren Verbindungen sofort zersetzen, in Folge dessen sich die Farbe des Sees mehr bläulich zeigt.

Das Plankton wird durch den Wind in Form mächtiger Korrenten an das Ufer geschlagen, was besonders schön zur Zeit der auf ruhiges Wetter folgenden Winde sichtbar ist.

Dies dürfte die Ursache dafür sein, dass das Wasser des Sees bei ruhigem, trockenem Wetter mehr grün ist, als bei windigem, regnerischem Wetter.

Es möge hier noch erwähnt werden, dass der seichte Kornyi-See zwischen Kóvágóörs und Köveskállya ein sehr reines, bräunliches Wasser besitzt, obwohl seinen Grund stark dolomitische Werfener Schiefer bilden. Es scheint also, dass das Magnesium des Dolomits keine so kräftige reduzierende Wirkung ausübt, wie der Kalk.

<sup>1</sup> L. c. p. 21.

Vielleicht ist dies die Ursache, dass v. LOSVAY vor der Zala-Mündung etwas weniger Calcium, aber etwas mehr Magnesium im oberflächlichen Wasser des Balaton gefunden hat, als in den von anderen Punkten des Sees stammenden Proben.

\*            \*            \*

So viel steht fest, dass das helle Wiesengrün durch die graue Farbe des bei starken Winden und Regen aufgerührten Schlammes getrübt und die Durchsichtigkeit herabgemindert wird. Wenn sich der Wellenschlag und die Strömungen wieder beruhigen und der aufgerührte Schlamm zu Boden sinkt, ist das Wasser nach heftigen Winden am schönsten und reinsten und es steht dann seine Farbe der FOREL'schen Farbe V am nächsten.<sup>1</sup>

Leider konnten dieselben Untersuchungen in den in das Eis gehauenen Löchern nicht durchgeführt werden, da das in denselben langsam schwankende Wasser beinahe ganz schwarz, manchmal sogar bräunlich-schwarz erscheint. Diese bräunliche Nuance rührt vielleicht ebenfalls von den organischen Stoffen her. Unter dem Eise weist das Wasser eine sehr geringe Bewegung auf.

Im Jahre 1900 stellten wir aber behufs Durchführung der Baron ROLAND EÖTVÖS'schen gravimetrischen Messungen Leinwandzelte mit viereckigem Grundriss und Lattenskelett auf dem Eise, u. zw. ohne Boden auf. Als wir nach dem Aufstellen des ersten derartigen gedeckten Zelttes das feine Instrument zu montiren begannen und deshalb die Thür schlossen, so dass drinnen ein Halbdunkel entstand, bewunderte ich überrascht die prächtige smaragdgrüne Farbe des Eises, welche das ganze Zelt mit einem an Phosphoreszenz erinnernden Licht erfüllte. Diese grüne Farbe des durch das Wasser hindurch, von unten beleuchteten Eises stand zwischen den FOREL'schen Farben VII und VIII und war bei trübem Wetter mehr blau, bei Sonnenschein mehr grün.

Zum Vergleiche der Farben des Balaton mit der von anderen Seen mögen hier die Farben einiger Seen stehen, wobei ich jedoch die Seen im Departement des Landes weglasse, da dieselben bereits weiter oben aufgezeichnet wurden.

Lac Crozet (Alpen) . . . . .	III
Lac de Lesponne (Pyrenäen) . . . . .	III
Lac d'Annecy . . . . .	III—IV
Léman . . . . .	IV
Bourget . . . . .	IV
Paladru (Jura) . . . . .	V
Conzieu-d'en-Bas (Jura) . . . . .	V—VI
Aiguebelette (Jura) . . . . .	VI
Neuchâtel . . . . .	VI—VII
Zug . . . . .	VI—VII
Bodensee . . . . .	VI—VII

<sup>1</sup> Diese Farbenveränderung ist zu beträchtlich, um an die den SPRING'schen Versuchen entstammende Erklärung denken zu können. SPRING hat gefunden, dass die zur Konzentration nahe stehenden Lösungen grünlich sind, wenn sich das gelöste Salz aus der Lösung auszuscheiden beginnt. Es ist kaum vorauszusetzen, dass die Konzentration gewisser Salze gerade bei ruhigem, klarem Wetter grösser wäre, als bei unruhigem Wetter. Die trübende Wirkung der im ruhigen Wasser entstehenden Konvektions-Strömungen kann bei einer so geringen Durchsichtigkeit gleichfalls vernachlässigt werden.

Vierwaldstätter See . . . . .	IV—VII
Lourdes (Pyrenäen) . . . . .	VII—VIII
Armaille (Jura) . . . . .	VIII
Longemer (Vosges) . . . . .	VIII—IX
Lac de la Corne (Alpen) . . . . .	IX
Remoray (Jura) . . . . .	IX—X
Laffrey (Alpen) . . . . .	X
Nantua (Jura) . . . . .	XI
Balaton . . . . .	VI—XI
Hallstätter See . . . . .	VII—XI

Überdies gibt es auch solche, die noch gelber sind als XI.

Der Balaton bekräftigt DELEBEQUE's Beobachtung, wonach die Farbe des Sees einem umso höheren Skalagrad entspricht und umso veränderlicher ist, je geringer seine Durchsichtigkeit. Zwischen der Transparenz und der Farbe liess sich beim Balaton, selbst auf Grund sehr zahlreicher Beobachtungen, kein Zusammenhang feststellen.

Es ist aber unzweifelhaft, dass eine ganze Reihe von Forschern, die an verschiedenen Punkten des Sees, zu verschiedenen Tageszeiten, Jahre hindurch Tag für Tag mit grosser Sorgfalt Beobachtungen anstellen würden, die strengen Gesetze des Zusammenhanges zwischen der Durchsichtigkeit und Farbe des Sees, des Wetters, der Lage und sonstiger Faktoren ermitteln könnten. Doch fragt es sich, ob diesen mit vieler Mühe und Kostenaufwand gesammelten Erfahrungsergebnissen bei dem jetzigen Stand unseres Wissens eine grosse Bedeutung beigemessen werden könnte.

Während die vorliegende Schrift unter Druck gelegen, erschien O. Freih. v. AUFSSESS' bedeutende Abhandlung über die Farben der Seen.<sup>1</sup> Er analysirt die Farben der Seen mittels des Spektroskops und unterscheidet vier Gruppen: 1. Die blaue Farbe wird von dem Seewasser nicht absorbiert (blaue Seen, z. B. Achensee). 2. Die blaue Farbe wird von dem Seewasser einigermassen absorbiert (grüne Seen, z. B. Walchensee). 3. Die blaue Farbe wird von dem Seewasser sehr stark absorbiert (gelblichgrüne Seen, z. B. Kochelsee). 4. Die blaue Farbe wird von dem Seewasser vollständig absorbiert (braune Seen, z. B. Staffelsee). v. AUFSSESS glaubt nicht, dass zwischen Farbe und Durchsichtigkeit der Seen ein Zusammenhang bestehe; diese seine Ansicht wird aber sogar durch den Balatonsee widerlegt.

<sup>1</sup> O. Freih. v. AUFSSESS: Die Farbe der Seen. München, 1903.

### III. KAPITEL.

## DIE REFLEXION AN DER OBERFLÄCHE DES BALATONSEES.

Eine der komplizirtesten Erscheinungen ist das Licht- und Farbenspiel, welches die Seeoberfläche von weitem betrachtet zeigt. Es spielen hier so vielerlei Wirkungen mit, dass die Analysirung nur bei grösster Vor- und Umsicht gelingen wird. Der grösste Theil der Wirkungen und Veränderungen ist zwar von allgemeiner Giltigkeit d. i. für jeden See, manche sogar für jeden Wasserspiegel gleich massgebend; doch werden wir auf Faktoren stossen, die speziell auf einzelnen Seen zur Geltung kommen und wir werden hauptsächlich jene berücksichtigen, welche für das Licht- und Farbenspiel des Balaton charakteristisch sind.

Der erste Schritt der Analyse möge darin bestehen, dass wir eine vollkommen durchsichtige Wassermasse mit vollkommen ebener (und nicht geoidförmiger) Oberfläche und von unendlicher Tiefe annehmen, an deren Ufer in einigen Meter Höhe

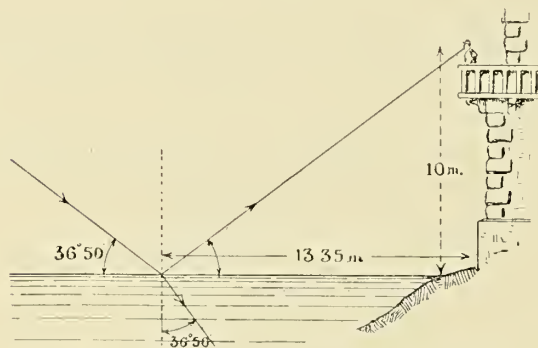


Fig. 3. Der Weg der am stärksten polarisirt reflektirten Lichtstrahlen.

der Beobachter steht und gegen den See blickt, in dessen Hintergrund Objekte von verschiedenem Lichte vorhanden sein können. Die Farbe dieser Objekte wollen wir vorläufig ausser acht lassen, obzwar theoretisch auch die Farben auf die Beschaffenheit des Spiegelbildes einigen Einfluss haben.

In diesem Falle wird jeder Lichtstrahl, der unter sehr kleinem Einfallswinkel ( $\alpha$ ), also sehr flach an die Wasseroberfläche gelangt und von derselben in unser Auge reflektirt wird,

kaum etwas von seiner ursprünglichen Intensität verlieren, da nur ein geringer Theil des Lichtes gebrochen in das Innere des Wassers eindringt. Je kleiner der Einfallswinkel ( $\alpha$ ) ist, je steiler also die Lichtstrahlen die Wasseroberfläche treffen, um von derselben reflektirt in unser Auge zu gelangen, mit umso grösserem Lichtverlust erfolgt die Reflexion.

Dies ist eine der Ursachen, warum an Sommertagen das Auge von dem Spiegelbild der Sonne um die Mittagszeit nicht so geblendet wird, wie Nachmittags, da die

Strahlen der tiefer stehenden Sonne mit geringem Lichtverlust reflektirt werden. Am meisten blendet das Spiegelbild der Sonne Morgens zwischen 7—8 und Nachmittags zwischen 4—5 Uhr, nachdem — obwohl die Spiegelung vor 7 Uhr Morgens oder nach 5 Uhr Nachmittags noch vollkommener wird — die Intensität der Sonnenstrahlen nach diesem Zeitpunkt rapid abnimmt.

Wenn sich hinter dem vollkommen ruhigen Wasserspiegel ein Hintergrund von gleichmässigem Lichte, z. B. ein mit gleichmässigem Wolkenschleier bedeckter Himmel befindet, ist dessen Spiegelbild in grosser Entfernung, nahe zum Horizont, beinahe gerade so intensiv, wie das Firmament selbst; je mehr es sich aber dem Beobachter nähert, umso dunkler wird das Bild und ganz zu unseren Füssen erscheint es in einem ziemlich tiefen dunklen Ton, obzwar das Wasser selbst von den ganz vertikal einfallenden Lichtstrahlen etwas zu reflektiren im Stande ist.

In Folge der Reflexion erleidet das Licht nicht nur in der Quantität, sondern auch in der Qualität eine Veränderung. Das von durchsichtigen Spiegeln reflektirte Licht erleidet nämlich eine Polarisation, deren Ebene von den einfallenden und austretenden Lichtstrahlen bestimmt wird. Die Polarisation ist bei den nahe zum Horizont befindlichen Punkten des Himmels gering, da der Strahl flach an die Oberfläche gelangt; je höher die lichten Punkte liegen, umso stärker ist die Polarisation.

Am vollkommensten ist dieselbe, wenn die von der Spiegelfläche reflektirten und die in das spiegelnde Medium gebrochen eindringenden Lichtstrahlen zu einander senkrecht stehen. Der Durchschnittswerth des Brechungsexponenten des Wassers ist

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 1.335$$

Nach dem BREWSTER'schen Gesetz wird also derjenige, um  $\gamma$  geneigte Lichtstrahl am vollkommensten polarisirt bei der Reflexion, bei welchem

$$\text{tang } \gamma = \frac{1}{n}$$

und somit bei dem Wasser:  $\gamma = 36^{\circ} 50'$

wird, zwar nur beiläufig, da doch die Brechung der verschiedenen Lichtstrahlen auf jeder brechenden Oberfläche eine andere und also auch der Winkel der stärksten Polarisation ein verschiedener ist.

Wenn wir also z. B. 10 m. über dem Seespiegel, etwa auf dem Erker eines Aussichtsturmes stehen, dann befinden sich jene Punkte, von welchen das Himmelslicht am stärksten polarisirtreflektirt wird, auf jenem Kreisumfange, welcher vom Fusspunkt unseres Beobachtungspostens mit einem Radius von 13.35 m. Länge gezogen werden kann. Diese Punkte reflektiren jene Stellen des Himmels, welche in einer Höhe von  $36^{\circ} 50'$  oder rund  $37^{\circ}$  über dem Horizont erscheinen (Fig. 3.).

Im Falle der oben angedeuteten Beschränkungen spiegeln sich die Objekte des Hintergrundes also vollständig, doch wird das Spiegelbild umso dunkler, je näher die spiegelnden Punkte zum Beobachter liegen. Ausserdem sind die Strahlen des Spiegelbildes umso stärker polarisirt, je grösser der Spiegel

lungswinkel ist, u. zw. bis zu einem Winkel von  $37^\circ$ , jenseits dessen die Polarisation zwar abnimmt, das Bild aber noch dunkler wird.

Das Bild des Punktes bleibt also ein Punkt, das der Geraden gleichfalls eine Gerade, das der Scheibe eine vollkommene Scheibe etc.

Der erste modifizierende Umstand, den wir nun in Betracht ziehen und dessen sämtliche Wirkungen erörternd, uns auf denselben nicht mehr berufen werden, ist die geoidische oder annähernde Kugelform des Wasserspiegels.

DUFOUR hat erwiesen, dass die Spiegelbilder in Folge der Kugelform der ruhigen Seeoberfläche verkürzt,<sup>1</sup> ja so sehr zusammengedrängt erscheinen, dass das Bild kaum erkennbar ist. Die Verkürzung des Bildes wächst mit der Entfernung des Objektes; das Bild der jenseits des scheinbaren Horizonts gelegenen Objekte schrumpft sogar auf Null zusammen. Die Verflachung der Bilder von

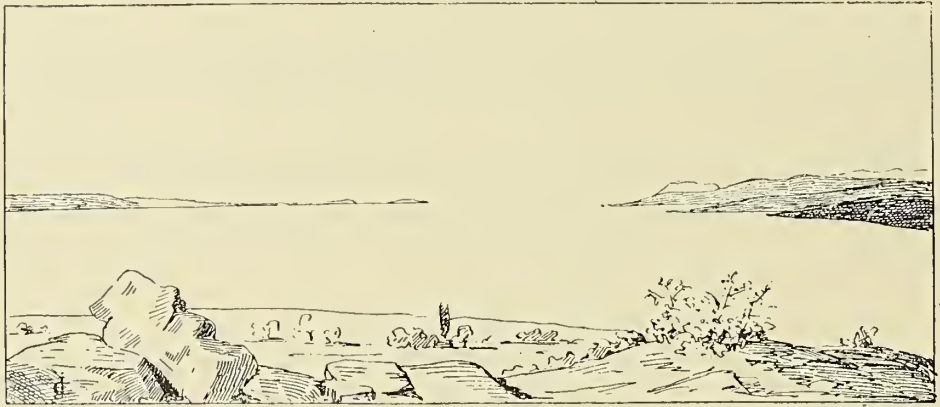


Fig. 4. Ausblick von den westlichen Hügeln von Tihany gegen Keszthely.

näher befindlichen Gegenständen ist aber verhältnissmässig so gering, dass es — da nur mit den genauesten Messapparaten nachweisbar — ausser acht gelassen werden kann. Durch die Krümmung des Wasserspiegels wird also die Breite der am stärksten reflektirten, entfernten Zone herabgemindert, während ihre Wirkung dort, wo sich in Folge der grösseren Reflexionswinkel ein grösserer Lichtverlust einstellt, unwesentlich ist. So interessant dieses Studium auch z. B. in jener Beziehung sein mag, dass es nicht nur einen Beweis für die Kugelform der Erde, sondern auch eine Methode zur Bestimmung ihrer Dimensionen liefert, — so unwesentlich ist es unter den Faktoren des Licht- und Farbenspiels des Sees.

In einem einzigen Falle kommt es als ein charakteristischer Zug der Seelandschaften zur Geltung; wenn nämlich das jenseitige Ufer so weit entfernt liegt, dass es in Folge der Krümmung nicht mehr sichtbar ist. Blicken wir z. B. vom Landungsplatz bei Keszthely gegen Osten, so erscheint uns ein an die Meereslandschaften erinnernder Wasserhorizont. Denselben Anblick geniessen wir auch von den westlichen Bergen in Tihany gegen Westen ausblickend. Das Ufer von

<sup>1</sup> CH DUFOUR: De l'altération des images par réflexion sur la surface des eaux; Bull. de la Soc. vaud. des Sciences naturelles XIII pag. 73.



Keszthely ist so niedrig, dass es selbst von 50—60 m. hohen Hügeln nicht mehr sichtbar ist (Fig. 4). Von der Oberfläche des Sees betrachtet sind die sandigen Uferränder der Lagunen manchmal sichtbar, verschwinden aber wieder ein andermal, woran jedoch auch die Luftspiegelung einen grossen Antheil hat. Es kommt häufig vor, dass von Balatonfüred aus die Ufer von Siófok selbst bei klarem Wetter nicht als ununterbrochene Linie erscheinen und bloss höhere Pappeln die verwaschene Linie des Horizonts bezeichnen.

Bei den Alpenseen ist ein derartiger Anblick in Folge der hohen Ufer völlig unbekannt, umso mehr, da bei diesen eine solche Länge, wie die des Balaton nicht vorkommt.

Der zweite Faktor, den wir untersuchen müssen und der viel wichtiger ist, als der vorhergehende, besteht in der geringen Durchsichtigkeit des Seewassers.

Die Oberfläche eines vollkommen reinen und bodenlos tiefen Sees wird ganz schwarz erscheinen, wenn sich hinter demselben ein völlig schwarzer Hintergrund erhebt. Ein derartiges Gewässer existirt aber nicht und gerade unser Balaton steht einem solchen recht fern. Wie sich im Wasser ein noch so feines, suspendirtes oder färbendes Material befindet, verhält sich die Sache sogleich anders. Umsonst erhebt sich im Hintergrund eines solchen Seespiegels eine vollkommen schwarze Felsenwand, der See erscheint nicht schwarz, sondern besitzt eine von den Umständen abhängige Helligkeit.

Der in das Wasser eindringende Lichtstrahl beleuchtet die suspendirten Stoffe, zerstreut sich an deren Oberfläche und gelangt als zerstreutes Licht — abermals gebrochen — in die Luft zurück. Den das Wasser färbenden Stoffen und den Körnern des suspendirten Schlammes entsprechend bleibt dieses Licht auch nicht weiss, sondern wird speziell am Balaton grünlich. Dies erwähne ich vorläufig aus dem Grunde, da sich dieses Licht durch seine grünliche Farbe von den an der Seefläche reflektirten andersfärbigen Lichtern unterscheidet.

Unter den Lichtstrahlen, welche von den Körnchen nach jeder Richtung hin reflektirt werden, gelangen jene, die von der vertikalen Richtung um keinen grösseren, als  $48^{\circ} 30'$  betragenden Winkel abweichen, vom Wasser in die Luft. Die stärker geneigten Strahlen aber werden an der Wasseroberfläche reflektirt und kehren in das Innere des Wassers zurück.

