Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Luzern

Band: 2 (1896)

Artikel: Die Durchsichtigkeit des Wassers, die Temperatur der Wasseroberfläche und einzelne Bestimmungen der Farbe des Seewassers im Luzerner Becken des Vierwaldstättersees in den Jahren 1894-1897

Autor: Arnet, Xaver

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-523504

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

I.

Die Durchsichtigkeit des Wassers,

die Temperatur der Wasseroberfläche

und

einzelne Bestimmungen der Farbe des Seewassers

im

Luzerner Becken des Vierwaldstättersees

in den Jahren 1894—1897

von

Xaver Arnet
Professor der Physik an der höheren Lehranstalt in Luzern.

Einleitung.

Im Programm zur wissenschaftlichen Untersuchung des Vierwaldstättersees, aufgestellt von der Schweizerischen Limnologischen Kommission und der Luzerner Naturforschenden Gesellschaft im Jahre 1895, steht in der physikalisch-chemischen Abteilung als IV. Punkt *„Die Durchsichtigkeit des Wassers“*. Dieselbe soll nach der Methode *Secchi* mittelst einer im Wasser versenkten weissen Metallscheibe von 20 cm Durchmesser bestimmt werden. Die Transparenzmessungen sollen in möglichst gleichen Zeitabständen monatlich zweimal und wenigstens während zwei Jahren und wenn möglich in allen Becken des vielgestaltigen Sees vorgenommen werden.

Die vorliegende Arbeit befasst sich speziell mit den *Transparenzmessungen in der Luzerner Seebucht bei Seeburg,* zwei Kilometer oberhalb dem Ausflusse des Sees, während drei vollen Beobachtungsjahren, vom März 1894 bis Februar 1897. Es wurden aber auch noch ein paar andere Stellen des Sees teils serienweise, teils vereinzelt auf ihre Durchsichtigkeit untersucht, und die erhaltenen Resultate werden hier einbezogen und mit verarbeitet. Weitaus die meisten Messungen wurden von demselben Beobachter, dem Verfasser dieser Arbeit, vollzogen. Im Jahre 1896 fand er eine freundliche Unterstützung an Herrn Stadtschreiber *A. Schürmann* in Luzern, welcher vom August bis Dezember 1896 sieben Messungen nach möglichst gleichem Verfahren, wie der Referent, ausführte.

Im zweiten und dritten Beobachtungsjahr wurde ausser der Durchsichtigkeit auch die *Temperatur an der Wasseroberfläche* gemessen und daraus eine Kurve der Wassertemperaturen konstruiert. Ausserdem fanden auch einzelne *Farbbestimmungen des Wassers* statt, namentlich geschah dies regelmässig bei den Untersuchungen des Herrn *Schürmann.* Die Farbe wurde von blossem Auge, ohne Hilfsmittel, taxiert und benannt; nur einmal wurden probeweise die Farbtuben von *Forel* angewendet.

Endlich ist zu erwähnen, dass noch eine kleine Zahl *älterer Durchsichtigkeitsmessungen* von Herrn Kapitän *Karl von Segesser* aus dem Jahre 1890 herstammend, die mir zur Verfügung gestellt worden waren, behufs Vergleichung in diese Arbeit aufgenommen wurden, damit sie nicht unverwendet verloren gehen.

Vor dem Eingehen auf die Untersuchungen erscheint es angezeigt, eine *Beschreibung und Vergleichung der verwendeten Apparate, der Secchischen Scheiben,* hier einzureihen. Es sind drei solcher Scheiben zur Anwendung gekommen.