Der vertikal aufwärts gerichtete Strahl gelangt mit einem nur geringen Lichtverlust in die Luft; bei zunehmender Neigung der Strahlen wird aber der Lichtverlust immer grösser, bis zur totalen Reflexion.

Von den Strahlen, welche aus der Nähe des Beobachters von Körnern in der Tiefe von 1—2 m. herrühren, gelangen meistens nur solche in das Auge, welche nahezu senkrecht ausfahren und somit auch bei dem Durchsetzen des Wasserspiegels eine nur unbedeutende Schwächung erleiden. Von entfernten Stellen gelangen aber nur solche Lichtstrahlen in das Auge, die mit einer, dem Grenzwinkel nahen Neigung von der Oberfläche des Körnchens ausgingen. Die kleine und grosse Entfernung ist nun nach der Höhe des Beobachtungspunktes zu beurtheilen. So geht z. B. in Fig. 5 vom Punkte I aus betrachtet, von der Oberfläche des Körnchens *A* ein so schiefer Lichtstrahl aus, als von dem bedeutend entfernten Körnchen *B*, jedoch vom Punkte II aus betrachtet.

Wenn von tiefer suspendirten Körnchen ein zerstreuter Lichtstrahl in die Luft gelangen kann, so vermag der nur wenig geschwächte Strahl auch aus bedeu-

tend entfernteren Punkten unser Auge zu erreichen. Während z. B. vom Körnchen *C* nur mehr sehr stark gebrochene, also auch stark geschwächte Strahlen in das Auge des I. Beobachters gelangen können, kann vom Körnchen *D* ein eben so stark geneigter Strahl, wie vom Körnchen *A* dasselbe erreichen.

Hieraus folgt demnach:

1. Von den weit entfernten Stellen des Sees gelangt überwiegend an der Oberfläche reflektirtes Licht in unser Auge, während wir von dem im Wasser zerstreuten Licht nur wenig wahrnehmen.

2. In der unmittelbaren Nähe des Beobachters sehen wir vorwiegend dieses zerstreute Licht, während weniger reflektirtes Licht vorhanden ist.

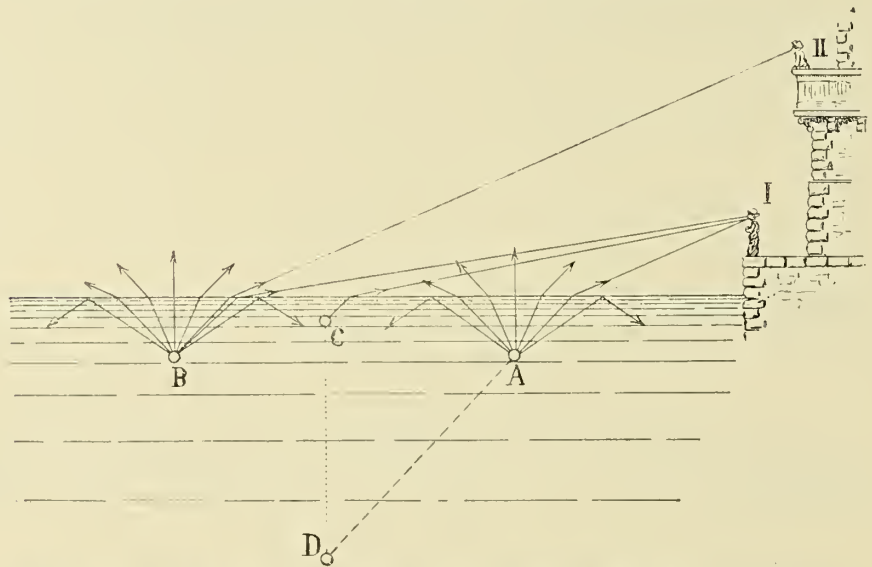


Fig. 5. Die Wege der von den suspendirten Stoffen reflektirten Lichtstrahlen.

3. Bei Seen von grosser Transparenz, bei welchen auch von den in ihrem Wasser tief suspendirten Körnchen Lichtstrahlen in unser Auge zu gelangen im Stande sind, können wir auch von grösseren Entfernungen ein ziemlich starkes zerstreutes Licht sehen.

4. Von der verhältnissmässig geringen, 10—20 m. betragenden Höhe des Beobachtungspunktes betrachtet, ist jener Kreis, innerhalb dessen zerstreutes Licht vorherrscht, klein, während derselbe bei einer Höhe von 100—200 m. beträchtlich zunimmt.

Unser Balaton gehört zu den Seen mit geringer Transparenz und somit kommt das zerstreute Licht seines Wassers innerhalb eines kleineren Kreises zur Geltung, als bei den bedeutend durchsichtigeren Alpenseen. Hingegen ist das aus sehr durchsichtigen Gewässern in die Luft gelangende zerstreute Licht viel schwächer, als bei den wenig durchsichtigen Seen. Hiedurch wird aber die Grenze des Überwiegens nur in geringem Masse erweitert.

In Bezug auf die Beschaffenheit des Lichtes erübrigt noch zu bemerken, dass dieses zerstreute Licht gleichfalls polarisirt ist, jedoch in einer anderen Ebene, als das reflektirte Licht. Während nämlich das reflektirte Licht in der Einfall-

ebene polarisirt ist, erscheint das in das Wasser gebrochen eingedrungene Licht senkrecht zur Einfallsebene polarisirt. Wie immer dieses Licht auch zerstreut werden mag, den Sinn seiner Polarisation verändert es nicht mehr und besitzt, falls es wieder in die Luft gelangt, abermals eine zu der des reflektirten Lichtes senkrechte Polarisation.

Was geschieht nun, wenn wir jenen Punkt des ruhigen Seespiegels mittels einns Nikols beobachten, an welchem das reflektirte und dispergirte Licht eine beläufig gleiche Intensität zeigt? Ist der Himmel klar, so erscheint das reflektirte Licht blau, hingegen das im Wasser zerstreute Licht am Balaton grün. Mit freiem Auge betrachtet, zeigt sich hier also das Wasser des Sees bläulichgrün. Stellen wir den Nikol in der Weise, dass sich der Hauptschnitt des doppelbrechenden Krystals in vertikaler Lage befindet, so lässt der Nikol das reflektirte Licht hindurch löscht jedoch das im Wasser zerstreute Licht zum grössten Theil aus (nicht vollständig, da doch keine Strahlenart vollkommen polarisirt wird).

Wenn wir nunmehr den Nikol in eine, zur früheren senkrechte Stellung bringen, so löscht derselbe das reflektirte Licht aus (wieder nur theilweise) und lässt das im Wasser zerstreute Licht hindurch.

Im ersteren Falle erscheint das Wasser des Sees mehr blau, im zweiten mehr grün, als mit freiem Auge betrachtet.

All dies wurde durch unzählige Beobachtungen während unserer beiläufig 10 Jahre hindurch fortgesetzten Forschungen bekräftigt. Ja ich gelangte früher zu der beschriebenen Erfahrung, als zu deren theoretischen Erklärung.<sup>1</sup>

Der dritte Faktor, welcher auf die Entstehung der Lichterscheinungen Einfluss besitzt, ist das Licht und die Farbe des Hintergrundes, den wir an der Wasseroberfläche sich spiegeln sehen. Von den irdischen Objekten sind es die dunklen Berge, hellen Häuser, die verschiedenfarbigen Felder etc., die sich am häufigsten wieder spiegeln. Nachts überdies die Lampen, Hirtenfeuer etc. Über die Spiegelbilder derselben haben wir kaum etwas zu berichten, so lange die Seeoberfläche spiegelglatt ist.

Eine viel bedeutendere Rolle spielt am Balaton der Zustand und das Licht des Himmels, was wir eingehender untersuchen müssen. Nachdem wir aber bei der eingehenden Besprechung des Farbenspiels, welches der See zeigt, die Wirkung der besonders auffallenden Farben an konkreten Beispielen sowieso analysiren werden, genügt es hier, nur die hauptsächlichsten Erscheinungen zu erwähnen.

Das Spiegelbild der Bewölkung muss gerade so berücksichtigt werden, wie das der irdischen Objekte. Im Bilde des klaren, blauen Himmels gibt es aber etwas, was auf das Farbenspiel einen grossen Einfluss ausübt. Seit der Entdeckung ARAGO'S ist es bekannt, dass das Licht des klaren blauen Himmels kein natürliches, sondern ein polarisirtes ist. Die Erscheinung erweist sich nach den neueren Erfahrungen ziemlich komplizirt; im Interesse unserer Forschungen genügt es aber, die

---

<sup>1</sup> Die Thatsache, dass der grösste Theil des reflektirten Lichtes von dem horizontal gehaltenen Nikol ausgelöscht wird, war mir sofort verständlich; umso unerklärlicher erschien mir die Erscheinung, dass durch den aufrecht stehenden Nikol der See blauer erscheint, als mit freiem Auge. Ich bemerke hier noch, dass ich die Polarisation des Himmels vorläufig noch nicht in den Kreis unserer Erwägungen gezogen habe; später werde ich auch dies thun.

Jene Erscheinung aber, welche eine so interessante wissenschaftliche Debatte hervorrief und welche darin besteht, dass das noch so reine Wasser unter der Einwirkung des Lichtstrahles leuchtet und dieses blasse Licht ebenfalls polarisirt ist, lasse ich gänzlich unberührt. Es ist dies ein so schwaches Licht, dass es bei unseren Forschungen nicht in Betracht kommen kann.

einfachste Regel im Auge zu behalten, nämlich die, dass das Licht des Himmels  $90^\circ$  von der Sonne entfernt am stärksten polarisirt ist und die Polarisations ebene durch die Sonne und unser Auge geht.

Wenn wir also den See bei niedrig stehender Sonne in der Weise betrachten, dass sich dieselbe hinter unserem Rücken befinde, so erhebt sich vor uns ein solcher Theil des Himmels als Hintergrund, dessen Licht nur in geringem Masse, an einzelnen Punkten aber überhaupt nicht polarisirt ist. Blicken wir jedoch senkrecht zur Richtung der Sonnenstrahlen, so erscheint der den Hintergrund bildende Himmel stark polarisirt und dunkler blau, als im ersteren Falle. Wenn die Sonne sehr hoch steht, so befinden sich die Himmelspartien mit am stärksten polarisirten Licht überall nahe zum Horizont. Steht die Sonne genau im Zenith, so würde sich die am stärksten polarisirte Zone unmittelbar über dem Horizont hinziehen, die Erscheinung wäre also in jeder Richtung dieselbe und es fällt in diesem Falle die Polarisations ebene der vom Himmel kommenden Lichtstrahlen mit der Ebene der an der Wasseroberfläche entstehenden Spiegelung, also mit der Ebene der hier entstehenden Polarisation zusammen.

In diesem Falle ist demnach die Spiegelung des Sees eine eben solche, wie wenn der Himmel ein gewöhnliches Licht besitzen würde. Bezüglich des im Inneren des Sees dispergirten Lichtes erweist es sich als völlig gleichgiltig, ob sich ein Theil des Himmels polarisirt zeigt, ein anderer wieder nicht, da es sich darum handelt, dass von allen Richtungen kommende Strahlen wieder nach jeder Richtung hin zerstreut werden.

Der zweite extreme Fall stellt sich ein, wenn die Sonne tief steht und die am meisten polarisirte Zone in der Nähe des Zeniths dahinzieht und senkrecht zum Horizont herabläuft. Auf der  $180^\circ$  von der Sonne entfernten Himmelspartie ist die Polarisation verhältnissmässig gering, im ARAGO'schen Punkte Null, stellenweise unter dem gewöhnlichen Azimut, an anderen Stellen dazu senkrecht polarisirt, aber in so geringem Masse, dass es bei unseren Forschungen vernachlässigt und angenommen werden kann, dass hier gewöhnliche Lichtstrahlen auf die Seeoberfläche fallen. Die Spiegelung erleidet also keine wesentliche Störung.

Aus einer Entfernung im Azimut von  $90^\circ$  von der Sonne gelangen aber solche Lichtstrahlen vom Himmel auf den See, die polarisirt sind u. zw. in einer Ebene, welche auf die Polarisations ebene der in Folge Spiegelung in unser Auge gelangten Strahlen senkrecht steht. Von diesen Lichtstrahlen vermag somit der See an Stellen, wo der Einfallswinkel genügend gross ist, nur sehr wenig zu reflektiren. Blicken wir also in dieser Richtung auf den See, so erscheinen die näher gelegenen Stellen mehr grün, als die in den übrigen Himmelsrichtungen liegenden. Das von den weit entfernten Punkten im Wasser zerstreute Licht ist sehr schwach, so dass seine Wirkung kaum zur Geltung kommt; aber auch die Reflexion der blauen Farbe des Himmels erscheint geringer, als die gegen andere Himmelsrichtungen gerichtete.

Auf spiegelglattem See ist die Wirkung des Himmelslichtes im Allgemeinen unbedeutend, doch werden wir sehen, dass es auf wellenbewegter Wasserfläche in Betracht gezogen werden muss, da es auch mit freiem Auge sichtbare Erscheinungen verursacht.

Am Balaton gehört ein spiegelglattes Wasser zu den Seltenheiten und ist gewöhnlich zur Zeit des windstillen Wetters im September zu beobachten, aber auch da meist nur partiell, indem einzelne Stellen des Sees von einer Luftström-

mung gekräuselt werden, während andere Partien die hohen Ufer oder die Zeichnungen des Himmels klar wiederzuspiegeln scheinen. Die Luft ist zu dieser Zeit gewöhnlich trüb, die Durchsichtigkeit des Sees sehr gering und bleibt daher an Schönheit hinter den derartigen Spiegelungen der im Schutze hoher Berge befindlichen Meeraugen oder Alpenseen weit zurück.

Am Balatonsee habe ich in einem einzigen Falle wirklich prachtvolle, vollkommene Spiegelungen gesehen. Im Feber 1900 war der See fest zugefroren; seine Eisdecke 20–30 cm. dick und genügend fest, um auf derselben mit steinbeladenen Wagen verkehren zu können. Es kamen aber einige mildere Tage und die Temperatur des Eises stieg beinahe auf Null. Eines Tages fiel früh Morgens ein bloss kurze Zeit andauernder, aber ziemlich heftiger Regen und bedeckte den Eispanzer zwei Finger dick mit Wasser. Die Wolken hatten sich rasch zertheilt und die aufsteigende Sonne zauberte prächtige Farben auf den Himmel und die Wolken. Die Luft war so krystallklar, dass man von Siófok aus die Häuser von Alsóörs sehen konnte. Da kam ich auf den See. Nachdem ich einige Schritte auf dem Eise gethan hatte, blieb ich, um mich blickend, bezaubert stehen. In der auf dem Eise befindlichen dünnen Wasserschicht, welche in ungestörter Ruhe, wie ein vollkommener Spiegel, dalag, zeichneten sich die prächtigen Farben des Himmels bis in die kleinsten Details ab und der Beobachter konnte sich der Vorstellung hingeben, sich zwischen zwei Himmeln, inmitten der Unendlichkeit zu befinden. Bloss das Kratzen der Eissporen verräth, dass er auf festem Boden weiterschreitet, seine Schritte sind nicht im Stande, die dünne Wasserschicht in Vibration zu bringen, auch rührt sich kein Lüftchen, welches es kräuseln könnte. Es ist dies die vollkommenste Spiegelung, die man sich nur vorstellen kann. In unmittelbarer Nähe des Beobachters wäre zu erwarten, dass die Eigenfarbe des Seewassers, im Sinne unserer oben erörterten Gesetze, gleichfalls zur Geltung kommen und die bezaubernde Wirkung vielleicht stören wird. Jetzt aber fällt auch dies weg. Der Wasserspiegel birgt einen zweiten Spiegel: die Oberfläche der Eistafel, ja darunter noch einen dritten: die untere Grenze der Eistafel. Diese lassen kaum ein Licht hinein resp. heraus in das Innere des Seewassers, beziehungsweise von dort wieder zurück in unser Auge gelangen.

Diese Erscheinung habe ich stellenweise auch in anderen Jahren gesehen, aber in solcher Vollkommenheit nie wieder.

#### IV. KAPITEL.

### DIE LICHTERSCHEINUNGEN DES BEWEGTEN WASSERS.

Der vierte Faktor, welcher auf die Lichterscheinungen des Sees eine wichtige Wirkung ausübt, ist der Wellenschlag. Derselbe verändert die Erscheinungen in so hohem Mnsse dass es zweckmässig schien, ihm ein besonderes Kapitel zu widmen.

Bevor ich aber auf die Lichterscheinungen übergehen könnte, müssen vorerst die verschiedenen Formen der Wellen kurz beschrieben werden.<sup>1</sup>

Wenn der ruhige Seespiegel von einem Windhauch berührt wird, so verursacht derselbe erst eine feine Kräuselung, welche an die bald stärkere, bald wieder verschwindend feine Zeichnung der Moiréseide erinnert. Es bilden sich an der Wasseroberfläche längs einer Furche wirkliche Runzeln, welche durch die vom Wind bewegten Luftmolekeln bei Bekämpfung der oberflächlichen Spannung auf der Wasseroberfläche gezogen worden sind.

Die Kräuselung geht allmählich in einen wirklichen Wellenschlag über, der aber noch aus überaus kleinen, handgrossen Wellen besteht, welche



Fig. 6.  
Profil der deformierten Wellen.

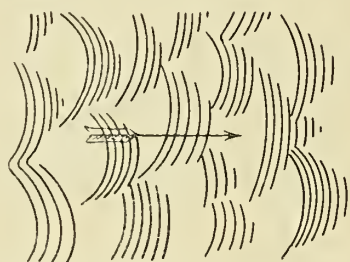


Fig. 7. Kapillarwellen an der vorderen Böschung der Hauptwellen.

vollkommen asymmetrisch sind: ihre dem Winde zugekehrte Böschung ist sanft, die andere steil und die Kapillarwellen von Bleistiftgrösse auf dieser letzteren Böschung weisen darauf hin, dass sich an den Wellenkämmen die Wassermolekel nicht nur in orbitoidaler, sondern auch in wahrer fortschreitender Bewegung befinden. In diesem Falle ist die Wellenform sehr verwickelt, da die eine Böschung glatt und sanft, die andere, vom Winde abgewendete Böschung aber sehr steil und sogar durch sekundäre kleine Wellen gerunzelt ist. Das Profil dieser Welle zeigt

<sup>1</sup> Mit Bezugnahme auf das in der «Limnologie des Balaton» Enthaltene.

die Skizze Fig. 6, während über die Vertheilung der kleinen Wellen Fig. 7 Aufschluss geben kann, wo die Linien die kleinen Kapillarwellen an der Stirnseite der Wellen andeuten und damit auch die Lage der Wellen veranschaulichen.

Mit dem Wachsen der Wirkung des Windes wachsen auch die Wellen: aus der Kräuselung wird allmählich eine wirkliche Wellenbewegung, es treten echte kleine Wellen auf, an deren vorderer Böschung die Kapillarwellen bereits fehlen; ein Zeichen dessen, dass sich die orbitoidale Bewegung bereits ziemlich entwickelt, die horizontale Bewegung aufgehört hat oder langsamer wurde, als 30 cm. pro Sekunde. Zwischen den beiden Böschungen dieser kleinen Wellen besteht bereits kein so grosser Unterschied mehr, als bei der Kräuselung. Wenn der Wind mit gleicher, aber nicht allzugrosser Stärke andauert, bilden sich die Wellen schliesslich vollständig aus und ihre beiden Böschung sind nahezu symmetrisch.

Zur Zeit starken Windes können jedoch am Balaton solche Wellen nicht zu Stande kommen, da der Seegrund sehr nahe ist und in Folge dessen alsbald eine Reibung entsteht. Die einer Reibung unterworfenen Welle aber kann nie symmetrisch sein; auch in diesem Falle ist ihre Stirnwand steiler, als die dem Winde zugekehrte Böschung. Wenn der Wind sehr stark ist, so schlagen sich die Wellen sogar über, branden und damit tritt ein neues Element in Form des blendend weissen Schaumes der Brandung in das Farbenspiel des Sees ein.

Wenn sich der Wind legt, dauert die orbitoidale Bewegung der Molekeln noch lange fort, die Wellen nehmen aber eine flache Form an, bei welcher die Reibung an dem Seegrund möglichst gering ist. Dies sind die glattesten, regelmässigsten Wellen, welche wir in der Enge von Szántód mit grösster Höhe anzutreffen pflegen.

An manchen Stellen schneiden sich diese glatt dahinrollenden, flachen Wellenzüge unter einem sehr stumpfen Winkel. Die Schnittpunkte der einzelnen Wellen scheinen in diesem Falle rechts und links an einander rasch vorüber zu huschen, was einen eigenthümlichen, flimmernden Anblick bietet. Diese Erscheinung wird am Balaton «rebbegés» genannt, womit eine zitternde, hüpfende Glanzerscheinung ausgedrückt wird.

Ausserdem sind auch jene Wellen noch von sehr schöner regelmässiger Gestalt, die hinter dem Dampfschiff entstehen und in der Form eines grossen V hinter dem Schiffe zurückbleiben. Bei ruhigem Wetter ziehen sie, von der Höhe betrachtet, eine stimmungsvolle Linie auf die Wasserfläche. Unmittelbar hinter dem Schiffe bleibt, gewissermassen den zurückgelegten Weg desselben bezeichnend, eine turbulente Bewegung zurück, deren eigenthümliches Farbenspiel uns in gewisser Hinsicht interessiren wird.

Der Neigungswinkel der Wellenböschungen ist in der Regel sehr klein. Selbst die Stirnböschung von ganz ansehnlichen,<sup>1</sup> 2—3 m. langen Wellen beträgt nicht mehr als 5—6°, nur wenn sie bereits dem Überschlagen nahe sind, zeigt sich dieselbe steiler; die steileren als 20—25°-igen Böschungspartien sind in diesem Falle bereits mit einer Schaummasse bedeckt.

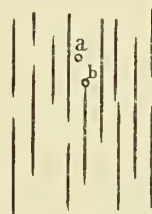


Fig. 8.  
Die Vertheilung  
der Wellenkämme.

<sup>1</sup> Die am Balaton vorkommenden Dimensionen verstanden, wo man über 7 m. lange Wellen nicht zu sehen bekommt.

Die steilsten Böschungen kommen wahrscheinlich auf den Kräuselungen vor, doch lassen sich dieselben schwer messen — unmittelbar nämlich —, die Lichterscheinungen verweisen aber ganz entschieden auf steile Böschungen.

Die Wellen pflegen nicht sehr breit (im Sinne der Alltagssprache «lang») zu sein; ihre Breite ist gewöhnlich 3—4mal so gross, als die von Wellenkamm zu Wellenkamm gemessene Wellenlänge, was ich in Fig. 8 in der Weise veranschaulichen möchte, dass die schwarzen Linien die Kämme der Wellenberge bezeichnen. Dies ist die Ursache dessen, dass bei Wellengang die Wasserfläche nicht ausschliesslich von Cylinderflächen begrenzt ist, sondern auch solche Flächenelemente in grosser Anzahl vorkommen, die mit der Fortschrittsrichtung der Wellen parallel laufen. Diese Böschungen sind aber unbedingt sanfter, als die eigentlichen Wellenböschungen, Im Allgemeinen finden wir — Fig. 8 vor Augen haltend — bei *a* und den ähnlich situirten Punkten die steilsten cylindrischen Böschungen, während sich *b* an einer Stelle befindet, wo die quergerichtete Böschung am steilsten ist, wo nämlich die Kammlinie eines Wellenberges in die Mulde des Wellenthales übergeht.

Verhältnissmässig noch steilere derartige Seitenböschungen können bei schwachem Winde vorkommen, der die Wasserfläche kräuselt. In diesem Falle ist der Unterschied zwischen der vorderen und den in Folge von Unregelmässigkeiten entstandenen Seitenböschungen nicht so gross. Ein Unterschied ist jedoch unzweifelhaft auch hier vorhanden.

Wellen mit Böschungen von gleicher Neigung nach beiden Richtungen können nur dann vorkommen, wenn sich zwei Wellensysteme unter einem rechten Winkel kreuzen. Dies gehört jedoch zu den grössten Seltenheiten.

Und gerade dies ist an PICCARD'S<sup>1</sup> schönen Ausführungen auszusetzen, dass er seine theoretischen Berechnungen eben darauf basirt, dass zur Zeit des Wellenschlages nach jeder Richtung hin Böschungen von gleicher Neigung entstehen (l. c. pag. 485). Wäre er von der entgegengesetzten Voraussetzung ausgegangen, so hätte er dieses schöne Problem noch viel besser beleuchten können. Seine Erörterungen sind aber auch in dieser Form grundlegend auf diesem Gebiete und verdienen unsere volle Würdigung.

Nachdem wir die Wellenformen kennen gelernt haben, wollen wir nunmehr auf die Erörterung jener Frage übergehen, was für Lichtstrahlen von der wogenden Oberfläche in das Auge des Beobachters gelangen, zuerst in jenem einfacheren Falle, dass die Wellen sämtlich unendlich breit sind oder die bewegte Oberfläche eine derartige Cylinderfläche ist, deren Erzeugenden zur Sehrichtung senkrecht stehen.

Jetzt können wir uns also statt der bisherigen einzigen Spiegelfläche kleine Flächen von verschiedener Böschung vorstellen, worunter sich horizontale, nach vorne oder hinten geneigte befinden, deren Neigungswinkel aber immer nur wenige Grade beträgt.

Während auf der spiegelglatten Wasserfläche ein leuchtender er Punkt, z. B. ein Stern, nur ein Bild besitzt, werden wir auf einer bewegten Fläche zahllose Punkte finden, von welchen die Strahlen des Sternes in unser Auge reflektirt werden.

<sup>1</sup> M. J. PICCARD: Phénomènes de réflexion à la surface des nappes d'eau. Archives des Sc. Phys. et Nat. de Genève. Bd. XXI, 1889. p. 481. — Auf diese Abhandlung werden wir uns noch des Öfteren berufen müssen.



An der vorderen Böschung der nahen Wellen findet ein hochstehender Stern sogar zwei Punkte, von welchen sein Licht in unser Auge reflektirt werden kann. Die Wellenlinie zeigt nämlich zwischen ihrem Maximum und Minimum einen Inflexionspunkt (Fig. 9), wo gerade die steilste Böschung der Wellenoberfläche zu finden ist. Oberhalb dieses Punktes bis zum Wellenkamm sind Böschungen von verschiedener Neigung vorhanden, deren Neigung vom Maximum bis Null abnimmt.

Ist die Höhe des Sternes nicht übermässig gross, so finden wir hier gewiss einen Punkt, von welchem die vom Sterne kommenden Strahlen in unser Auge reflektirt werden, wie z. B. in Fig. 9 der Punkt  $A_1$ . In ähnlicher Weise wird sich auch unterhalb des Inflexionspunktes eine Stelle finden — wenn die Höhe des Sternes nicht allzu klein ist — von welcher der Lichtstrahl in unser Auge reflektirt werden kann (Fig. 9,  $A_2$ ). Ist demnach die Höhe des Sternes von mässiger Grösse, so sehen wir an der vorderen Wellenböschung zwei Bilder; eines in der Nähe des Wellenkammes, das andere im Wellenthal. Die untere und obere Grenze des hiezu nöthigen Werthes der Sternhöhe hängt von der Lage des Augenpunktes und den

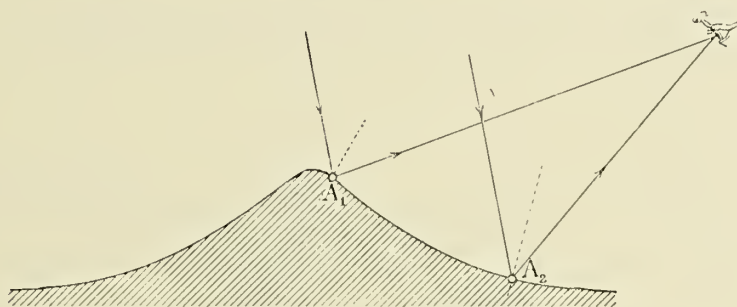


Fig. 9 Parallele Lichtstrahlen gelangen von zwei Punkten der Wellenböschung in unser Auge.

Dimensionen der Wellen ab, aber in einer so komplizirten Form, die kaum in eine brauchbare Formel zusammengefasst werden kann.

Bleibt die Welle an derselben Stelle, während ihre Höhe abnimmt, so nähern sich die beiden Bilder einander in der Weise, dass sowohl das im Wellenthal, als auch das beim Wellenkamm befindliche dem Augenpunkt näherkommt, das letztere aber viel rascher. Wenn aber die Welle zu sehr verflacht, so gelangt das Bild schliesslich an den Inflexionspunkt und verschwindet jenseits desselben, so dass nur das Bild im Wellenthal übrigbleibt, dessen extreme Lage durch die einfach berechenbare Spiegelung des vollständig ruhigen Seespiegels gegeben ist.

Zeigt sich demnach eine Welle nicht überall von gleicher Höhe, indem sie an einer Stelle einen Schnitt von der Form wie in Fig. 9 besitzt, während wir davon weit entfernt einen bereits flacheren Schnitt antreffen, so wird auf dieser Wellenfläche das Bild einer Lichtpunktreihe von gleicher Höhe keine horizontale Gerade, sondern ein ziemlich gebogenes Linienpaar sein, eines in der Nähe des Wellenberges, das andere im Wellenthal.

Bleibt die Höhe der Welle dieselbe, entfernt sie sich aber vom Beobachter, so treten die beiden Bilder einander wieder näher, es streben aber nunmehr beide Bilder dem Inflexionspunkt zu (Fig. 10), bis sie schliesslich im Inflexionspunkt in einander fallen. In diesem Moment befindet sich die Welle an der letzten jener Stellen, von wo sie noch Lichtstrahlen in unser Auge zu reflektiren vermag. Jen-

seits derselben besitzen die Wellen keine Fläche mehr, von wo noch ein Lichtstrahl in unser Auge reflektirt werden könnte. Es muss hier vorausgesetzt werden, dass die Höhe des Sternes grösser ist, als die Neigung der steilsten Böschung, welche die Welle besitzt, da in diesem Falle das Bild des Wellenthal's nicht zustande kommen kann. Dann werfen die Wellen nämlich einen Schatten auf das Wellenthal, was leicht verständlich ist.

Wie wir also sehen, steht die Lage der Spiegelbilder eines einzigen Punktes bereits in einem sehr komplizirten Zusammenhang mit der Form der Wellen und der Lage des Augenpunktes. Noch komplizirter sind aber die Bilder von Linien und leuchtenden Flächen, z. B. Scheiben und die obigen Betrachtungen überzeugen uns davon, dass sich z. B. das Bild der Sonne an der bewegten Fläche in der Form von fortwährend sich krümmenden Streifen zeigen wird, insbesondere, wenn die Wellenoberflächen nicht regelmässig sind.

Diese unzähligen, immerfort abwechselnden Bilder der Sonnen- oder Mond-scheibe erscheinen unserem Auge in der Form eines Lichtstreifens, welcher bei uns vom Volke goldene Brücke genannt wird.

Um die Dimensionen dieser goldenen Brücke einigermaßen kennen zu lernen, müssen wir vor allem die Entfernung jenes letzten Punktes ermitteln, von welchem

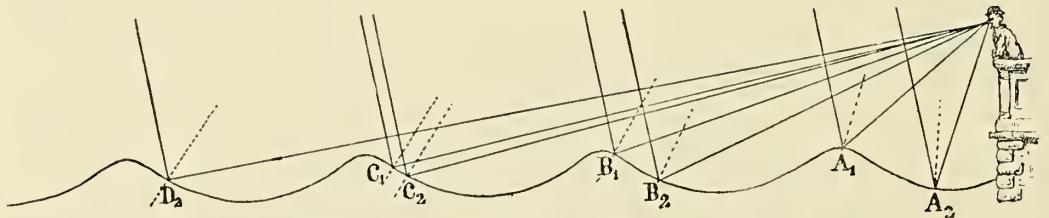


Fig. 10. Reflexion der Lichtstrahlen von sich entfernenden Wellen.

ein Spiegelbild noch in unser Auge gelangen kann. Diese Stelle befindet sich natürlich dort, wo der Strahl des Sternes gerade durch die steilste Wellenböschung reflektirt wird.

Nehmen wir an, dass der Neigungswinkel der steilsten Wellenböschung  $\alpha$  sei (Fig 11) und der von  $H$  kommende Lichtstrahl von derselben in unser Auge reflektirt werde. Der Beobachter befinde sich in  $Sz$ , in einer Höhe  $h$  über dem Wasserspiegel und einer Entfernung  $t$  vom Punkte  $A$ , wo das letzte Spiegelbild aufleuchtet.

Die Höhe des lichtstrahlenden Himmelskörpers über dem Horizont sei  $m$ , so dass also

$\sphericalangle PAH = m - \alpha$  und  $\sphericalangle SzaQ = m - \alpha$  ist. Nachdem aber  $\sphericalangle QAT = \alpha$  ist, wird  $\sphericalangle TASz = m - 2\alpha$  sein.

Das rechtwinklige Dreieck  $ATSz$  ergibt

$$t = h \cdot \cotg (m - 2\alpha) \quad 1.)$$

so dass der Zusammenhang sehr einfach, gleichzeitig aber auch sehr interessant ist. So lange nämlich  $2\alpha$  kleiner als  $m$  ist, erstreckt sich die goldene Brücke ins Unendliche, zeigt sich aber  $2\alpha$  grösser als  $m$ , so ist  $t$  negativ; man kann also

hinter dem Rücken des Beobachters eine Spiegelfläche von der Neigung  $\alpha$  finden, die das aus der Richtung  $H$  kommende Licht in unser Auge reflektiren könnte. Dies bedeutet so viel, dass sich vor uns keine einzige Welle befindet, durch deren steilste Seitenböschung die Lichtstrahlen reflektirt würden, es wird vielmehr auf jeder einzelnen Welle eine Partie von kleinerer Böschung erglänzen, auch noch in unendlicher Ferne. Es ist aber auch noch von Interesse, dass wir mit der Veränderung von  $m$  anfangs sehr lange goldene Brücken erhalten werden; dieselbe wird aber, wenn der Werth von  $m$  dem von  $2\alpha$  nahezu gleichkommt, plötzlich kürzer und dann leuchtet das Bild des Sternes nach einer Steigung von einigen Graden bloß in nächster Nähe auf.

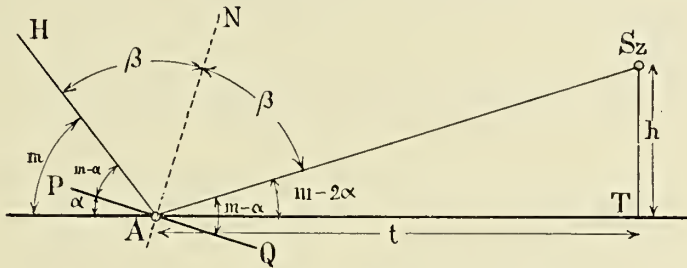


Fig. 11. Die Grenze der Sichtbarkeit ( $t$ ) der Spiegelung auf Wellen.

So kann, wenn z. B.  $\alpha = 5^\circ$  und  $h = 10$  m. ist, die Länge der goldenen Brücke mit dem Steigen des Mondes — die Krümmung der Erdoberfläche vorläufig vernachlässigend — in der folgenden kleinen Tabelle zusammengestellt werden:

Ist die Höhe der Sonne oder des Mondes $m =$	$10^\circ$	$10^\circ 1'$	$10^\circ 2'$	$10^\circ 5'$	$10^\circ 10'$	$11^\circ$	$12^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$
so zeigt sich die Länge der goldenen Brücke, $t =$	$\infty$	34,377 m	17,186 m	6875 m	3438 m	573 m	286 m	114 m	56.7 m	27.5 m.

Bei der Höhe des Mondes oder der Sonne muss natürlich immer der untere Rand der scheinbaren Scheibe des betreffenden Himmelskörpers in Rechnung gezogen werden, da dieser einen in unser Auge gelangenden Schimmer an entfernteren Wellen hervorruft, als der obere Rand des Himmelskörpers.

Die goldene Brücke erstreckt sich so lange über die ganze Breite oder den sichtbaren Theil des Sees, bis die Höhe des Mondes oder der Sonne über dem Horizont nicht grösser wird, als das Doppelte des Neigungswinkels der steilsten Wellenböschung. Im Falle  $2\alpha = m$  ist, besitzt die goldene Brücke, wenn die Krümmung der Erdoberfläche vernachlässigt wird, noch eine unendliche Länge. In Folge der Krümmung der Erdoberfläche erscheint dieselbe jedoch kürzer, da der maximale Neigungswinkel der entfernten Wellen zu der am Orte der Welle gedachten Horizontebene zwar gleichfalls  $\alpha$  ist, dieselben Wellenböschungen aber zur Horizontebene des Beobachters unter einem um so kleineren Winkel geneigt sind, als der von den beiden Horizonten eingeschlossene Winkel beträgt. (Fig. 12.)

In Fig. 12 sei  $S_z$  die Stelle des Beobachters,  $H_1$   $R_1$  der Horizont desselben; bei  $A$  sei jene Welle vorhanden, von deren steilsten Böschung das Bild des Mondes



Unsere Gleichung wird somit folgende Form annehmen:

$$\text{tang} \left[ (m-2\alpha) + 2 \frac{t \cdot 180^0}{R \pi} \right] = \frac{h + R - \sqrt{R^2 - t^2}}{t}$$

Wir wollen nun der Einfachheit halber  $m-2\alpha = \delta$  schreiben und entwickeln die linke Seite der Gleichung, dann folgt:

$$\frac{\text{tg. } \delta + \text{tg. } 2 \frac{t \cdot 180^0}{R \cdot \pi}}{1 - \text{tg. } \delta \text{ tg} \frac{t \cdot 180^0}{R \cdot \pi}} = \frac{h + R - \sqrt{R^2 - t^2}}{t}$$

Nehmen wir statt  $\text{tg } \delta$  wieder den Bogen des Kreises vom Radius Eins und multiplizieren mit den Nennern, so erhält unsere Gleichung die folgende Form:

$$2 \cdot t \cdot \text{tg. } \delta + \frac{2t^2}{R} = h - h \cdot \text{tg. } \delta \frac{t}{R} + R - \sqrt{R^2 - t^2} + \text{tg. } \delta \frac{t}{R} \sqrt{R^2 - t^2} \dots 4)$$

Um die Gleichung zu vereinfachen, sind wir genöthigt  $\sqrt{R^2 - t^2}$  in eine Reihe aufzulösen, ausgehend aus der Form  $\sqrt{1 - \frac{t^2}{R^2}}$ . Von den Gliedern behalten wir nur die beiden ersten, da in den übrigen sehr hohe Potenzen vom R im Nenner vorkommen, die somit vernachlässigt werden können. Hienach ist

$$\sqrt{1 - \frac{t^2}{R^2}} = 1 - \frac{1}{2} \frac{t^2}{R^2} + \dots$$

Substituieren wir diesen Werth in die Gleichung und nehmen die nothwendigen Kürzungen vor, so erhalten wir zum Schlusse zwischen t, h und  $\delta$  den folgenden Zusammenhang:

$$\text{tg } \delta \frac{t^3}{R^2} + \frac{3}{2} \frac{t^2}{R} + \left( \frac{h}{R} + 1 \right) t \cdot \text{tg. } \delta = h \dots 5.)$$

Die Form der Gleichung verräth auf den ersten Blick, dass — falls R sehr gross gegen t ist — alle jene Glieder unterdrückt werden müssen, in deren Nenner R vorkommt und dass wir hiermit denselben Zusammenhang zwischen t, h und  $\delta$  erhalten, den wir ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung abgeleitet haben.