a. *Der vom Referenten benutzte Hauptapparat* war eine mit weisser Farbe angestrichene Messingscheibe von 20 cm Durchmesser. Die Scheibe wurde a. 1893 oder noch früher von Herrn Dr. *F. A. Forel* an Herrn *O. Suidter,* damals Präsident der Luzerner Naturforschenden Gesellschaft, übermittelt und von letzterm mir zugespielt. Dieselbe wird, wie wir annehmen, gleichartig sein mit den von Forel im Genfersee gebrauchten Scheiben. Die Messschnur daran war von Meter zu Meter mit gut erkenntlichen schwarzen Farbmarken, von fünf zu fünf Meter mit schwer erkenntlichen roten Farbmarken versehen. Zur Aufwicklung der Schnur war ein längliches schmales Brettchen mit mit zwei grossen Endkerben beigegeben. Der ganze Apparat hatte den Vorteil, sehr einfach, leicht und handlich zu sein. Die schwachen roten Fünfermarken daran musste ich bald durch eine augenfälligere Markierung mittelst fest angebundenen roten Bändchen ersetzen, um sicherer arbeiten zu können. Auf die Idee, das Verhalten der Schnur und die Richtigkeit der Graduierung derselben zu prüfen, kam ich erst im Laufe und nach Abschluss der Messungen, um ein Urteil über das Verhalten der verschiedenen Schnüre an den verschiedenen Apparaten zu gewinnen. Ich teile mit, was ich erobert habe. Zu Ende Dezember 1895, also nach bald zweijährigem Gebrauche, wurde die wirkliche Länge der Schnur im trockenen Zustande gemessen, und als diese Länge von der Scheibe bis zur letzten Marke „20 Meter“ gerade 21 Meter gefunden. Die Schnur hatte also im *trockenen* Zustand ein Zumass von 5 % mit Hinsicht auf die Verkürzung beim Durchnässtwerden. Im Februar 1898 ergab eine wiederholte Messung der trockenen Schnur von 0 m bis 20 m die wirkliche Länge 22,30 m; von 0 m bis 10 m die Länge 11,10 m;

von 0 m bis 5 m die Länge 5,50 m. Die Schnur hatte sich also bedeutend gestreckt. Im stark durchnässten Zustand war die wirkliche Länge für die graduierte Strecke 0 m bis 10 m gleich 10,51 m, für die Strecke 0 m bis 20 m gleich 21,15 m. Die Schnur war also jetzt im *trockenen* Zustand für die Gesamtlänge 11,5 % zu lang, im *durchnässten* Zustande bei leichter Anstreckung 5,75 % zu lang. Um den letztern Betrag sind also bei unsern letzten Messungen der Durchsichtigkeit im Jahre 1897 die gemessenen Grenztiefen der Sichtbarkeit *zu klein* erhalten worden. Im Jahre 1895 mochte, so darf man schliessen, das Zumass der Schnur im trockenen Zustand, mit Rücksicht auf das Verkürzen beim Durchnässen, ungefähr richtig gewesen sein; später war die Schnurlänge auch im nassen Zustande zu gross. Die Schnur hat sich während des häufigen Gebrauches um mehr als 1 m gestreckt.

Die Schnur ist aus drei Litzen zusammengedreht und ist leider stark tordiert. Von daher kam die Verlängerung.

b. *Die Secchische Scheibe von Schürmann* bestand aus einer metallglänzenden Blechscheibe von 20 cm Durchmesser. Die Markierung der einzelnen Meter der Messschnur hatte Schürmann mittelst Centimes-Stücken herstellen lassen. Jedes Stück hatte die betreffende Meterzahl von 1 bis 26 in grossen Ziffern aufgeschlagen und nahe am Rande war ein Loch zum Anhängen der Marke an die Schnur gestanzt. Jede Marke war mit starkem schwarzem Faden an der betreffenden Stelle nahe und sicher an der Leine befestigt. Die halben Meter waren auch noch mit roten Schnürchen an der Messleine markiert. Die Graduierungsmethode ist eine recht gute, jedenfalls eine bessere, als die oben angegebene.

Eine Nachmessung der Schnur im Februar 1898 ergab im *trockenen* Zustand folgende wirkliche Längen gegenüber den Marken: Von 0 m bis 5 m = 5,07 m; von 0 m bis 10 m = 10,31 m; von 0 m bis 15 m = 15,41 m; von 0 m bis 20 m = 20,54 m. Das Zumass betrug also bis 10 m = 3,1 %, bis 15 m = 2,7 %, bis 20 m = 2,7 %. Die Schnur bestand aus acht einzelnen Fäden, die nur leicht zusammengedreht waren; es war eine sogenannte „Zeitschnur“, wie sie früher bei den Schwarzwälderuhren gebraucht wurde. Im *durchnässten* Zustand

waren die wirklichen Längen 10,30 m und 20,50 m für die Strecken 0 m bis 10 m und 0 m bis 20 m. Die nasse Schnur war also nur unbedeutend kürzer, als die ganz trockene Schnur; sie war weniger gedreht und daher weniger dem Strecken ausgesetzt; aber zu lang war sie immerhin um 3 % für die Strecke 0 m bis 10 m, um 2 % für die Strecke 10 m bis 20 m, um 2,5 % für die Länge 0 m bis 20 m. Die Schnüre sind keine gute Einrichtung an diesen Apparaten.