Selbst in jenen interessantesten Fällen, wo t blos einige Hundert oder höchstens ein-zwei Tausend Meter beträgt, kann das erste Glied der Gleichung vernachlässigt werden, da im Nenner desselben R auf der zweiten Potenz vorkommt. Sobald aber t einige Kilometer beträgt, darf auch dieses Glied nicht vernachlässigt werden, da in demselben t auf der dritten Potenz enthalten ist.

Der Einfachheit halber wollen wir dieses Glied nun weglassen und die Gleichung als eine solche vom zweiten Grade betrachten:

$$\frac{3t^2}{2R} + \left( \frac{h}{R} + 1 \right) t \cdot \text{tg. } \delta - h = 0 \dots 6.)$$

die Lösung derselben ist:

$$t = \frac{1}{3} \operatorname{tg} \delta \left[ - (h + R) \pm \sqrt{h^2 + 2 h R (1 + 3 \operatorname{cotg}^2 \delta) + R^2} \right] \dots \dots \dots 7.)$$

Diese Gleichung ist aber für die Berechnung gar nicht geeignet. R ist im Vergleiche zu den übrigen Grössen, z. B. h so gross, dass die Resultate nur mit sehr vielstelligen Logarithmen genau berechnet werden können.

Zu einem ähnlich komplizirten Resultat gelangen wir auch dann, wenn wir aus dem weiter oben bereits Berührten ausgehen, dass nämlich dieser Neigungswinkel der maximalen Wellenböschung zum Horizont des Augenpunktes umso kleiner wird, je entfernter sich die Welle von demselben befindet. In diesem Falle nimmt also der Neigungswinkel der Wellenböschungen in demselben Masse wie t ab, so dass wir statt des vorhergehenden Resultates das folgende erhalten:

$$t = h \operatorname{cotg} \left[ m - 2 \left( \alpha - \frac{t}{R} \frac{180^\circ}{\pi} \right) \right] \dots \dots \dots 8.)$$

Die Auflösung dieser Gleichung nach t ergibt aber noch komplizirtere Resultate als das Vorhergehende.

Ein viel einfacheres Verfahren ist das folgende:

Zuerst berechnen wir nach der Gleichung 1.) den Werth von t, als hätten wir die Krümmung der Erdoberfläche vernachlässigt; dementsprechend berechnen wir sodann  $\vartheta$ , welches im Sinne der Gleichung 8.) vom  $\alpha$  subtrahirt werden muss und erhalten somit den korrigirten Werth von t. Sollte sich zwischen dem ersteren und letzteren t ein grosser Unterschied zeigen, so kann die Rechnung mit dem korrigirten t wiederholt werden.

Ist z. B.  $\alpha = 5^\circ$ ,  $m = 10^{\circ}10'$ ,  $h = 10$  m., so ergibt sich bei Vernachlässigung der Erdkrümmung ( $t = 3438$  m. Wenn wir hiemit weiter rechnen, so wird  $\vartheta_1 = 0^\circ 1' 51''4$ , was in die Gleichung 8 substituiert)  $t_2 = 2510$  m. ergibt. Wiederholen wir nun die Rechnung mit  $t_2$ , so erhalten wir folgende Daten.

$t_1 = 3438$ m	$\vartheta_1 = 0^\circ 1' 51''4$
$t_2 = 2510$ m.	$\vartheta_2 = 0^\circ 1' 21''3$
$t_3 = 2707$ m.	$\vartheta_3 = 0^\circ 1' 27''0$
$t_4 = 2665$ m.	$\vartheta_4 = 0^\circ 1' 26''4$
$t_5 = 2669$ m.	

welch letzteres wir als Endresultat annehmen können.

Wie wir sehen, ist die goldene Brücke infolge der Krümmung der Erde kürzer, als sie auf einer Ebene wäre. Wenn die goldene Brücke nicht mehr unendlich lang ist, aber noch immer einige Kilometer beträgt, zeigt sich die Verkürzung noch ziemlich beträchtlich, während die Krümmung der Erde, falls die Länge der goldenen Brücke unter einem Kilometer bleibt, von recht geringem Einflusse bleibt. Die Erscheinung aber, während welcher die goldene Brücke von unendlicher Länge auf einige Hundert Meter zusammenschrumpft, ist von nur sehr kurzer Zeitdauer, da doch der Mond oder die Sonne, wenn sie noch tief stehen, kaum einen Grad zu steigen brauchen (in unserem vorhergehenden Beispiel von  $10^\circ$  auf  $11^\circ$ ), was eine ziemliche kurze Zeit beansprucht. Wenn z. B. die Deklination des Mondes Null ist, so dauert dieser Zeitraum über den Balaton zirka sechs Minuten.

Es ist überflüssig zu erwähnen, dass bei Sonnen- oder Monduntergang das anfangs zerstreute Flimmern eben so rasch zu einer goldenen Brücke sich ausdehnt, als sie vorher verschwunden war.

Diese Betrachtung gibt uns eine besonders geeignete Methode zur Bestimmung des maximalen Neigungswinkels der Wellenböschungen in die Hand.

Ein viel schwereres Problem bildet die Bestimmung der Breite der goldenen Brücke. Wenn die Wellen Zylinderflächen mit nur auf die Sehrichtung senkrechten Erzeugenden wären, würde die goldene Brücke nicht breiter, als der scheinbare Durchmesser des betreffenden Himmelskörpers sein. Der Streifen der glänzenden Punkte würde also in gleichmässiger Breite, ohne perspektivische Verschmälerung dahinziehen. Manchmal ist, nachdem sich der Wind gelegt hat und regelmässige Wellen auf dem See dahinrollen, die goldene Brücke thatsächlich kaum breiter,

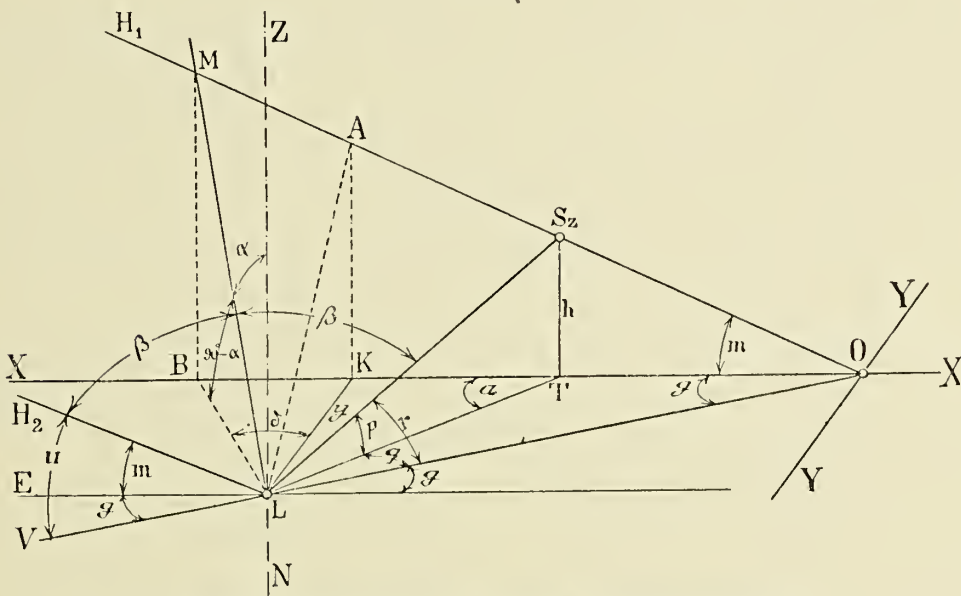


Fig. 13. Die Bestimmung der Breite der goldenen Brücke.

als der scheinbare Durchmesser der Sonne oder des Mondes. Sobald aber ein unregelmässiger Wellenschlag eintritt, besonders aber wenn ein unregelmässiger Luftzug den Wasserspiegel kräuselt, zeigt sich die goldene Brücke bedeutend breiter, namentlich wenn der Mond bereits hoch steht.

Wenn der Wellenschlag auf der Wasserfläche ein unregelmässiger ist, können zu den Wellenoberflächen nach jeder Richtung hin geneigte Tangentialebenen gezogen werden. Um die Ausdrücke zu vereinfachen wollen wir jenen Ausdruck benutzen, den die Geologen zur Bestimmung der Lage einer Schichte anzuwenden pflegen. Die in der Schichtungsfläche gezogene Horizontallinie wird in der Geologensprache als *Streichrichtung* bezeichnet. Das Streichen der spiegelnden Flächen drückt demnach die Richtung der in denselben gezogenen Horizontallinien aus.

Die zu den Wellenoberflächen gezogenen Tangentialebenen vertreten also die kleinen spiegelnden Flächen und das Streichen derselben kann bei unregelmässigem Wellenschlag von allseitiger Richtung sein. Durch die Spiegelung jener

Flächen, deren Streichen senkrecht zur Schrichtung steht, wird die goldene Brücke nicht verbreitert. Von den schief streichenden Flächen kann aber rechts und links von der Schrichtung auch aus ziemlicher Entfernung das Licht des Himmelskörpers in unser Auge reflektirt werden. Wenn die Seefläche mit kleinen Wellen dicht bedeckt ist, verschmilzt der Glanz dieser schief streichenden Flächen zu einem grossen glänzenden Fleck an der Seeoberfläche und wird es die Breite der goldenen Brücke viel grösser, als der scheinbare Durchmesser des Himmelskörpers sein.

Die Bestimmung der Breite bildet aber ein ausserordentlich verwickeltes Problem. Es muss nämlich die Lage jener Flächen bestimmt werden, welche das Mondlicht noch in unser Auge gelangen lassen, wenn die Höhe des Mondes über dem Horizont z. B.  $m$  (Fig. 13), die Höhe des Augenpunktes über dem See-  
spiegel  $h$  und der maximale Böschungswinkel  $\alpha$  ist.

Nehmen wir an, dass der Punkt, woher der Lichtstrahl noch in unser Auge reflektirt werden kann,  $L$  und dessen Koordinaten auf das in Fig. 13 aufgenommene Achsensystem  $X-X$ ,  $Y-Y$  bezogen,  $x$  und  $y$  sei. An dieser Stelle wird die Wellenfläche unzweifelhaft jene steilste Fläche sein, welche noch vorkommen kann und ist somit die Zenitdistanz ihrer Normalen  $LM$  gleichfalls  $\alpha$ . Der Azimuth dieser Normalen ist vorläufig noch nicht bekannt, doch bezeichnen wir denselben von der Achse  $Y$  gerechnet mit  $\delta$ . Zu bemerken ist noch, dass diese Normale den in unser Auge gelangenden Lichtstrahl, die Linie  $H_1O$  unbedingt schneidet und zwar im Punkte  $M$ ; ist sie doch in jener Ebenen gelegen, welche durch die Linien  $H_2L$  un  $LSz$  bestimmt wird.

Der vom Monde kommende Lichtstrahl wird also bei  $L$  reflektirt und gelangt in den Punkt  $Sz$ . Der von den Geraden  $H_1L$  und  $LSz$  eingeschlossene Winkel wird nach dem Gesetze der Spiegelung durch die Normale  $ML$  halbt und möge der Einfall und Reflexionswinkel  $\beta$  sein.

Unsere Aufgabe besteht nunmehr in der Bestimmung der Maximalwerte von  $y$  im Falle die obigen Bedingungen zur Geltung kommen. Eine Funktion  $f(x, y)$ , aus welcher es unter den gegebenen Umständen möglich ist, zu jedem  $x$  die Maximalwerthe von  $y$  zu erhalten, wird der mathematische Ausdruck für die Begrenzung der goldenen Brücke sein.

Um diese Funktion zu bestimmen, müssen wir vor allem einen Zusammenhang zwischen  $x$ ,  $y$  und den gegebenen Konstanten  $m$ ,  $h$  und  $\alpha$  entdecken und ausserdem muss auch das Reflexionsgesetz zum Ausdruck gelangen.

Vor allem ziehen wir den Radius  $H^1SzO$  und bezeichnen im Dreieck  $SzTO$  die Seite  $TO$  mit  $C$ , deren Wert

$$C = h \cdot \cotg. m. \dots \dots \dots 1)$$

sein wird, sie somit als eine in einfacherer Form geschriebene Konstante figuriren kann.

Verbinden wir nun den Punkt  $O$  mit der Stelle der Spiegelung  $L$ . Diese Gerade ist nichts anderes, als die Spurlinie jener Ebene auf der Wasseroberfläche, die wir durch die Stelle der Spiegelung  $L$  und den in unser Auge gelangenden Lichtstrahl gelegt haben. Diese Ebene enthält natürlich den ursprünglichen und den reflektirten Theil des Lichtstrahls und infolgedessen auch die Einfalls-



normale ML, welche letztere sonach — wo immer auch die Wasserfläche spiegeln möge — die Linie H,O schneidet.

Die Neigung der Linie LO zur Achse X sei mit g bezeichnet und ihr Wert

$$\text{tg. } g = \frac{y}{x} \text{ oder } \sin. g = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \dots \dots \dots 2.)$$

Die Projektion des gebrochenen Strahles SzL ist LT und schliesst mit der Achse X den Winkel  $\alpha$  ein, dessen Wert aus:

$$\text{tang. } \alpha = \frac{y}{x - C}$$

besteht und welchen wir vorübergehend gleichfalls brauchen werden.

Um das Gesetz der Spiegelung in den Zusammenhang einführen zu können, müssen wir den Winkel SzLO kennen, den wir am besten mit Hilfe des zwischen den Geraden SzL, TL und OL gedachten rechtwinkligen sphärischen Dreiecks bestimmen können.

Es ist nämlich

$$\cos r = \cos p \cdot \cos q; \dots \dots \dots 3.)$$

da aber

$$\sin. q : \sin. g = TL : C$$

$$TL = \sqrt{(x - C)^2 + y^2}$$

so wird  $\sin. q = \frac{y \sqrt{(x - C)^2 + y^2}}{C \sqrt{x^2 + y^2}}; \cos. q = \sqrt{1 - \frac{y^2 [(x - C)^2 + y^2]}{C^2 (x^2 + y^2)}} \dots 4.)$

ferner

$$\text{tg. } p = \frac{h}{TL} = \frac{h}{\sqrt{(x - C)^2 + y^2}}; \cos p = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h^2}{(x - C)^2 + y^2}}} \dots 5.)$$

Wenn wir diese Werte in die Formel des  $\cos r$  substituieren und die nötigen Umgestaltungen vornehmen, so gelangen wir zur folgenden komplizierten Formel:

$$\cos. r = \frac{1}{C} \sqrt{\frac{C^2 z^2 x^2 + [C^2 (z^2 + x^2) - z^4] y^2 + (C^2 - 2z^2) y^4 - y^6}{(z^2 + h^2) x^2 + (z^2 + x^2 + h^2) y^2 + y^4}} \dots 6.)$$

wo die Differenz  $x - C$  der Einfachheit halber mit z bezeichnet wurde. Bei grossen Entfernungen, kleinem h und grossem m kann  $z = x$  genommen werden.

Aus dem zwischen den Linien ML, BL und OL gedachten rechtwinkligen sph. Dreieck ist

$$\cos (r + \beta) = \cos (90^\circ - g + \delta) \cdot \cos (90^\circ - \alpha)$$

$$\cos (r + \beta) = \sin (g - \delta) \sin \alpha$$

$$\cos. r \cos. \beta - \sin. r \sin. \beta = \sin. \alpha (\sin. g \cos. \delta - \cos. g \sin. \delta) \dots 7.)$$

$\beta$  ist aber noch unbekannt. Nach dem Gesetze der Spiegelung aber wird:

$$u + 2\beta + r = 180^\circ,$$

woraus 
$$\beta = 90^\circ - \frac{(u+r)}{2} \text{ folgt.}$$

Der Wert des  $r$  lässt sich aus dem obigen Ausdruck berechnen,  $u$  aber aus dem zwischen den Geraden  $H_2L$ ,  $EL$  und  $VL$  gedachten rechtwinkligen sphärischen Dreieck mittels der Formel

$$\cos. u = \cos. g \cos. m = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \frac{C}{\sqrt{C^2 + h^2}} \dots \dots \dots 8.)$$

Substituiren wir diese Werthe der Reihe nach in die Gleichung 7.), so erhalten wir schliesslich den gesuchten Zusammenhang zwischen  $x$ ,  $y$ ,  $\vartheta$ ,  $\alpha$ ,  $m$  und  $h$ .

Um zur Funktionsform der Grenze der goldenen Brücke zu gelangen, ist es nothwendig noch anzunehmen, dass wir nur die Maximalwerte der  $y$  zu kennen wünschen. Zu diesem Behufe müsste der Differenzialquotient gleich Null gemacht werden was zum gesuchten zweiten Zusammenhang führen würde.  $m$ ,  $h$  und  $\alpha$  wurden als Konstante angenommen, demnach können unter den drei Variablen  $x$ ,  $y$  und  $\vartheta$ , mit Annahme der einen, die beiden anderen durch zwei Gleichungen immer ermittelt werden.

Die Gleichung ist aber so komplizirt, dass sie bei der Erforschung der goldenen Brücke praktisch nicht verwendet werden kann.

Es sei aber bemerkt, dass jene spiegelnden Flächen, bei welchen  $\vartheta$  grösser als  $O$  ist, deren Streichen also schief ist und die sich vom Augenpunkte aus betrachtet sozusagen am jenseitigen Theile der Wellenberge befinden, so schwache Strahlenbündel von so kleinem Durchmesser in unser Auge senden, dass sich demzufolge der Rand der goldenen Brücke verwaschen zeigt und die möglichen Maximalwerthe von  $y$  schliesslich bloss durch die hie und da aufleuchtenden singularen Punkte angedeutet werden. Der Beobachter sieht die Grenze der dicht stehenden Lichtpunkte der goldenen Brücke beiläufig dort, wo das Streichen der spiegelnden Wellenflächen parallel zur Sehrichtung ist.

Aus dieser Prämisse war PICCARD<sup>1</sup> ausgegangen, als er die Spiegelbilder von nicht unendlich entfernten, sondern von irdischen Lichtquellen untersuchte. Für diesen Fall ist das Vorgehen auch richtig, kann jedoch für einen in unendlicher Ferne gelegenen leuchtenden Punkt nicht genau angewendet werden, da die Stelle, welche im Falle PICCARD's die grösste Breite des Bildes wäre, in unserem Falle unendlich entfernt ist oder aber — wenn die goldene Brücke nicht unendlich lang erscheint — nicht nach PICCARD's Prämisse berechnet werden kann.

Nehmen wir nun näherungsweise an, dass die goldene Brücke dort am breitesten ist, wo das Licht des Himmelskörpers von mit der Sehrichtung parallel streichenden Wellenböschungen in unser Auge reflektirt wird, dann ist das Problem leicht zu lösen.

Fig. 14 möge die Projektion der ganzen Erscheinung auf die in der Sehrichtung stehende vertikale Ebene sein, die Buchstaben aber in ihrer früheren Bedeutung beibehalten. Es ist jetzt  $\delta = O$ , demnach das Bild der Normalen  $ML$  die vertikale Linie  $u$ . Fig. 15 möge nun die vertikale Projektion der ganzen Erscheinung auf die senkrecht zur Sehrichtung stehende Ebene sein. In dieser Projek-

<sup>1</sup> Loc. cit.

tion werden die von den Projektionen der einfallenden ( $H_2L$ ) und reflektirten ( $LSz$ ) Strahlen eingeschlossenen Winkel von der Normalen  $LM$  halbt. Nachdem

$$\sphericalangle H_2LM = \alpha \text{ ist, folglich wird: } \sphericalangle MLSz = \alpha.$$

Aus Fig. 15 ist

$$\begin{aligned} \frac{h}{y} &= \text{tg. } (90^\circ - 2\alpha), \quad y = h. \text{ tang } 2\alpha \quad \dots \dots \dots 1.) \\ &= y. \text{ cotg } \alpha = h. \text{ tang } 2\alpha. \text{ cotg } \alpha \end{aligned}$$

aus Fig. 14 aber wird

$$x = n. \text{ cotg. } m = h. \text{ tang } 2\alpha. \text{ cotg } \alpha. \text{ cotg. } m.$$

und die Entfernung vom Fusse des Beobachters

$$x - C = h. \text{ cotg } m (\text{tang } 2\alpha \text{ cotg } \alpha - 1) \quad \dots \dots \dots 2.)$$

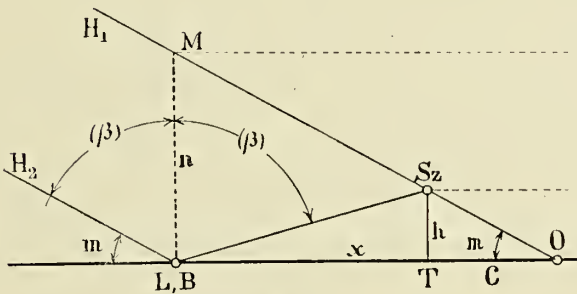


Fig. 14.

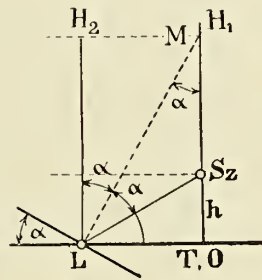


Fig. 15.

Die vereinfachte Bestimmung der Breite der goldenen Brücke.

Nehmen wir z. B. an, es wäre  $h = 40 \text{ m}$ ,  $m = 10^\circ 5'$ ,  $\alpha = 42^\circ 50'$  (kann nur bei Kräuselung vorkommen), so ist

$$x - C = 3000 \text{ m. } y = 529 \text{ m.}$$

und dessen Schwinkel, nach beiden Seiten zusammen, ca  $20^\circ$ .

Wie wir sehen, führt bereits die scheinbar einfache Erscheinung der Spiegelung einer unendlich entfernten Lichtquelle auf bewegter Wasserfläche zu einem so komplizirten analytischen Zusammenhang, dass wir mit dessen Hilfe kaum imstande sind jedes Detail der Erscheinung zu analysiren.

Von ähnlicher Schwerfälligkeit sind auch jene Resultate, welche PICCARD<sup>1</sup> für die Spiegelbilder der irdischen Lichtquellen abgeleitet hat. Von seinen Resultaten sind die folgenden am wichtigsten:

Wenn die Höhe des leuchtenden Punktes  $h$ , die Höhe des Standpunktes des Beobachters  $h_1$ , die horizontale Entfernung der beiden Punkte  $1$ , der Neigungswinkel der steilsten Wellenböschungen  $\alpha$  ist, so wäre die Entfernung des entfernt gelegenen Endpunktes des Spiegelbildes.

$$x_1 = 1 - \frac{1}{2} \left[ (h + h_1) \text{cotg } 2\alpha + 1 - \sqrt{1^2 - 2l(h - h_1) \text{cotg } 2\alpha + (h + h_1)^2 \text{cotg}^2 2\alpha + 4hh_1} \right]$$

<sup>1</sup> Loc. cit. pag. 499.

Die Entfernung des näher gelegenen Endpunktes des Spiegelbildes

$$x_2 = \frac{1}{2} \left[ (h+h_1) \cotg 2\alpha + 1 - \sqrt{1^2 + 2l(h-h_1) \cotg 2\alpha - (h+h_1)^2 \cotg^2 2\alpha + 4hh_1} \right]$$

Die grösste Breite des Spiegelbildes dort, wo das Streichen der Wellenböschung mit der Schrichtung parallel ist:

$$2y = \frac{-h-h_1 + \sqrt{h^2 + h_1^2 + 2hh_1(1 + 2\text{tg}^2 2\alpha)}}{\text{tang } 2\alpha}$$

Aus diesem Zusammenhang folgt, dass die Breite des Spiegelbildes von an der Oberfläche des Wassers befindlichen Punkten Null ist, also eigentlich nicht existiert. Hieraus erklärt sich die Beobachtung, dass z. B. von den Balatonfüreder Ufern die elektrischen Lampen von Siófok zwar sichtbar sind, eine Spiegelung derselben jedoch niemals beobachtet worden ist. Die Lampen liegen nämlich infolge der Krümmung der Erde ganz in die Horizontebene des Beobachters oder unter derselben, weshalb ihr Spiegelbild die Breite Null besitzt.

Je höher sich der leuchtende Punkt über dem Horizont befindet, umso näher kommt sein Spiegelbild und gleichzeitig wird es umso breiter. Der Glanz des Spiegelbildes aber nimmt fortwährend ab.

Auf dem Balaton spielen derartige Lampen-Spiegelbilder in der Entstehung der Landschaftsbilder und Stimmungen keine bedeutende Rolle. Die Spiegelung der meisten Häuser an den Ufern und der Wolken erfolgt hingegen gerade nach diesen Gesetzen und giebt dem See häufig interessante Farben-Nuancen.

## V. KAPITEL.

### DIE SPIEGELUNG DES HIMMELS AUF BEWEGTER WASSERFLÄCHE.

Von den zahlreichen wichtigen Ursachen der Farbe, welche der vom Weiten betrachtete See zeigt, ist bereits die Eigenfarbe des Seewassers, die physikalische Veränderung des Lichtes bei der Spiegelung an der Oberfläche, sodann die Wirkung der Krümmung der Erde, als auch die Spiegelung der bewegten Oberfläche in dem Falle, wenn dieselbe einen leuchtenden Punkt oder einen Himmelskörper reflektirt, untersucht worden ist.

Für die allgemeine Farbe des Sees aber ist die Farbe des Firmaments mit den Wolken zusammen am meisten ausschlaggebend.

Der Himmel über dem Balatonsee ist selten so tief dunkelblau, wie dies z. B. über dem Mittelländischen Meer so häufig beobachtet werden kann. Eine der Ursachen hiefür muss gewiss darin gesucht werden, dass das ganze Hügelland jenseits der Donau über weitausgebreitete Strecken mit Löss bedeckt und auch ausserdem viel feiner Sand vorhanden ist, von welchem eine beträchtliche Menge als Staub in der Luft schwebt. Besonders an windstillen, warmen Tagen oder bei schwachen Südwinden ist das Firmament über dem Balaton sehr trüb, beinahe weiss.

So wie im grössten Theile Ungarns entsteht auch in der Umgebung des Balatonsees nach dem Regen gewöhnlich ein tagelang andauernder Nord-Nordwestwind, wobei die Luft vollkommen klar und das Firmament dunkelblau ist.

Die über dem See entstehenden Wolken unterscheiden sich von den Wolken anderer Gebiete kaum. Einige interessante Erscheinungen können aber doch verzeichnet werden.

An ruhigen Sommertagen bewegen sich die Cumuluswolken gewöhnlich in der Richtung NW—SE. Die Cumulusbildung pflegt nach vollkommen klarem Morgen gegen 9<sup>h</sup> zu beginnen und erreicht gegen Mittag ihr Maximum. Vormittags pflegen viele, kleine, Nachmittag hingegen wenige aber grössere Wolken zu entstehen. Die Ursache hiefür besteht darin, dass das Emporsteigen der unteren erwärmten Luftschichten vormittags mit dichten kleinen Konvektions-Strömungen beginnt, während sich die Konvektion nachmittags um einzelne grössere Zentren gruppirt, sozusagen in grossen Tromben intensiver wird. Die Vormittags entstandenen Cumuli bewegen sich ohne Hinderniss über dem See, während die Nachmittag entstandenen grösseren Cumuli, namentlich jene, deren Schirm sich bereits

ausgebildet hat, das Gebiet des Sees zu meiden scheinen und manchmal in Form von ganzen Reihen das Seeufer besetzen, ohne dass über der Seefläche selbst ausser einigen kleinen Wolkenfetzen etwas zu sehen wäre.

Beobachten wir die vormittägigen Cumuli am Nordufer, so werden wir bemerken, dass die vom Veszprémer Plateau her ziehenden Wolken über dem Plateaurand noch scharfe Ränder besitzen, Knäuel von bestimmter, rundlicher Form sind. Sobald sie den Plateaurand verlassen und über das Seebecken gelangen, zerfransen und verfetzen sich ihre Ränder und ist es eine Abnahme der Wolken leicht erkennbar. Diese Abnahme dauert aber nur kurze Zeit. Als bald rundet sich die Form der Wolken wieder ab, ihre Ränder werden abermals scharf und es ziehen dieselben als regelmässige, genau in einem Niveau schwebende Scharen weiter. Die einfache Ursache dieser Erscheinung ist darin zu suchen, dass die Luftströmung, welche die Wolken langsam gegen Südosten treibt, am Rande des Plateaus auf ein um ca 100 m tieferes Niveau herabfällt, sich also beinahe um einen Grad erwärmt, was für den Aggregatzustand der Luftfeuchtigkeit von grosser Bedeutung ist.

Eine vollkommen ähnliche Erscheinung zeigt sich auch im Verlaufe der kleineren Gewitter. Die vom Veszprémer oder Nagyvázsonyer Plateau her ziehenden



Fig. 16. Tageszirkulation über dem See

Gewitter scheinen sich, an den Plateaurand gelangt, entzweizutheilen. Die eine Partie zieht über Tihany gegen das Somogyer Ufer, die andere aber scheint sich am Plateaurand entlang weiter zu bewegen, um sodann gegen Kenese über dem Alföld zu verschwinden. Unzweifelhaft erfolgt hier keine Theilung, sondern es erwärmt sich jener Theil des Gewitters,

der vom Plateau in das Becken des Balaton hinabsteigt und scheidet keinen Niederschlag mehr aus. Dies der Grund, weshalb die Badegäste von Balatonfüred den sich zeigenden angenehmen Platzregen so häufig umsonst erwarten. Ist das Gewitter sehr heftig oder kommt es von SW, so bekommt natürlich auch Balatonfüred Regen.<sup>1</sup>

Bei weiterer Tageserwärmung entsteht in der zwischen dem kühlen Seewasser und dem erwärmten Boden der Umgebung befindliche Luftmasse wahrscheinlich eine Zirkulation. HANN<sup>2</sup> beschreibt eine ähnliche Erscheinung vom Kaspischen Meer, als eine im Winter und Sommer wechselnde monsunartige Zirkulation. Wahrscheinlich macht sich eine dem Wintermonsun ähnliche schwache Zirkulation bei der nachmittägigen Wolkenbildung über dem Meer fühlbar. Nachdem sich das Wasser des Meeres nicht so sehr erwärmt, als das Ufer, entstehen am letzteren den am Meeresufer vorhandenen Winden ähnliche schwache Strömungen auf der Erdoberfläche, während in der Höhe die Luft über dem Meer zusammenströmt, um dort ruhig herabzusinken und an der Oberfläche wieder auseinander zu strömen. (Fig. 16). — Diese Erscheinung muss theoretisch unbedingt zustande kommen, kann aber durch Zahlen und Beobachtungen schwer nachgewiesen werden, da die Strömungen sehr klein sind. Wie ein etwas stärkerer Wind über den See streicht, unterdrückt derselbe sofort diese Erscheinung, die namentlich aus den gewöhn-

<sup>1</sup> CHOLNOKY: Physikalische Geographie der Luft; p. 207.

<sup>2</sup> HANN: Lehrbuch der Meteorologie.

lichen meteorologischen Aufzeichnungen unmöglich nachgewiesen werden kann. Wenn ausser der fraglichen Erscheinung noch ein Wind von konstanter Richtung vorhanden ist, wird die Bewegung der Luftmolekel sehr kompliziert, da die beiden Bewegungen — wie dies Fig. 17 zeigt — einfach zusammengesetzt werden. In dieser Abbildung wurden die Strömungsrichtungen der monsunartigen Zirkulation mit einfachen Pfeilen bezeichnet, deren Länge die Geschwindigkeit des Windes anzeigen möge. Hiezu kommt nun ein horizontal streichender Wind von konstanter Richtung, welcher in der Figur mit punktierten Pfeilen versinnlicht wurde. Die sich ergebenden Resultanten sind mit doppelten Linien veranschaulicht und, wo sie mit den ersteren die gleiche Richtung verfolgen, neben dieselben gezeichnet. Wir sehen in der Figur, dass nun der Wind überall von Norden gegen Süden streicht, jedoch nicht überall mit gleicher Geschwindigkeit und hauptsächlich in den mittleren Niveau nicht überall horizontal; derselbe steigt vielmehr vor dem See aufwärts, seine Geschwindigkeit nimmt nach oben zu, während sie unten langsamer wird, steigt über dem See wieder herab und wird nun oben ruhiger, unten stärker, um schliesslich am südlichen Ufer aufzusteigen, wo sodann die Störung verschwindet. Die gewöhnlichen meteorologischen Aufzeichnungen könnten höchstens die kleinere Geschwindigkeit des Windes am nördlichen und die grössere Geschwindigkeit desselben am südlichen Ufer nachweisen, im übrigen wäre die Erscheinung aus denselben nicht erkennbar. Doch darf ihre Existenz nicht in Abrede gestellt

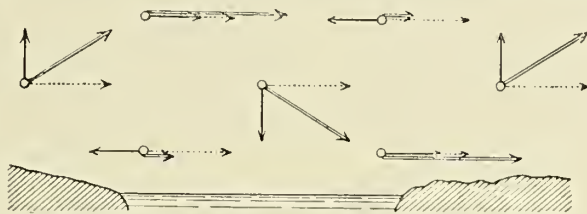


Fig. 17. Die Zusammensetzung der Tageszirkulation mit einem beständigen Wind.

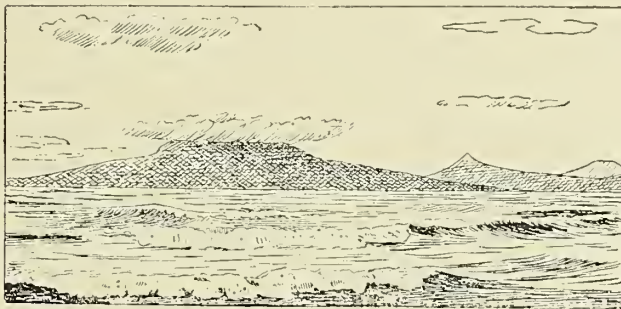


Fig. 18. Wolkenbildung am Badacsony.

werden; die Gesetze der Mechanik erfordern unbedingt eine derartige, wenn auch noch so schwache Zirkulation.

Einen gewichtigen Beweis hierfür liefert die Erfahrung, dass die nachmittägigen, um einzelne Knotenpunkte entstehenden Erhebungen und die damit Hand in Hand gehenden Cumulus- und Schirmbildungen die Ufer des Sees umringen, über den Seespiegel aber nicht vorhanden sind oder aber — wenn sie dorthin gelangen — sich auflösen. Ähnliches wird von den Luftschiffern auch über den Flüssen beobachtet, deren bereits einige mitgeteilt haben, dass in den gleichmässigen, welligen Wolkendecken schwindelnd tiefe Spalten sich über den Flusslinien

öffnen, was unzweifelhaft der durch das kühle Flusswasser hervorgerufenen schwachen wintermonsunartigen Zirkulation zugeschrieben werden kann.

Bei stark bewölktem Wetter oder bei Nacht versperrt der See den lokalen Gewittern den Weg nicht, sondern nur dann, wenn ein warmer sonnenklarer Tag dem kleinen lokalen Gewitter vorangegangen war.

Welche Wirkung derartige kleine Erhebungen auf die Wolkenbildung auszuüben vermögen, dafür verfüge ich bei dem Balatonsee über zwei glänzende Beispiele.

Das eine ist die beständige Wolkenbildung am Badacsony. Während wir über dem See und den umgebenden Hügeln rasch dahineilende Wolken erblicken, ist der flache First des Badacsony beständig von einer zerrissenen Wolke mit zerfetzten Rändern umgeben (Fig. 18), die sich selbst bei starkem Winde nicht in Bewegung setzt, obzwar sie ihre Form fortwährend verändert. Eigentlich ist es gar nicht ein und dieselbe Wolke, die wir sehen, sondern eine aus immer anderen Dunstpartikelchen zusammengesetzte Erscheinung, die jenen Theil der aufzusteigen genöthigten Luftströmung anzeigt, in welchem eine Abkühlung unter die Sättigungstemperatur erfolgt war. Diese Erscheinung benützen die Fischer zur Wetterprofezeiung und nicht mit Unrecht, da dieselbe für einen grossen Dunstgehalt der Luft spricht.<sup>1</sup>

Die zweite derartige interessante Erscheinung habe ich in Tihany an einem windigen, regnerischen Februarmorgen des Jahres 1901 beobachtet. Der westliche Theil der Halbinsel war vom Nebel verdeckt, aus welchem nur die dunkle Ostlehne des Csúcshegy hervorblickte. Es blies ein starker Westwind und der in Wolken zerreisende Nebel ballte sich gegen das Kloster zu. Das Dorf war ganz in Nebel gehüllt und von dem freien Platze bei der Kirche eröffnete sich nur hie und da ein Ausblick auf die Umgebung. An der im Windschatten befindlichen Steillehne unter dem Kloster aber konnte man sehen, dass die von den Anhöhen des Klosters hervordringenden Wolken einfach zu wirbeln beginnen, an der Lehne hinabstürzen und sich zertheilen, und zwar so vollständig, dass ich von hier unbehindert die Eisdecke des Sees übersehen konnte.

Und dieser Hügel, auf welchem das Kloster und die Kirche steht, erhebt sich kaum 80 m über den Seespiegel!

Die grösseren Wolken — seien sie nun Gewitterwolken oder sonstige Cumulostati etc. — sind gegen derartige kleine Erhebungen und über dem Wasser des Sees entstehende schwache Zirkulationen unempfindlich.

Die grösseren atmosphärischen Störungen, sowohl die anhaltenden Regen, als auch die heftigen Gewitter ziehen gewöhnlich, ja beinahe ausnahmslos, von W gegen E über den Balatonsee hinweg, wie dies aus den Daten des in Keszthely und Balatonfüred aufgestellten Barographen hervorgeht. Dieselbe Störung im Luftdruck gelangt binnen 1—2 Stunden von Keszthely nach Balatonfüred.

Doch kehren wir zu den Spiegelungen, resp. den Farben des wogenden Sees zurück.

Wenn sich über den See ein gleichmässiges blaues Firmament wölbt, so wird von allen Wellenböschungen mit beliebiger Streichrichtung und Neigung nur

---

<sup>1</sup> Dieser Erscheinung ist die Wolkenhülle des Table-Berges in Südafrika, das «Table-choth» vollkommen ähnlich.



die blaue Farbe in unser Auge reflektirt, ausgenommen die dunklen Schattenbilder des Ufers. In diese blaue Farbe spielt zwar auch die grüne Eigenfarbe des Seewassers hinein, jedoch ist die reflektirte blaue Farbe vorherrschend.