c. *Die neue offizielle Scheibe der limnologischen Kommission.* Vom November 1896 an wurde die unterdessen von der limnologischen Kommission neu eingeführte grössere Secchische Scheibe in zwei Exemplaren von Schürmann und mir verwendet. Es sind schön weiss emaillierte eiserne Scheiben von 30 cm Durchmesser, bedeutend schwerer als die kleinen Scheiben. Die Schnur ist eine entsprechend dickere und eine geflochtene; sie ist 20 m lang. Die Graduierung der Schnur wurde, nach Prüfung des Verhaltens derselben im nassen Zustand, im Trockenzustand und bei Belastung mit der angehängten Scheibe von Mechaniker *Hans Friedinger* in Luzern mit einiger Sorgfalt und unter Zumass des geringen Verkürzungsbetrages bei der Durchnässung vollzogen. Das Zumass im trockenen Zustand kennt Friedinger nicht mehr und eine Kontrollmessung habe ich niemals vorgenommen. Die Scheiben sind inzwischen an andere Beobachter übergegangen. Wir nehmen an, die Schnur sei richtig, so gut es eine Schnur sein kann. Diese Schnur soll den Nachteil der gedrehten Schnüre nicht mehr besitzen. Wie es scheint, ist aber später ein anderer Uebelstand daran zu Tage getreten, das Ersticken der Schnur, welches gelegentlich ein Zerreissen und den Verlust der angehängten Scheibe zur Folge hatte. Es ist nichts vollkommen auf dieser Welt! Zu empfehlen ist den Beobachtern, die aufgewickelte Schnur nach jedesmaligem Gebrauche recht gut im warmen Zimmer austrocknen zu lassen.

Die Vergleichung der Messungsresultate der alten und der neuen Scheiben beim Gebrauche derselben im See kommt später zur Sprache.

I.

Die einzelnen Untersuchungen.

1. Die Untersuchungen im ersten Beobachtungsjahr, vom März 1894 bis Februar 1895.

1te Messung den 26. März 1894, vorm. 10—12 h. Zu dieser Probefahrt stellte ein Studienfreund, Herr Oberschreiber Widmer, sein Privatschiffchen und sich selbst als Fährmann mir zur Verfügung. Der Standort der Messung wurde auf der Linie Würzenbach-Tribschen, etwas unterhalb Seeburg, in der Gegend, wo die Seetiefenkurve von 27 m am weitesten gegen Luzern vorspringt, gewählt. Der Himmel war ganz hell, aber eine leichte Brise von Südost kräuselte den See. Das Schiffchen blieb nicht ruhig stehen, sondern entfernte sich immer von der versenkten Scheibe und die kleinen Wellen störten das Auge beim Bestimmen der Tiefe, in welcher die Scheibe dem Blicke entschwand oder wieder erschien. Zur Abhaltung der Blendung durch das glänzende Wasser wurde die Platte auf derjenigen Seite des Schiffes ver-versenkt, welche der Sonne abgekehrt war, und zudem wurde ein dunkler Schirm zur Beschattung der betreffenden Oberflächenstelle über den Kopf des Beobachters ausgespannt. Drei Messungen ergaben als Sichtbarkeitsgrenze der weissen Scheibe abwärts, beim Versenken der Scheibe, 12,5 bis 12,0 m, aufwärts, beim Wiedererscheinen der Scheibe, 11,5 bis 10,5 m. Die Mittelwerte waren: abwärts 12,2 m, aufwärts 11,0 m; *das Mittel aus beiden Reihen 11,6 m.* Ich rechne diese erste Messung nicht zu den guten. Infolge der Störung durch die Kräuselwellen und wegen des Abtreibens der Platte, resp. des Schiffes, ist das Resultat zu klein. Man vergleiche die Ergebnisse der Märzmonate der folgenden Jahre.

Dem Ufer entlang war das Wasser schön *hellgrün,* über der Seetiefe dagegen *dunkelblau.*

Der Anfang war gemacht, wenn auch nicht ganz gelungen. Ich war zur Einsicht gekommen, dass das Hospitieren auf einem Privatschiffchen unzweckmässig sei und ging später dazu über,

von der Schiffsgesellschaft zu der Stunde, die ich freimachen konnte und die zugleich den Anforderungen bezüglich guter Himmels- und Seebeschaffenheit entsprechend war, ein Schiffchen mit Fährmann zu mieten. Auch bei diesem Verfahren gab es noch Schwierigkeiten genug und gelegentlich eine durch Wind und Wellen gestörte oder ruinierte Beobachtung.

2te Messung den 2. April 1894, abends 6 h. Diese Messung wurde zur Kontrolle der vorigen auf der gleichen Linie, nur etwas weiter gegen Tribschen hin, wiederholt. Der See war ganz ruhig und der Himmel ganz hell. Die Beobachtung war sehr gelungen. Die zwei Einzelmessungen stimmten unter sich fast ganz überein und das Resultat lautet: Sichtbarkeitsgrenze abwärts 12,1 m, aufwärts 11,4 m; *Mittel 11,75 m.* Dies bestätigt die obige Befürchtung, dass bei der ersten Beobachtung das Resultat um einige Dezimeter zu klein erhalten worden sei.

3te Messung den 26. April 1894, nachmittags nach 2 h bei *St. Niklausen.* Es wunderte mich nun zunächst, ob weiter seeaufwärts gegen den Trichter zu bei grösserer Seetiefe die Durchsichtigkeit gleich oder grösser oder kleiner sei als bei Seeburg. Bei erster Gelegenheit wurde ein ganzer Nachmittag geopfert. Am 26. April machte ich von St. Niklausen aus auf der Linie St. Niklausen-Zinnen in der Distanz $^1/_3$, $^1/_2$ und wieder $^1/_3$ der Seebreite von St. Niklausen weg bei einer Seetiefe von 90 bis 110 m meine Messungen. Der Himmel war wiederum ganz hell und der See ganz ruhig; die Beobachtung ist gut gelungen. Unter den drei Beobachtungen gab diejenige weiter seewärts ein um 0,35 m grösseres Resultat. Das Mittel aus drei Messungen war: Sichtbarkeitsgrenze abwärts 13,6 m, aufwärts 13,3 m; *Mittel 13,45 m.* Also war jetzt in der Nähe des Trichters die Durchsichtigkeit um 1,7 m bis 2,0 m grösser, als in der Höhe von Seeburg am 2. April.

Der Monat Mai war bezüglich Witterung ein schlechter Monat mit 20 Regentagen und nur 6 hellen Tagen. Das Innehalten der 14-tägigen Beobachtungsabstände war rein unmöglich. Eine Beobachtung kam im Mai überhaupt nicht zu stande.

4te Messung den 1. Juni, abends 5—7 h. Diesmal wurden in der gleichen Fahrt eine Anzahl Beobachtungen auf der Linie St. Niklausen-Altstad und auf der Linie Seeburg-Tribschen aus-

geführt. Der See war ganz ruhig; am Himmel standen weisse Wolken. Die Resultate waren schlecht und verwirrend dazu. Man sehe die heimgebrachten Ergebnisse an:

a. *St. Niklausen-Altstad,* ungefähr in der Mitte dieser Linie, bei zirka 100 m Tiefe, Sichtbarkeitsgrenze abwärts 5,9 m, aufwärts 5,7 m, *Mittelwert 5,8 m.*

b. *Seeburg-Tribschen,* in 1/3 der Seebreite von Seeburg an, abends 7 h, abwärts 7,1 m, aufwärts 6,9 m; *Mittelwert 7,0 m.*