Das Licht wird aber von den Böschungen der Wellen nicht in gleichem Zustande reflektirt. Wenn wir eine einzige Wellenoberfläche betrachten, so sehen wir darin sehr verschiedene Objekte sich spiegeln. So spiegelt sich z. B. bei A die dem Zenith nahe befindliche Partie des Firmaments, bei C ein etwas tiefer gelegener Punkt und schliesslich bei D der untere Theil des Himmels (s. Fig. 19). Wenn der Himmel gleichförmig blau wäre, würde von jedem Punkte die gleiche blaue Farbe reflektirt werden, wenn die Wasseroberfläche ein vollkommener Spiegel wäre. So aber wird bei D der untere Theil des Himmels vollständig reflektirt, während die Spiegelung bei C mit viel Lichtverlust verbunden ist und bei B bereits ein so geringes Licht reflektirt wird, dass dasselbe durch das im Innern des Wassers zerstreute Licht vollkommen unterdrückt wird, welches letzteres hier mit dem geringsten Verlust in die Luft und sodann in unser Auge gelangen kann. Wenn die Farbe des Wassers grünlich oder gelblich ist, der Himmel aber — wie vorausgesetzt — ganz blau, so wird der Kamm der Welle intensiv blau erscheinen, während in der uns

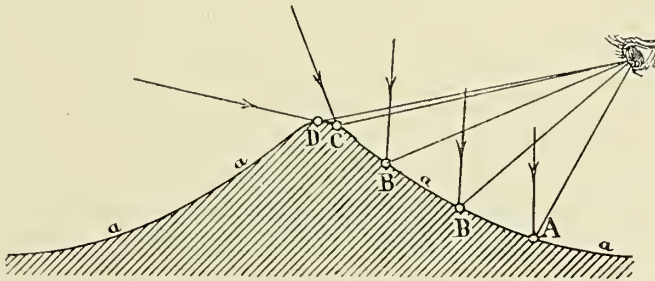


Fig. 19. Die vordere Böschung der Welle reflektirt verschiedene Punkte des Firmaments.

zugewendeten steilen Böschung auch die grünliche Eigenfarbe des Wassers zur Geltung kommt.

Ausserdem geschieht aber noch eine Veränderung. Das vom Punkte D reflektirte Licht ist natürliches Licht, während das bei C, insbesondere aber das bei B reflektirte polarisirt ist und mittels eines gekreuzten Nikols vollständig ausgelöscht werden kann.

Wenn also der Himmel auch vollkommen gleichmässig blau erscheint, so erweist es sich schon in diesem Falle für die Farbe des Sees nicht gleichgiltig, ob derselbe Wellen schlägt und wie steil die Böschungen der Wellen sind. Je steiler die uns zugewendete Böschung der Welle ist, umso dunkler erscheint uns die Farbe des Sees und umso mehr Grün ist in derselben vorhanden. Die Erscheinung wird demnach vom nördlichen und südlichen Ufer betrachtet, zur selben Zeit nicht dieselbe sein, da die Wellenböschungen gewöhnlich nicht gleichförmig steil sind, sondern ihre steilere Seite dem gegen den Wind gekehrten Beobachter zuwenden. Dies kann besonders an kleinen Seen gut beobachtet werden. Wenn die Oberfläche eines solchen kleinen Sees von einem frischen Winde gekräuselt wird, entstehen auf derselben sehr stark deformirte kleine Rippen. Blicken wir in der

Richtung des herrschenden Windes auf den kleinen See, so sehen wir die sanfteren Böschungen und es kann in diesem Falle das im Wasser oder am Grunde zerstreute Licht nur mit grossen Verlusten durch die Luft in unser Auge gelangen, während das blaue Licht des Himmels ohne Polarisation mit wenig Verlust an den sanften Böschungen reflektirt wird. Kehren wir uns nun gegen den Wind, so sehen wir die steilen Böschungen der Wellen, die grösstentheils dem Überschlagen sehr nahe sind. Von diesen kleinen steilen Böschungen wird das blaue Licht des Himmels mit so grossen Verlusten reflektirt, dass es uns nicht verhindern kann, in das Innere des Wassers zu blicken. Ist dasselbe ganz rein, so sehen wir den Seegrund, besitzt es aber eine Eigenfarbe, so scheint diese Farbe über den ganzen See ausgegossen.

Ganz anders verhält sich natürlich die Sache bei tiefen Seen mit reinem blauen Wasser, wie z. B. beim Léman. Bei diesen erhalten wir, ob sich nun der blaue Himmel darin spiegelt oder wir das im Wasser zerstreute Licht erblicken, immer ein blaues Licht. Nachdem der Himmel in unserem Klima nicht sehr dunkel zu sein pflegt, erscheint die Farbe der tiefen, reinen Seen dunkler, voller blau, wenn die uns zugekehrten Böschungen der Wellen steil sind, als wenn die sanften Böschungen den blauen Himmel widerspiegeln.

Selbst der vollkommen klare Himmel pflegt nicht von völlig gleichmässig blauer Farbe zu sein und das vom Himmel kommende blaue Licht befindet sich keinesfalls in einem gleichförmigen physikalischen Zustand. In der zu den Sonnenstrahlen senkrechten Richtung ist das blaue Licht des Himmels bekanntermassen stark polarisirt, während das Licht des um die Sonne oder derselben gegenüber liegenden Himmelstheiles nicht polarisirt ist. Den grössten Lichtverlust erleiden natürlich die Spiegelbilder jener Himmelspartien, deren Licht am meisten polarisirt ist, weshalb das Wasser des Sees in der zu den Sonnenstrahlen senkrechten und dem Winde entgegengesetzten Richtung am dunkelsten erscheint.

Es sind also im einfachsten Falle bereits wesentliche Komplikationen vorhanden. Noch abwechslungsreicher gestaltet sich aber die Erscheinung, wenn die Farbe des Himmels nicht gleichförmig ist, wie dies Morgens und Abends einzutreten pflegt.

Wenn wir den Himmel aus der Umgebung von Balatonfüred am späten Nachmittag beobachten, so sehen wir, dass über dem Südufer in der Nähe des Horizonts ein dunkler, bräunlich violetter Streifen immer höher und höher steigt. Über demselben folgt eine sehr blasse, gelblichweisse Zone, die im Zenith allmählich in das tiefste Blau übergeht, welche Farbe — wie bekannt — zur Zeit des Sonnenunterganges bereits stark polarisirt ist.

Bei Wellenschlag wird in diesem Falle von den Wellenböschungen bloss der hohe Himmel reflektirt und es erscheint der See blau. Wenn der Wasserspiegel aber völlig ruhig ist, werden wir den See von der Veranda der Villen oder aus den Gärten aus gesehen, rosafarbig finden, da sich die niedrigste Partie des Himmels längs des Horizonts widerspiegelt.

Am interessantesten wird der Anblick, wenn an der Seeoberfläche ein schwacher Luftzug dahinstreicht, der dieselbe nur stellenweise zu kräuseln vermag. Bekanntermassen ist keine horizontale Bewegung imstande die Oberflächenspannung

des Wassers zu brechen, wenn ihre Geschwindigkeit nicht 30 cm/sec. beträgt. Wenn also die Geschwindigkeit des Windes gerade zwischen 20 40 cm/sec. schwankt, entstehen an einzelnen Stellen Kräuselungen oder kleine Kapillarwellen, während die Wasseroberfläche an den Punkten, wo die Geschwindigkeit kleiner als 30 cm/sec. ist, vollkommen ruhig bleibt. Nachdem sich die Geschwindigkeit des Windes rasch verändert, bald schwächer, bald in einzelnen Stößen stärker wird, verändern sich die Flecken auf der Seeoberfläche, wo Kräuselungen vorhanden, oder die völlig glatt sind, sehr rasch. Die gekräuselten Stellen sind stets mit einer Zone von Kapillarwellen umgeben, was natürlich ist, da die Geschwindigkeit allmählich in eine kleinere oder grössere übergeht. Hat z. B. der Wind an einer Stelle die Geschwindigkeit von 30 cm/sec. nicht erreicht und streicht plötzlich ein etwas rascherer Luftzug über dieselbe, so entstehen wie auf einen Zauberschlag die «moiré»-artigen Kapillarwellen, um aber, — wenn der Luftzug nur kurze Zeit anhält — sofort wieder zu verschwinden. Im nächsten Moment kann die Geschwindigkeit der Luftströmung an dieser Stelle abermals zunehmen und jetzt bereits etwas länger andauern. An Stelle der Kapillarwellen entstehen nunmehr kleine Kräuselungen, deren asymmetrische Wellen rasch am Kahn vorbeihuschen.

So können wir denn auf dem von kleinen Wellen bewegten Wasser einzelne Flecken beobachten, deren Glätte bereits vom weiten auffällt. Auch FOREL<sup>1</sup> hat dieselben am Léman beobachtet und sie als «*taches d'huile*» bezeichnet. Es sind dies keine Ölflecken, auch nicht etwa Planktonerscheinungen, sondern einfach solche Stellen, wo die Geschwindigkeit der Luftströmung 0·3 m pro Sekunde nicht erreicht.

Wenn sich an der Seeoberfläche solche Flecken verschiedenen Zustandes befinden, so sehen wir am späten Nachmittag von den Zalaer Bergen ein in dem kolorirten Bilde der Taf. I dargestelltes Landschaftsbild. Wo das Wasser des Sees vollkommen glatt ist, spiegelt es die rosafarbige oder violettbräunliche untere Himmelspartie wieder; wo es aber lebhaft gekräuselt ist, reflektiren die schiefen Spiegelflächen die blaue Farbe der oberen Himmelspartien. Ein jeder derartiger blauer Fleck wird durch einen ziemlich scharf begrenzten weissen Rahmen umgeben. Die blaue Farbe geht nicht mit einer verwaschenen weissen Nuance, allmählig ins Rosafarbige über, sondern es besitzt vielmehr thatsächlich ein jeder solcher weisser Streifen ziemlich scharfe Konturen. Es ist dies jene Stelle, wo durch den Wind Kapillarwellen hervorgerufen wurden, die bestimmte Dimensionen haben, deren Böschungen aber einen viel kleineren Neigungswinkel besitzen als die Kräuselungswellen. Diese kleinen Runzeln spiegeln die weisse Himmelspartie wieder, wodurch sie beweisen, dass unter den Wellenböschungen kein allmählicher Übergang, sondern in der That ein Sprung vorhanden ist, da die Kapillarwellen zu wirklichen kleinen Wellen, von der Grösse einer Handfläche werden. Die beiden müssen demnach wesentlich von einander unterschieden werden.

An der rechten Seite des Bildes ist die dunkle Kontur der Tihanyer Halbinsel sichtbar. Dieselbe spiegelt sich dort, wo die Wasseroberfläche glatt ist, also sonst rosafärbig wäre, doch unterbleibt ihr Spiegelbild an den wellenschlagenden, gekräuselten Stellen, wo die Kräuselungen den Himmel widerspiegeln.

Die hier beschriebene Erscheinung ist sehr häufig, sie wiederholt sich sozu-

<sup>1</sup> FOREL: Le Léman. I. Theil, pag. 241.

sagen an jedem ruhigen Sommernachmittag und Abend. Zur Illustration dessen, wie viele Variationen derselben vorkommen können, möge hier jene Abbildung Platz finden, welche ich am Abend des 14. August 1899 von der Terrasse des Esterházy-Restaurants skizzirt habe (Fig. 20). Die Sonne war bereits untergegangen; über dem südlichen Horizont war die neutrallilafarbige Dämmerung ziemlich hoch gestiegen, welche als der Schatten des unteren wenig durchsichtigen Theiles der Luft auf den entfernteren Luftschichten bezeichnet werden könnte. Über derselben breitete sich ein röthlicher Streifen aus. Während nämlich an der vorhergehenden Stelle die in der Luft schwebenden Staubkörner nur sehr wenig Licht mehr von der Sonne erhalten, können sogar die rothen Strahlen mit ihren grössten Schwingungen noch hieher gelangen. Es ist dies dieselbe Erscheinung, in Folge welcher uns die unter- oder aufgehende Sonne blutroth zu erscheinen pflegt. Über dem röthlichen Streifen erschien weisses Licht am Himmel, das gegen den Zenith allmählich ins Blaue überging.

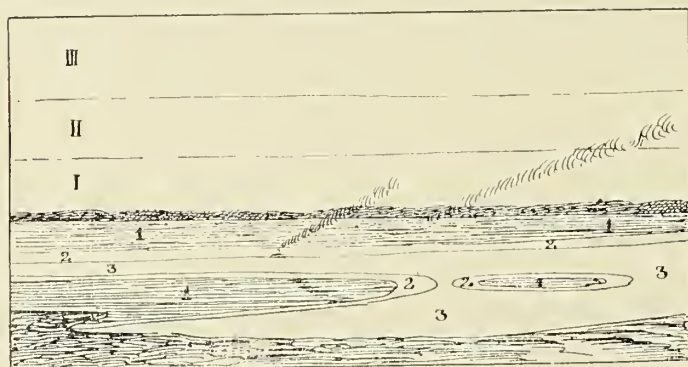


Fig. 20. Die Farben des Balatonsees am Abend des 14. August 1899 von Balatonfüred gesehen.

- |  |  |
|--|--|
| I. Der neutrale dunkle Theil des Himmels.              | 1. Neutrale, dunkle Flecken am See.            |
| II. Röthliche Zone am Himmel.                          | 2. Schöne röthliche Streifen um die ersteren.  |
| III. Vom Weissen ins Blaue übergehende Zone am Himmel. | 3. Lebhaftblaue, vom Wind gekräuselte Stellen. |

Die Seeoberfläche wurde stellenweise von einem leisen Wind gekräuselt. Die spiegelglatten Stellen erschienen in neutraler Farbe ziemlich dunkel, da sie die untere Partie des Himmels wiederspiegelten. Diese Flecken waren mit röthlichen Streifen von scharfen Konturen umgeben. Die vom Wind gekräuselten Stellen zeigten eine lebhaft hellblaue Farbe. Die Glätte der neutralfärbigen, dunklen Flecken war auch dadurch bewiesen, dass sich an dieser Stelle der Rauch des sich entfernenden Schiffes vollkommen scharf spiegelte.

Ich habe in dieser kleinen Skizze noch einen wichtigen Umstand festgehalten, wodurch eben bewiesen wird, dass die Flecken der Oberfläche durch die in der Geschwindigkeit des Windes eintretenden Veränderungen hervorgerufen werden. Bevor ich noch die Skizze zu zeichnen begonnen hatte, war der See sozusagen vollständig glatt, der Rauch des Dampfschiffes blieb in einer regelmässigen, geraden Linie hinter demselben zurück, aber nicht genau über der Spur des Schiffes, sondern etwas gegen Westen von derselben abgewendet, was darauf hinweist, dass schon damals ein schwacher Ostwind bliess. Die gerade Rauchlinie wurde sodann

plötzlich unterbrochen und ich sah den neuerdings hervorqualmenden Rauch viel steiler emporsteigen und viel mehr gegen Westen abbiegen. Wahrscheinlich war eine kühlere und stärkere Luftströmung von NE gekommen, durch welche der grösste Theil des Sees sofort aufgekräuselt wurde. Der alte Rauch bewegte sich aber noch immer träge gegen Westen, gerade über einer «tache d'huile», damit anzeigend, dass dort die Geschwindigkeit des Windes eine geringere war.<sup>1</sup>

Es gereichte mir zu grosser Freude, als mir der Maler EUGEN KOSZKOL einige Balatonsee-Bilder zeigte, von denen eines wir im I. Bilde der II. Tafel getreu wiederzugeben bestrebt waren. Das Bild wurde in Keszthely, am späten Nachmittag angefertigt. Am Ufer ist das Wasser spiegelglatt und es spiegelt sich hier von der dunklen, lilafärbigen Dämmerung des Horizonts aufwärts bis zum hellblauen Himmel jede Farbe mit allmählichen Übergängen wider, wie dies auch am Himmel sichtbar war. Draussen am See herrscht aber ein Wind, der die Segel der dort sichtbaren Yachten bläht. Diese Stelle erscheint blassblau mit einem lebhaft rosafärbigen Streifen begrenzt. Sowohl die innere, als auch die äussere Grenze dieses rosafärbigen Streifens ist scharf; hier gibt es keinen allmählichen Übergang in den Farben und deshalb auch keinen allmählichen Übergang in den Böschungen der Wellen; auf die spiegelglatte Wasserfläche folgen sofort die Kapillarwellen und jenseits derselben beginnen sogleich die Kräuselungen.

Natürlich ist das Farbenspiel des Sees bei Sonnenuntergang vom südlichen Ufer betrachtet viel mannigfaltiger, als vom nördlichen Ufer, nachdem sich der westliche Himmel mit der ganzen Pracht der Abendröthe im Hintergrund des Landschaftsbildes befindet. Doch werden diese Erscheinungen einesteils durch die goldene Brücke der Sonne unterdrückt, anderseits finden wir nur an wenigen Stellen einen genügend hohen Standpunkt, von wo aus der See ohne eine sehr starke perspektivische Verkürzung überblickt werden kann.

Das schönste Farbenspiel wird auf dem See durch die Abendröthe in dem Falle hervorgebracht, wenn bei Tag ein starker Wellengang herrschte, der Wind sich aber gegen Abend legte und flache, glatte Wellen am See dahinrollen. Es bietet sich in diesem Falle dem Kahnfahrer ein Bild von märchenhafter Schönheit.

---

<sup>1</sup> Bei derselben Gelegenheit beobachtete ich auch jene Erscheinung wieder, nach deren Ursache von mehreren Seiten Fragen gestellt wurden. Ich glaube, jeder dürfte bereits die Erscheinung beobachtet haben, dass die untergehende Sonne manchmal glänzende Strahlenbündel in radialer Richtung durch die Wolken hindurch sendet. Die Erklärung derselben ist zur Genüge bekannt. Die Sonnenstrahlen beleuchten, durch die Wolkenspalten hervorbrechend, den feinen Staub der Luft. Dies sind die radialen Strahlen. Die dunkleren Partien zwischen denselben repräsentiren die Schatten der Wolken. Viel seltener kommt es aber vor, dass auch am Ost-Himmel derartige, aus irgend einem Punkte ausstrahlende radiale Lichtgarben sichtbar sind, als wäre dort ein anderer Himmelskörper von schwächerem Lichte, im Aufgehen begriffen. Die Erklärung dieser Erscheinung ist sehr einfach. Jene radialen Garben, die wir von der untergehenden Sonne ausstrahlen sehen, laufen nur scheinbar in einem Punkte zusammen, da sie in Wirklichkeit parallel sind, es ist doch eine jede derselben ein Strahlenbündel der Sonne! Sie erscheinen bloss infolge der Perspektive konvergierend, gerade so, wie der Maler Schienenstränge oder die beiden parallelen Ränder der Landstrasse konvergierend zeichnet. Die lichten Strahlenbündel durchdringen über unserem Haupte hinweg gegen Osten zu die ganze Atmosphäre und scheinen dort, wenn wir ihnen nachsehen, infolge der Perspektive wieder zusammenzutreffen. Dies steht ausser Zweifel. Doch kann ich mir nicht erklären, wie diese Erscheinung von der Fliege gesehen wird, deren Auge den ganzen Himmel auf einmal überblickt. Erscheinen die geraden Linien in der Perspektive der Fliege als Kurven?

Die verschiedenen geneigten Böschungen der nahen Wellen prangen in den verschiedensten Farben und nachdem zu dieser Tageszeit das in das Wasser gelangende Licht bereits sehr schwach ist und unter den Böschungen der Wellen steile kaum vorkommen, wird die Wirkung der Spiegelung durch die trübe grünlich-graue Eigenfarbe des Wassers nicht gestört. Durch die vordere Böschung der nahen Wellen werden die höheren Himmelspartien wiedergespiegelt, die noch immer bläulich gefärbt sind und deren Licht in der Regel stark polarisirt ist, so dass ein starker Lichtverlust die Spiegelung begleitet. Durch den obersten Theil der vorderen Böschungen wird die obere, glänzende gelbliche Partie der Abendröthe, durch den Wellenkamm selbst aber das intensivste rothe Licht reflektirt. Überdies sind auch die hinteren Böschungen der Wellen sichtbar, welche das schwärzliche Laub und die dunklen Silhouetten des nahen Ufers widerspiegeln, was dem Bilde eine wunderbar satte Tiefe verleiht.