Hienach wäre nun seeaufwärts bei St. Niklausen die Durchsichtigkeit kleiner, als bei Seeburg, und seit der letzten Messung im April hätte die Durchsichtigkeit bei St. Niklausen um 7,6 m, diejenige bei Seeburg um 4,7 m abgenommen. Das ist etwas stark. Trotzdem oben vier, unten zwei Einzelmessungen gemacht worden waren, die leidlich harmonierten, musste ein wüster Fehler unterlaufen sein. Es war auch nicht schwer, denselben anzugeben. Der schwarze Schirm, der das Auge gegen den Wasserreflex schützen sollte, war in der Freude ob dem schönen Wetter zu Hause gelassen worden. Es nützte nichts, den grossen Strohhut des Fährmanns als Ersatzmittel zu gebrauchen. Der Fehler scheint bei St. Niklausen grösser gewesen zu sein, als bei Seeburg, weil an letzterm Orte die Sonne sich zum Untergange neigte und das Wasser weniger mehr blendete. Die Beobachtung hatte fehlgeschlagen und musste in Anbetracht der spätern Resultate kassiert werden. Aber sie war mir eine Lehre für die Zukunft und sie soll auch andern Beobachtern als Warnung dienen, dass sie ja keine Resultate als gültige Werte ohne besondere Notiz abliefern, falls sie dieselben ohne aufgespannten grossen schwarzen Schirm gewonnen haben. Der Schirm darf nicht fehlen.

5te Messung den 17. Juni 1894, nachm. 3—4 h. Diese Beobachtung, unter günstigen Verhältnissen des Sees und des Himmels und bei aufgespanntem Schirme gemacht, ergab trotz neun weitern Regentagen im Juni und der weiter vorgerücktern Jahreszeit folgende bessere Resultate:

a. *Auf der Linie St. Niklausen-Altstad,* etwas näher gegen St. Niklausen hin, Tiefe ca. 90 m, Sichtbarkeitsgrenze = 8,8 m.

b. *Auf der Linie Meggenhorn-Stutz,* am Eingang in die Luzerner Bucht, Tiefe ca. 60 m, Sichtbarkeitsgrenze = 8,75 m,

c. *Auf der Linie Seeburg-Tribschen,* Tiefe ca. 30 m, Sichtbarkeitsgrenze = 8,1 m.

Die Durchsichtigkeit des Wassers hatte also seit dem April bei Seeburg um 11,7—8,1 = 3,6 m, bei St. Niklausen um 13,4—8,8 = 4,6 m abgenommen. Das erscheint mit Rücksicht auf die vielen Regentage im Mai und ersten Hälfte Juni nun wohl verständlich. Die Beobachtung zeigte auch, dass ich ohne Nachteil die nähere Station Meggenhorn an Stelle der weiter entfernten Station St. Niklausen setzen könne.

6te Messung den 22. Juli 1894, nachm. 4—5 h. Es wurden die zwei Stationen *Meggenhorn* und *Seeburg* besucht. Der See war ganz ruhig und der Himmel ganz hell. *Auf der ersten Station, bei Meggenhorn,* herrschte aber Windzug und das Schiffchen wurde stets von der versenkten Platte weggetrieben. Die Scheibe sank nicht senkrecht hinunter, sondern ging schräg vom Hinterteil des Schiffes (dort wurden die Messungen mit Vorliebe gemacht) weg, zuerst nach rechts, später bei versuchter anderer Schiffsstellung nach links. Der Fährmann brachte es nicht fertig, das Schiff still zu halten. Es musste also die Scheibe bei stark schiefstehender Schnur beobachtet werden. Die Scheibe war aus dem Bereich des Schattenkegels des Schirmes entrückt und das Auge war nicht mehr geschützt. Die Resultate sind:

a. *Meggenhorn,* Sichtbarkeitsgrenze 7,0 m.

b. *Seeburg,* Sichtbarkeitsgrenze 7,6 m.

Die eroberten zwei Zahlen enthalten nun wieder eine böse Irregularität. Seeaufwärts bei Meggenhorn und 60 m Tiefe ist die Durchsichtigkeit kleiner, als bei Seeburg und bei 30 m Tiefe. Früher war es umgekehrt. Das sind kuriose Sprünge. Warten wir mit der Diskussion ab, bis mehr Material vorliegt.

Von einem Abtreiben der Scheibe und Schiefstehen der Schnur ist in der Originalnotierung *bei Seeburg* nichts mehr gesagt. Wir müssen annehmen, dass dort die störende Einmischung des Windes fehlte. Gestützt hierauf und das Ergebnis der spätern Diskussion der Messungen wird die Zahl 7,0 m *bei Meggenhorn* korrigiert und auf 8,5 m erhöht und dieser Wert in die Tabelle und in die graphische Tafel eingetragen.

7te Messung den 5. August 1894, nachm. 2—4 h. Es wurde, wie bei der Beobachtungsnummer 5 die Messung an drei Stationen

vollzogen. Der Himmel war leicht bewölkt, auf dem See herrschte eine leichte Brise. Ende Juli und anfangs August waren starke Gewitterregen vorausgegangen und die Zuflüsse hatten viel Trübung verursacht. Die Resultate sind:

a. *Auf der Linie St. Niklausen-Altstad,* 1/3 von St. Niklausen weg, Mittel aus je zwei Messungen: 6,2 m; 6,0 m; *Gesamtmittel 6,1 m.*

b. *Auf der Linie Meggenhorn-Stutz,* ungefähr in der Mitte, Mittel aus je zwei Messungen: 6,8 m; 6,6 m; *Gesamtmittel 6,7 m.*

c. *Auf der Linie Seeburg-Tribschen,* in der Mitte, Mittel aus je zwei Messungen: 6,1 m; 5,9 m; *Gesamtmittel 6,0 m.*

In dem Originalbericht steht eingetragen: „Auf dem See bei Meggenhorn erscheint das Wasser oberflächlich etwas trüb, unrein; es schwimmen viele kleine Kehrichtsachen auf dem See. Bei St. Niklausen sieht die Wasseroberfläche gut aus und doch ist die Transparenz hier kleiner.“ — Das oberflächliche Aussehen ist also nicht entscheidend für die Grösse der Durchsichtigkeit.

8te Messung den 11. September 1894, nachm. 5—7 h. Dieser Messung war vom 1. bis 7. September starker Regenfall vorausgegangen. Der Himmel war bei der Messung stark bewölkt, der See zuerst (bei Meggenhorn) durch Bise, später (bei St. Niklausen) durch West so bewegt, dass es „Gewell“ hatte. An jeder Station fanden zwei Versenkungen der Scheibe statt. Die Resultate sind:

a. *St. Niklausen-Altstad,* 1/3 von St. Niklausen entfernt, Mittelwerte: 6,2 m; 6,0 m; *6,1 m.*

b. *Meggenhorn-Stutz,* näher beim Stutz, Mittelwerte: 6,65 m; 6,35 m; *6,5 m.*

c. *Seeburg-Tribschen,* in der Mitte, Mittelwerte: 6,0 m; 5,8 m; *5,9 m.*

Bei Schluss der letzten Messung in Seeburg ist es abends 7 h und es dunkelt bereits etwas; der Himmel ist bewölkt, der See immer noch gekräuselt. Die Anwendung des Schirmes ist auch jetzt gut. — Es ist anzunehmen, dass alle drei Resultate durch das Gewell und die Kräuselung des Wassers etwas zu klein ausgefallen sind, dasjenige bei Seeburg auch wegen der beginnenden Dämmerung. Die Zahlen werden jedoch so belassen, wie sie gemessen wurden.

9te Messung den 27. Oktober, abends nach 4 h. Es wurden bloss die zwei nähern Stationen besucht. Vormittags war Regenwetter gewesen, nachmittags war der Himmel hell bis leicht bewölkt, der See von Südostwind leicht gekräuselt. Längeres Regenwetter war im Oktober vorausgegangen und dem Ufer nach sah das Wasser getrübt aus. Die Resultate lauten:

a. *Seeburg-Tribschen,* in der Mitte, Mittel aus je zwei Messungen: 10,2 m; 10,0 m; *10,1 m.*

b. *Meggenhorn-Stutz,* näher beim Stutz, Resultat von *einer* Messung: 11,4 m; 11,0 m; *11,2 m.*

Eine zweite Messung daselbst gieng schlechter (Mittel 10,3 m) infolge von kleinen Wellen und Beginn der Dämmerung bei starkem Leuchten des Abendhimmels. Das Schiff trieb immer von der Platte ab und stadtwärts. — Die Durchsichtigkeit hat also trotz des Regenwetters im Oktober wieder stark zugenommen. Eine besondere Merkwürdigkeit.