Zum brillantesten Schauspiel steigert sich diese Erscheinung, wenn der Wellenschlag kein einfacher ist, sondern eine sog. «rebegeés» über den ganzen See geht, wobei die Farben mit feenartigem Flimmern rasch erscheinen und verschwinden. Diese Erscheinung ist vor der Szántóder Fähre am häufigsten, wo sich die aus den beiden Seebecken von zwei Richtungen kommenden Wellen zu kreuzen pflegen und über dem tiefen Wasser ruhig dahinrollen können.

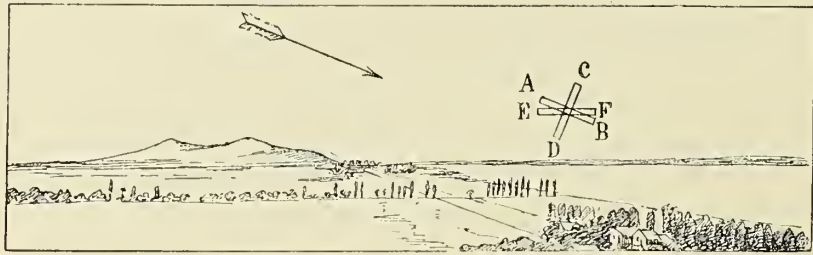


Fig. 21. Ausblick vom Boglárer Várhegy gegen Fonyód am 8. Oktober 1900.  
(Der Pfeil bezeichnet die Richtung der Sonnenstrahlen.)

Der stellenweise Wellenschlag kann aber nicht nur Abends, sondern auch bei Tag sehr viel Variationen hervorbringen. Zur Illustration dessen möge hier jene Beobachtung beschrieben werden, welche ich am 8. Oktober 1900 v. M. 10<sup>h</sup> vom Boglárer Várhegy aus machte.

Der Sonnengang war bereits ziemlich niedrig und es standen die Strahlen um 10 Uhr Vormittags annähernd senkrecht zur Richtung des südlichen Ufers. Gegen Westen überblicken wir die grossen Lagunen von Boglár, die jetzt trocken liegen und im Hintergrund schliesst der Doppelkegel von Fonyód die weitere Aussicht ab (Fig. 21.). Der Wasserspiegel ist vollkommen glatt, nur hie und da von einer Lufströmung gestört. Diese gekräuselten Stellen sind gegen Westen schön blau gefärbt. Durch einen Nikol betrachtet, können wir in zwei Richtungen eine Auslöschung konstatiren. 1 Wenn der Nikol auf die Sonnenstrahlen vertikal steht ( $C-D$ ), 2. in horizontaler Stellung ( $E-F$ ), während das Bild in der Stellung  $A-B$ , wenn die längere Seite der Nikolspalte mit den Sonnenstrahlen parallel ist, am hellsten erscheint.<sup>1</sup> Im ersten Falle verschwindet das blaue Licht vor dem in

<sup>1</sup> Man möge diese lapidare Bestimmung entschuldigen; es wäre jedoch sehr umständlich und langweilig, die präzise Bezeichnung fortwährend zu wiederholen.

der Lage  $C-D$  befindlichen Prisma eigentlich infolge der Polarisation der Farbe des Himmels; im zweiten Falle aber erfolgt die Auslöschung infolge der durch die Wellenflächen verursachten Polarisation. Wenn sich der Nikol in der Stellung  $C-D$  befindet, erscheint der gekräuselte Theil des Sees dunkler als die trockene Rasendecke der Lagune. Gegen Nord-Nordwesten ausblickend, wird jener Theil des Himmels von den kleinen Wellen der gekräuselten Strecken wiedergespiegelt, dessen Licht nur wenig polarisirt ist. Die hier sichtbaren Flecken sind etwas heller blau, verschwinden aber nur bei horizontalem Nikol; ihr Licht ist daher in einer vertikalen Ebene polarisirt.

Gegen Osten ist der Himmel beinahe weiss. Betrachten wir denselben durch einen in der Lage  $A-B$  befindlichen Nikol (Fig. 22.), so werden wir mit Überraschung beobachten, dass auf dem bisher einfarbig weisslichen Himmel Wolken auf schmutzigem, bläulichgrauem Firmament hervortreten. Das Licht der Wolken ist nämlich nicht polarisirt, während das des Himmels, welches nur durch einen geringen Nebel getrübt wird, gerade hier am stärksten polarisirt erscheint.<sup>1</sup>

Ein Theil des Sees wird von einem SE-Wind gekräuselt und es erscheint hier der See (1) dem freien Auge dunkel, bläulichgrün. Betrachten wir denselben durch

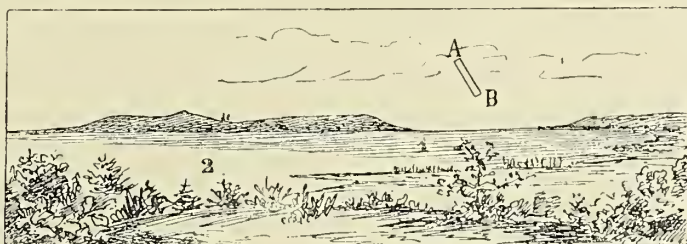


Fig. 22. Ausblick vom Boglárer Várhegy gegen Tihany am  
8. Oktober 1900.

einen in der Lage  $A-B$  befindlichen Nikol, so löschen wir hiedurch die Spiegelung des Himmels aus und nun erscheint dieser Fleck in ganz grüner Farbe, wie sie der See bei Gewittern zu zeigen pflegt. Die mit 2 bezeichnete Fläche ist spiegelglatt und erscheint dem freien Auge etwas bläulich, aber beinahe schneeweiss. Durch den in der Richtung  $A-B$  befindlichen Nikol betrachtet, ist dieselbe ebenso dunkel wie die erste Stelle, da doch auch diese glatte Strecke den am stärksten polarisirten Theil des Himmels wiederspiegelt.

Auch aus diesem Falle ist ersichtlich, wie vielerlei Variationen selbst bei der einfachsten Beleuchtung möglich sind.

Es dürfte wohl bereits einem jeden aufgefallen sein, welch schöne smaragdgrüne Farbe der See zeigt, wenn sich hinter demselben dunkle Gewitterwolken aufthürmen.

<sup>1</sup> Könnte diese auffallende Erscheinung nicht zum Photographiren von feingezeichneten Wolken benützt werden? Wir besitzen kaum einige gute Cirrus-Aufnahmen und ich glaube, dass man auf diese Weise gute Bilder herstellen könnte.

Nach dem Bisherigen lässt sich diese Erscheinung leicht erklären. Die dunkle Gewitterwolke besitzt verhältnissmässig wenig Licht und es gelangt von der Seeoberfläche bloss dieses wenige Licht infolge Spiegelung in unser Auge. Hinter uns ist der Himmel aber gewöhnlich noch hell und es wird das Wasser durch diesen Theil desselben beleuchtet. In der Regel bläst der Wind aus der Richtung des Gewitters und verursacht schäumende Wellen. Durch die uns zugekehrten sehr steilen Böschungen der Wellen dringt das hinter uns befindliche Licht ein und durch eben dieselben sehen wir in das Innere des Wassers, dessen gelblichgrüne Farbe hiebei zur vollständigen Geltung kommt. Die Farbenwirkung wird noch befremdender infolge des weissen Schaumes, welcher durch das Überschlagen der Wellen hervorgerufen wird.<sup>1</sup>

Eine andere schöne Erscheinung hat auch eine ähnliche Ursache. Bei regnerischem, trübem Wetter sehen wir an einzelnen Stellen des Sees smaragdgrüne Flecken erscheinen, die mit ihrem an Phosphorescenz erinnernden Lichte sich aus der allgemein grauen Umgebung scharf hervorheben. An solchen Stellen stiehlt sich ein Sonnenstrahl durch irgend eine Wolkenspalte und leuchtet ins Wasser hinein, von wo er zerstreut als smaragdgrünes Licht abermals herausdringt, dessen Intensität durch kein reflektirtes Licht geschwächt wird, da doch der Himmel rings umwölkt und regnerisch ist.

Die graue, eintönige Wolkendecke, deren Licht immerhin doch ziemlich stark ist, zaubert eine eintönige, graue Farbe auf den See, insbesondere wenn derselbe Wellen schlägt (Taf. II., Fig. 2.).

Die Cumulus-Wolken sind übrigens bei klarem Wetter von zweifacher Wirkung auf die Färbung des Sees. Erstens fällt ihr Schatten auf das Wasser. An den beschatteten Stellen wird das im Wasser zerstreute Licht schwächer, nachdem die Sonnenstrahlen in dasselbe nicht eindringen können, die Spiegelung des blauen Himmels aber ungehindert andauert. Solche Stellen erscheinen also in Form dunkelbläulicher Flecken.

Die zweite Wirkung der Wolken besteht in der Spiegelung derselben. Wo sich am Hintergrund statt des blauen Himmels eine glänzend weisse Cumulus-Wolke befindet, dort erkennen wir auch an der Wasserfläche in Form einer breiten goldenen Brücke das Spiegelbild derselben. Bei Abenddämmerung erscheinen diese Wolken in schöner Rosafarbe, was auch vom Wasser wiedergegeben wird.

Bei einer Bewölkung von mannigfaltiger Färbung und Dunkelheit kann eine unendliche Mannigfaltigkeit entstehen, deren eingehende Erörterung — wie ich glaube — gänzlich überflüssig ist.

---

<sup>1</sup> Diese Erscheinung wird von sehr vielen Malern, die nicht nach der Natur die Farben auftragen, fehlerhaft gemalt. Es liegt mir das Bild eines unserer ungarischen Maler in getreuem Farbendruck vor. Dasselbe stellt die Gegend von Badacsony dar; im Hintergrund sind dunkle Gewitterwolken sichtbar, während über dem Haupte des Beobachters der Himmel klar zu sein scheint. Der Maler stellt das Wasser unter der finsternen Wolke einfach schwarz dar, da sich ja diese darin widerspiegelt, vergisst aber dabei die grünlich leuchtende Eigenfarbe des Wassers, durch welche die wunderbarsten Farbeffekte zustandekommen.



**Zusammenfassung.** Die Farbe des Seewassers hängt, von weitem betrachtet, von den folgenden Umständen ab:

1. Von der Eigenfarbe des Seewassers, die zwischen den höchsten Graden der FOREL'schen Farbenskala zu schwanken pflegt.

2. Vom Zustande der Wasseroberfläche des Sees. Die Erscheinungen der glatten Wasseroberfläche sind einfacher als die der bewegten, welche komplizierte Farben- und Lichterscheinungen zeigt.

3. Die Farbe des Himmels ist einer der wichtigsten Umstände, da sich gewöhnlich dieser in unserem von niedrigen Ufern umgebenen, weitläufigen See spiegelt.

4. Die Erscheinungen können auch bei klarem Himmel sehr mannigfaltig sein, je nachdem sich im Hintergrund der betrachteten Landschaft der ein natürliches Licht ausstrahlende oder aber polarisiertes Licht aufweisende Theil des Himmels befindet.

5. Zu sehr interessanten, aber sozusagen unentwirrbaren Erörterungen führte die Erforschung der «goldenen Brücke» der Sonne und des Mondes, welche uns zu einer Methode zur Bestimmung der steilsten Wellenböschung geführt hat.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Es sei mir gestattet, eine Bemerkung auf einen Passus der in FOREL'S: *Le Léman*, Bd. II. auf pag. 514 mitgetheilten Erklärung zu der auf pag. 513 befindlichen Fig. 129 zu knüpfen. Die Figur stellt einen doppelten Regenbogen dar. Der eine wird von den Strahlen der wirklichen Sonne in den Regentropfen hervorgerufen, der andere durch das Spiegelbild der Sonne, welches bei genügend niedrigem Stande der Sonne hinlänglich Licht zur Hervorrufung eines Regenbogens besitzt. Eine ähnliche Erscheinung erwähnte mir weil. Prof. M. KLIMM vom Inundationsgebiet des Flusses Tisza. Die Bogenpaare der beiden Regenbögen, also insgesamt vier Bögen scheinen einander beiläufig (*à peu près*) im Seeniveau zu schneiden, setzen sich aber dann auch unter dem scheinbaren Horizont fort. Der Beobachter, PALÉRIEUX und mit ihm auch FOREL, hält diese, vor dem Wasser des Sees sichtbare Partie für das Spiegelbild des ersteren. Dies ist ein Irrtum. Der Regenbogen kann sich nicht spiegeln, ist er doch bloß ein Lichtphänomen, nicht aber ein färbiges Objekt. Dass die vor dem Wasser des Sees sichtbare Partie nicht das Spiegelbild des wirklichen Regenbogens ist, verräth übrigens auch die Figur selbst. Die beiden Systeme müssen sich nämlich aus leicht verständlichen Gründen nicht im scheinbaren sondern im wirklichen Horizont schneiden und deshalb könnten die Spiegelbilder nicht die Fortsetzungen der ursprünglichen Bögen sein, es müssten sich dort vielmehr kleine Verschiebungen zeigen, die der Beobachter unbedingt wahrgenommen hätte. Die vor dem Wasser des Sees sichtbaren Partien der Regenbögen rühren wahrscheinlich daher, dass der Regen dem Beobachter näher gelegen war, als der Horizont des Wasserspiegels.

## VI. KAPITEL.

### EINIGE SONSTIGE LICHTERSCHEINUNGEN.

Nach dem Bisherigen erübrigt mir nur mehr wenig über die am See sich zeigenden optischen Erscheinungen zu berichten, namentlich wenig über solche, die sich speziell auf den Balatonsee beziehen, nachdem der grösste Theil der Erscheinungen sozusagen über jedem stehenden Gewässer vorkommt.

1. Die Luftspiegelung ist am Balaton des Morgens eine sehr häufige, man könnte sagen tägliche Erscheinung. Auch hier entsteht die Luftspiegelung, wie am Alfvöld, wenn die untersten Luftschichten wärmer sind, als die oberen. Hiezu kommt noch die Sättigung der unmittelbar über dem Wasser befindlichen Luftschichte mit Wasserdampf, deren spezifisches Gewicht daher kleiner ist, als das der darüber sich ausbreitenden trockeneren Luftschichten; überdies besitzt sie auch

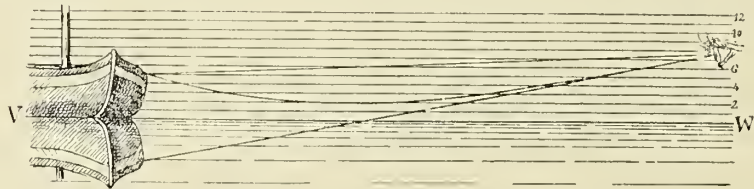


Fig. 23. Die Entstehung der Luftspiegelung.

ein kleineres Brechungsvermögen. Wenn die Luft über dem Wasser derart lagert, dass von unten nach oben das Lichtbrechungsvermögen (oder man kann sagen: die Dichtigkeit) der Luftschichten bis zu einer gewissen Höhe zunimmt, es stellt sich die in Fig 23 abgebildete Erscheinung ein. Von aus einem Punkte ausgehenden Lichtstrahlen gelangen zwei in unser Auge. Der eine etwas gebogen, aber nicht reflektirt, der andere gebogen, an einer Stelle sogar vollkommen reflektirt. Dieser letztere Lichtstrahl biegt sich von der Einfallsnormalen immer weiter weg, nachdem er durch immer dünnere Medien hindurchdringt, bis er an einem Punkte völlig reflektirt, seinen Weg in dem immer dichter werdenden Medium aufwärts nimmt, um schliesslich in unser Auge zu gelangen. Das Auge sieht das Bild in der Richtung des letzten Strahlenelements, also von einem Punkte zwei Bilder: ein wirkliches und ein Spiegelbild.

Eine sehr starke Luftspiegelung habe ich am 7 September 1895 vor Balaton-

füred früh Morgens beobachtet (Fig. 24.). Die Temperatur des Wassers war an der Oberfläche 23,4°C, die der Luft aber 10—12° C. Durch das warme Wasser wurde die unmittelbar über demselben befindliche Luftschichte erwärmt und dies war die Ursache der starken Spiegelung. Ich fuhr auf dem kleinen Motorschiff der Kommission aus der Bucht von Kereked ab und an dem Badehaus von Bala-



Fig. 24. Luftspiegelung vor Balatonfüred am 7. September 1895.

tonfüred vorüber. Sowohl das Badehaus, als auch die dort befindlichen Eisbrecher und Kähne erschienen über ihren eigenen Spiegelbildern stehend stark emporgehoben. Das zweite Spiegelbild der Objekte war auf dem schwach bewegten Seespiegel verwaschen gleichfalls zustande gekommen. Zur selben Zeit zeigten sich die Uferlinien überall auf ihren eigenen Spiegelbildern emporgehoben (resp. das Wasser hinabgedrückt.)

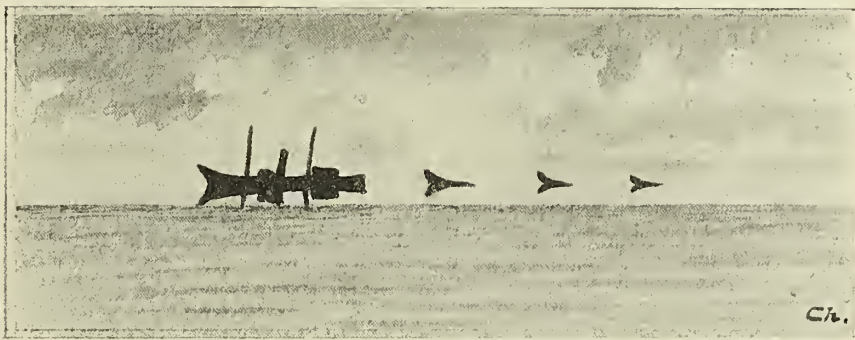


Fig. 25. Luftspiegelung am Balatonsee am 25. September 1896.

Eine ähnliche Erscheinung beobachtete ich am 25. September 1896 Morgens sieben einhalb Uhr beiläufig in der Mitte des Sees. Ein Dampfer zog drei Schleppe-schiffe nach sich. Dieselben waren schwer beladen und es ragte bloß ihr Bug aus dem Wasser hoch empor, während die übrigen Theile des Schiffes von der Spiegelung verdeckt wurden, welche die sichtbaren Theile getreu wiedergab. (Fig. 25.).