Vergleichende Beobachtungen bei Seeburg ergaben, dass bei Gebrauch des schwarzen Schirmes eine bis 2 m tiefere Sichtbarkeitsgrenze gemessen wird, als bei Weglassung des Schirmes.

10te Messung den 9. Dezember, nachm. von 3 h an auf den vorigen beiden Linien und Standorten. Die Resultate lauten:

a. *Seeburg-Tribschen,* in der Mitte, Mittel aus drei Messungen: 12,5 m; 12,2 m; *12,35 m.*

b. *Meggenhorn-Stutz,* eine Messung 3¾ h: 13,2 m; 12,8 m; *13,0 m.*

Himmels- und Seebeschaffenheit: Himmel bewölkt, Sonne dem Untergange nahe; der See von leichter Bise etwas gekräuselt und gewellt. Die Witterung war seit längerer Zeit trocken. Bei Schluss der Messung in Meggenhorn zeigt der See etwas „Gewell“ und das Schiff treibt stark seeabwärts, stadtwärts. Diese leichte Wellenbewegung schadet der Durchsichtigkeit entschieden. Beide Resultate sind dadurch wieder etwas zu klein ausgefallen, wie im September. „Mit aufgespanntem schwarzem Schirm wird die weisse Scheibe 1 bis 2 m weiter hinunter gesehen, als ohne Schirm“, so lautet eine Bemerkung in der auf dem See gemachten Originalnotierung.

Diese Messung war die letzte, bei welcher zwei und drei Stationen bei der gleichen Fahrt besucht wurden. Ich hatte

mich überzeugt, dass bei der von mir daran zu setzenden Zeit die Konzentration auf eine Station besser sein müsse und wählte hiefür in der folgenden Zeit *die nächste Station,* nämlich *Seeburg,* die aber nicht zugleich die beste war.

11te Messung den 19. Jänner 1895, nachm. nach 3 h. Himmel bewölkt, Sonnenschein, Lufttemperatur 2° C.; See leicht gekräuselt durch eine Brise von SW. Die Kräuselung und der Glanz des Wassers von der tiefstehenden Sonne stören etwas. Die Resultate sind:

a. *Linie Seeburg-Tribschen, in der Mitte,* jedoch etwas mehr seeaufwärts gegen das Haus „Rebstock" zu; Mittel aus zwei Messungen: 16,0 m; 15,3 m; *15,65 m.*

b. *Linie Seeburg-Tribschen, zirka 200 m von der Dampfschiffbrücke Seeburg weg,* woselbst die Wasserfläche ohne Kräuselung, ganz glatt war. Resultat von einer Messung: 17,0 m; 16,2 m; *Mittelwert 16,6 m.*

Die zwei ersten Messungen unter lit. a sind, weil entschieden gedrückt durch den Einfluss der Kräuselung, weg zu lassen und die letzte Messung als der richtigere Wert in die Tabelle und graphische Darstellung einzusetzen.

Der Monat Februar 1895 bot wohl die günstigsten Durchsichtigkeitsverhältnisse des Wassers dar. Es war ein sehr kalter, eisiger Monat, wie wir ihn nur höchst selten bekommen. Die tiefsten Nachttemperaturen giengen bei uns auf — 16° C.; die mittlere Monatstemperatur sank auf — 6,6°, d. h. 7,5° unter das normale Monatsmittel. Auf der Luzerner Bucht traten lokale Eisbildungen auf vom 29. I. bis 3. II., sodann folgte ein stärkeres Gefrieren vom 18. bis 23. Februar; am 19. Februar war das ganze Becken von Luzern bis Meggenhorn überfroren. (Vergl. Heft I dieser „*Mitteilungen*", 1897, pag. 141.) Die Kälteperiode erreichte ihr Ende erst am 9. März. Während dieser für das Klären des Wassers ungemein günstigen Zeit war ohne Zweifel die Durchsichtigkeit des Wassers noch über den Wert 16,6 m, der am 19. Jänner gemessen worden war, gestiegen. Unter ähnlichen Verhältnissen hatte *Forel* im Februar 1891 am Ende der Schönwetterperiode des grossen Winters 1890/91 im Genfersee ausserhalb Ouchy die Sichtbarkeitsgrenze zu 21 m gefunden, während die Station Pully als Februarmittel nur 15,7 m ergab.