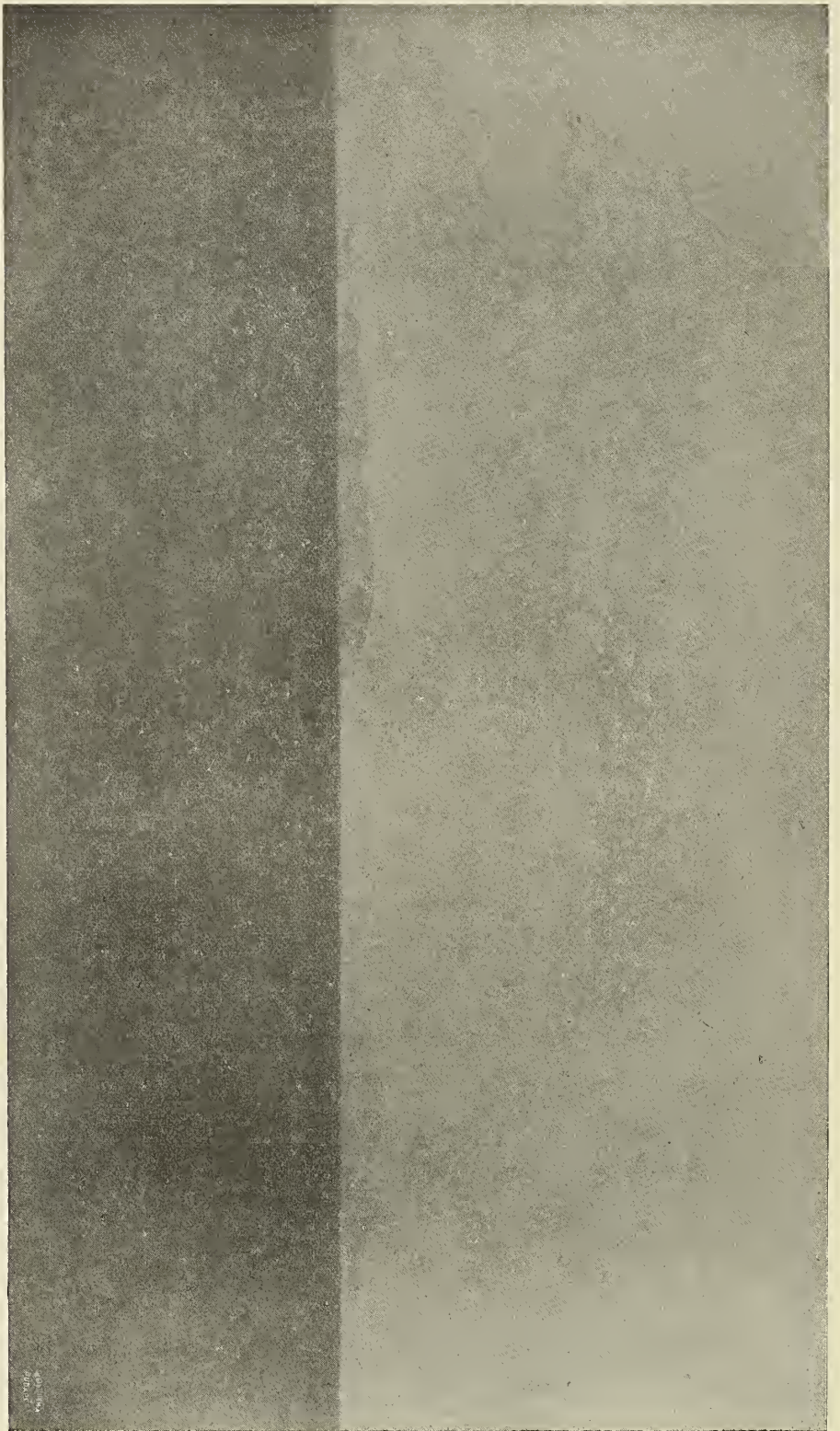


Fig. 26. Teleobjectiv-Photographie der Luftspiegelung. Ausblick von Tihany gegen Boglár und Fonyód.

Am häufigsten aber ist die Erscheinung, dass sich die Enden der dunklen in den See vorspringenden Uferpartien gleichsam in die Luft erheben (Fig. 26). Diese Erscheinung besitzt so zahllose Variationen, dass es unmöglich wäre, dieselben zu detailliren. Fig. 26 ist eine mittels Teleobjektiv hergestellten photographische Aufnahme.

Der photographische Apparat war auf der Südspitze von Tihany aufgestellt; von den in der Ferne sichtbaren Bergen ist der nähere, der Várhegy von Boglár, der entferntere der Berg von Fonyód. Links vom Boglärer Berg scheinen sich die niedrigen Uferpartien ganz in die Luft zu erheben und verschwinden stellenweise gänzlich zwischen den spiegelnden Luftschichten.

Interessant ist zu bemerken, dass gerade so, wie die Lichtstrahlen in den verschieden dichten Luftschichten eine Krümmung erleiden, auch die Schallwellen einer solchen unterworfen sind. So verbreitet sich der in Fig. 27 bei  $H$  entstandene Schall unter gewöhnlichen Verhältnissen, da die unteren Luftschichten bedeutend dichter sind, als die oberen, mit den Wellenflächen  $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2 \dots$  und es ist die Richtung der Fortpflanzung durch die punktirten Linien angegeben.

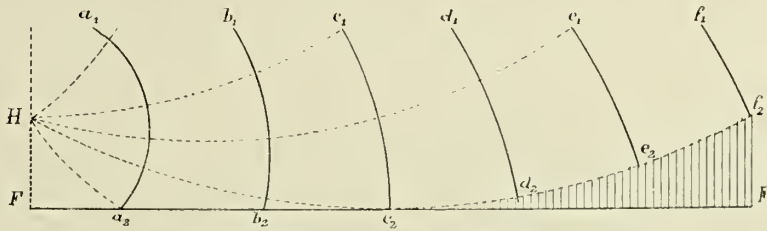


Fig. 27. Das Weiterverbreiten der Schallwellen.

Auf den schraffirten Theil der Figur gelangen somit keine Schallwellen, weshalb hier der Schall nicht gehört werden kann. Dies pflegt auch beim Schall der Tihanyer Glocken der Fall zu sein, so dass man denselben bei gewöhnlichem Wetter in Balatonfüred nicht hört. Wenn aber die Temperatur- und Dichtigkeitsvertheilung der Luft eine nach aufwärts sehr langsam abnehmende ist, verbreiten sich die Schallwellen in einer viel geraderen Richtung und es wird der Schall an der Seeoberfläche auf beträchtliche Entfernungen hörbar. In Balatonfüred herrscht der Glaube, dass schlechtes Wetter zu erwarten ist, wenn man die Kirchenglocken von Tihany läuten hört. Zum Theil ist der Westwind, hauptsächlich aber die geringe Stabilität der Luft bei Windstille die Ursache der weiten Hörbarkeit des Schalls und so ist diese «Bauernregel» auch theoretisch motivirt, da dem unruhigen, gewitterschwangeren Wetter gewöhnlich eine geringe Stabilität der Luft vorausgeht. Derselbe Glaube lebt auch in Somogy, und bezieht sich hier auf die von Zala kommenden Töne.

2. Der Nebel bietet häufig ein sehr schönes Schauspiel. Oft bedeckt er die Seeoberfläche vollständig, während die sie umgebenden Hügel aus dem Nebelmeer emporragen und im Glanze der Herbstsonne prangen. Ein andermal wieder beschränkt er sich nur auf einen Theil des Sees, während die übrigen Partien klar erscheinen.

Einen schönen Anblick bot am 11. Oktober 1895 das Herabsinken des Nebels auf den See. Der Nebel kam von der Südspitze der Halbinsel Tihany mit einem SSW-Wind, wie ein riesenhafter Rauchballen mit scharfen Konturen und gleichmässig hohem Knäuel auf den See. Er bedeckte einen sehr beträchtlichen Theil desselben, um nach kaum einer Stunde emporzusteigen und die Uferpartien wieder klar erscheinen zu lassen (Fig. 28.).

Einen noch schöneren Anblick gewährt der Nebel, wenn er plötzlich aufreißt und die Berge hervortreten. Der Mensch vermag sich im Nebel nicht gut zu orientiren und verliert auch das Schätzungsvermögen für die Höhenverhältnisse. Wenn dann der Nebel plötzlich auseinander reißt und z. B. der malerische Felsengipfel des Badacsony zum Vorschein kommt, erscheinen die einige hundert Meter hohen Hügel dem Auge als Bergriesen.

Am interessantesten sind aber jene Täuschungen, denen man am Eise ausgesetzt ist, wenn sich auf den festgefrorenen See Nebel herabsenken. Ist das Eis rein, so bieten seine Ungleichmässigkeiten und Unebenheiten etc. einige Abwechslung, was in gewissem Masse orientirt. Breitet sich aber eine frische Schneedecke über dem Eise aus, so ist es mit jeder Orientirung zu Ende: ringsum, oben und unten, rechts und links überall das gleiche einförmige Weiss in dessen Mitte man wie in der Unendlichkeit steht. Ist der Schnee fest geworden, so sind nicht einmal die Fussspuren sichtbar und dies Gefühl der Einsamkeit, des formlosen Nichts vollständig. Sowohl Mensch, wie Thier verliert jedes Orientirungsvermögen. Sehr oft kann man zu solcher Zeit am Eise des Sees erfrorene Vögel finden, die sich im Nebel verirrt haben. Zur Zeit grosser Nebel verirrtten sich öfters ganze Scharen von Vögel zu unseren am Eise aufgestellten Zelten, die sie — oder wenigstens deren Nähe sie — nicht eher verliessen, bis sich der Nebel nicht gehoben hat.

Der Mensch verirrt sich zu solcher Zeit ohne Magnetnadel unbedingt. Ich stellte Beobachtungen an, was für einen Weg der sorglos Dahinwandelnde bei dichtem Nebel zurücklegt und fand, dass derselbe gewöhnlich einen grossen Bogen beschreibt, in welchem auch Brechungspunkte vorkommen, doch biegt der Bogen bald nach rechts, bald nach links. Diese Abweichung wird also nicht durch die Drehung der Erde verursacht, sondern ausschliesslich durch die Unregelmässigkeit und ungleiche Belastung des Körpers. Beim Fischer ist gewöhnlich die linke Seite belastet, da von seiner rechten Schulter der Brotsack nach links herabhängt und er unter dem linken Arm die Axt trägt. Es ist demnach wahrscheinlich, dass er hiebei nach links abweichen wird. Das ungleichmässige Aufbinden seiner Eissporen wird aber von noch grösserem Einfluss sein.

Der Mensch verliert aber auch sein Orientirungsvermögen gegen das Horizontale und Vertikale. An einem nebeligen Tage haben die gravimetrischen Zelte zwischen Siófok und Alsóörs beiläufig in der Mitte des Sees gestanden, und ich hatte die Nacht dort verbracht. Morgens kamen zwölf Fischer von Alsóörs zu den Zelten, um dieselben weiter zu befördern. Sie bewegten sich vom nördlichen Ufer aus mit Hilfe eines kleinen Kompasses gegen Süden. Im dichten Nebel wäre es aber schwer gewesen die Zelte zu finden, weshalb sie von Zeit zu Zeit laute Rufe erschallen liessen, um uns nach dem Laut unserer Antwort auffinden zu können. Zum Unglück hatten sich 4—5 Kilometer von uns östlich entfernt Fischer an ihre Arbeit gemacht und auch sie mit lauten Zuru-

fen den Alsóörsern geantwortet, die nunmehr nicht wussten, wohin sie sich wenden sollen. Ich war gezwungen, ihnen entgegenzugehen und sie zu den Zelten zu führen. Meine Fussspuren waren im Schnee gut sichtbar und so hoffte ich zuversichtlich, denselben folgend zu den Zelten zurückkehren.

Ich machte mich also auf den Weg. Die Augen auf den frischen weissen Schnee gesenkt, eilte ich in der Richtung der Rufe vorwärts. Die Konturen der Zelte verschwanden sofort im Nebel und ein vollkommenes Nichts umgab mich. So ging ich eine geraume Zeit, bis ich schliesslich die Rufe genügend nahe vernahm, um versuchen zu können, mit prüfendem Blicke den Nebel zu durchdringen. Da erblickte ich eine Schar Krähen, die in nicht grosser Höhe fliegend, sich anscheinend mir näherten. Wie gross war aber meine Überraschung, als ich wahrnahm, dass die mir als Krähen erscheinenden Schatten eigentlich meine Leute waren



Fig. 28. Nebel senkt sich auf den See herab. (11. Oktober 1895.)

und sich nicht oben in der nebligen Luft, sondern unten am Eise, in demselben Niveau, wie ich, befanden. Erst dann erlangte ich mein Orientierungsvermögen bezüglich der horizontalen Richtung wieder zurück.

Sehr gross ist bei Nebel auch die Täuschung in der Abschätzung von Entfernungen. Die aus dem Nebel emporstehenden Objekte werden noch von dem zwischen denselben und dem Beobachter befindlichen Nebel getrübt und da das menschliche Auge daran gewöhnt ist, dass sich Objekte mit derart verschwommenen Konturen unter gewöhnlichen Umständen in weiter Ferne befinden, überschätzt es die Entfernung. Infolge dessen überschätzen wir aber auch die Dimensionen der Gegenstände. Oft strebte ich einem scheinbar mächtigen Eisblock zu, den vielleicht Fischer aufgehäuft haben und war stets überrascht, statt dessen ein Eisstück von etwa Faustgrösse vorzufinden.

Zum Schlusse mögen hier zur Illustration dessen wie vielen Veränderungen ein und dasselbe Landschaftsbild ausgesetzt ist, jene sechs Skizzen stehen (Fig.

29—34), welche ich am 27. und 28. August, die letzte am 21. September 1897 von dem vor der Tihanyer Fähre zur Messung der Strömung aufgestellten Flosse aus hergestellt habe. Zur rechten Seite ist immer der Landungsmolo der Tihanyer Fähre und einige Plätten sichtbar, im Hintergrund aber treibt mit den Bergen von Boglár und Fonyód die Fata morgana ihr Spiel.

Das erste Bild wurde am 27. August Morgens 9 Uhr angefertigt. Das Wasser ist noch wärmer als die Luft, also auch die auf demselben lagernde Luftschichte von höherer Temperatur als die übrigen, weshalb die Berge des Hintergrundes etwas emporgehoben erscheinen. Das Wasser ist von einem geringen Wellenschlag bewegt und erscheint infolge dessen dunkler als der darüber befindliche Himmel, dessen am stärksten polarisirter Theil sich gerade im Hintergrund befindet.

Das zweite Bild wurde an demselben Tage Mittags angefertigt. Die Luft ist bereits wärmer als der See, weshalb die Berge von der Luft nicht mehr gespiegelt werden. Das Wasser spiegelt den weniger polarisirten Theil des Himmels, weshalb es nicht viel dunkler erscheint als das Firmament. Der Wellenschlag ist noch immer gering.

Das dritte Bild wurde Nachmittags 5 Uhr angefertigt. Der See hat sich geglättet, die Luft geklärt. Eben deshalb sind die fernen Berge so gut sichtbar. Der See spiegelt nun den mit Glanz übergossenen unteren Theil des Himmels wieder und erscheint infolge dessen weiss. In meiner Nähe ist aber die Spiegelung mit grossem Lichtverlust verbunden, weshalb sich der See hier dunkler zeigt. Ein kleiner Luftzug kräuselt die Oberfläche jenseits des Molos, da sich auch hier ein dunklerer Streifen befindet. Derselbe spiegelt gewiss eine höhere Himmelspartie und ist deshalb dunkler.

Das vierte Bild wurde am 28. August Morgens 10 Uhr angefertigt. Es herrscht ein trübes, nebligtes Wetter, die Luft ist aber kälter als das Wasser des Sees. Die unmittelbar über dem See lagernde Luft ist jetzt mit Nebel erfüllt, die in der Luft gespiegelt kommenden Lichtstrahlen sind nicht imstande dieselbe zu durchdringen, weshalb die Berge emporgehoben erscheinen, jedoch kein Spiegelbild besitzen. Von derselben dünnen Nebelschicht wird auch die Seeoberfläche beleuchtet, obwohl dieselbe auch so noch dunkler bleibt als der Himmel.

Das fünfte Bild wurde an demselben Tage Mittags angefertigt. Der Nebel hat sich gehoben, unklare Cumuluswolken bedecken den unteren Theil des Himmels, der jedoch über unserem Haupte blau ist. Durch das von lebhaftem Wellenschlag bewegte Wasser wird dieser dunkelblaue und polarisirte Himmel wiedergespiegelt. Diesseits des Molos befinden wir uns in Lee des Windes, wo die Wellen glatt sind. Die Luft ist angenehm kühl, das Seewasser warm, die Fata morgana stark;

Sehr interessant ist schliesslich das sechste Bild, welches am 21. September Nachmittags vier Uhr bei starkem Wellenschlag und dichter dunkler Cumulusbildung angefertigt wurde.

Unter den sechs Bildern ist hier die Luftspiegelung am grössten, da im September der Unterschied zwischen Wasser- und Lufttemperatur am stärksten ist. — Die Sonne ist im Untergehen begriffen, der westliche Himmel (an der rechten Seite des Bildes) ist glänzend weiss und auch das Wasser erglänzt in einem lebhaften Lichte. An der linken Seite des Bildes sind die dicken Cumuluswolken dunkel und unter ihnen auch das Wasser fahl, dunkel grünlich. Besonders stark dunkelgrün erscheint der See unmittelbar vor uns, wo man in das Innere des



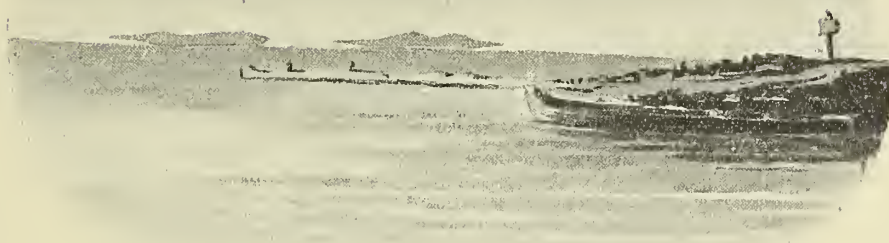


Fig. 29. Ausblick von der Tihanyer Fähre am 27. August 1897, 9<sup>h</sup> a. m.



Fig. 30. Ausblick von der Tihanyer Fähre am 27. August 1897, Mittags.



Fig. 31. Ausblick von der Tihanyer Fähre am 27. August 1897. 5<sup>h</sup> p. m.



Fig. 32. Ausblick von der Tihanyer Fähre am 28. August 1897, 10<sup>h</sup> a. m.



Fig. 33. Ausblick von der Tihanyer Fähre am 28. August 1897, Mittags.



Fig. 34. Ausblick von der Tihanyer Fähre am 21. September 1897, 4<sup>h</sup> p. m.

tiefen Wassers (nach dem Masstabe des Balatonsees tief, nämlich 9 m betragend) blicken kann.

Die nahe befindlichen Objekte spiegeln unter den sechs Bildern nur am dritten, wo das Wasser sozusagen vollkommen glatt ist.

Wann immer wir dasselbe Bild betrachten, zu welcher Jahreszeit und zu welcher Stunde des Tages auch immer, es wird stets eine andere Stimmung zeigen; es verändert sich bald die Vertheilung von Licht und Schatten, bald wieder die der Farben und es fesselt unsere Aufmerksamkeit eine so augenergötzensde Mannigfaltigkeit, die es leicht verständlich erscheinen lässt, wenn wir die Seeuferpartien für die schönsten Landschaftsbilder halten.

---

## INHALTS-VERZEICHNISS.

	Seite
Einleitung . . . . .	3
I. Kapitel. Die Durchsichtigkeit des Seewassers . . . . .	7
II. Kapitel. Die Eigenfarbe des Balatonsee-Wassers . . . . .	16
III. Kapitel. Die Reflexion an der Oberfläche des Balatonsees . . . . .	22
IV. Kapitel. Die Lichterscheinungen des bewegten Wassers. . . . .	30
V. Kapitel. Die Spiegelung des Himmels auf bewegter Wasserfläche . . . .	45
VI. Kapitel. Einige sonstige Lichterscheinungen . . . . .	58



Farbenspiel des Balatonsees bei stiller Abenddämmerung. Aussicht von Keszthely gegen Osten.

*Nach dem Gemälde J. Koszkol.*



Farbenspiel des Balatonsees bei trübem Regenwetter. Von Révfülöp aus gegen Fonyód gesehen.

*Nach dem Gemälde J. Koszkol.*





„ATHENAEUM“ BUDAPEST.

FARBENSPIEL DES BALATON BEI RUHIGER ABENDDÄMMERUNG,  
gesehen von den Bergen bei Balaton-Füred.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees](#)

Jahr/Year: 1901

Band/Volume: [1\\_5](#)

Autor(en)/Author(s): Cholnoky Eugen von

Artikel/Article: [II. Section. Die Farbenerscheinungen des Balatonsees 1-67](#)