Allerdings waren im Jänner und Februar bei uns zeitweise Schneefälle eingetreten und dieselben mussten durch Mitreissen des Staubes und Rauches in der Atmosphäre die oberflächliche Trübung des Wassers wieder etwas verstärken. In welchem Verhältnisse mögen diese sich entgegenarbeitenden Einflüsse gestanden haben? Leider, leider kamen wir im Februar nicht dazu, eine Messung vorzunehmen. Wir liessen uns durch Unwohlsein, durch die grimme Kälte, durch die Einstellung der Bootvermietung am Schiffsteg etc. abhalten, eine Messung zu unternehmen. Hätten wir damals die Wichtigkeit dieser Messung so aufgefasst, wie wir sie jetzt bei Uebersicht über die gesamten Verhältnisse auffassen, so würden wir doch wohl eine Messung herausgepresst haben, auf die Gefahr hin, dass die Luzerner böse Glossen über den „Schifflifahrer“ bei — 10 ° Lufttemperatur und bei eiskaltem Wasser gemacht und der Schiffmeister und der Fährmann fast an meinem „gesunden Verstand“ gezweifelt hätten. An Entschuldigungen fehlt es also nicht; aber der Aerger über die Verpassung des günstigen Momentes wurmt mir noch immer.

Der erste Beobachtungsjahrgang 1894/95 war also bloss zu 11 Messungen gekommen. Nur 10 davon betreffen die Seefläche auf der Linie Seeburg-Tribschen, unsern Hauptstandort und eine von diesen 10 Messungen, die Doppelbeobachtung Nr. 4, ist wegen Vernachlässigung des schwarzen Schirmes entweder, den späteren Vergleichungen entsprechend, um rund 1,5 m zu korrigieren, d. h. zu erhöhen oder aber ganz zu kassieren. Wir ziehen das letztere vor. Die Station Seeburg hat also 9 geltende Beobachtungen. Dieselben werden in der Tabelle 1a zusammengestellt und in der Tabelle 2 zu Mittelwerten für die Jahreszeiten und das ganze Jahr verarbeitet. Dabei haben wir in der Tabelle 2 für die drei Monate mit fehlenden Messungen (Mai, November und Februar) diejenigen Zahlen interpoliert, die sich aus der graphischen Kurve für die Mitte des betreffenden Monats ergeben.

2. Die Untersuchungen im zweiten Beobachtungsjahr, vom März 1895 bis Februar 1896.

Vorbemerkung. Wir beschränkten uns nunmehr auf die *Seefläche zwischen Seeburg und Tribschen* und beobachteten meistens

in einer Distanz von $^1/_3$ bis $^1/_2$ der Seebreite von Seeburg entfernt. Die Seetiefe geht daselbst etwas über 30 m. Bei bewegtem oder gekräuseltem See näherten wir uns dem steilern Seeburger Ufer bis auf 300 bis 200 m Distanz, um ruhiges Wasser zu bekommen. Die ganze Seebreite beträgt nach der Karte 1200 m. — Die Zahl der Beobachtungen stieg dieses Jahr von 10 auf 20. In den meisten Monaten sind zwei Beobachtungen vorhanden. Zeitweise aber liess sich die Vorschrift der Instruktion von halbmonatlichem Abstand der Termine auch jetzt nicht inne halten. Es kollidierten zu viele Rücksichten und Ansprüche. Immerhin wird das Jahresergebnis auf grössere Genauigkeit Anspruch haben, als dasjenige des ersten Jahres, welches etwas zu klein geworden ist.

Meistenteils wurde von jetzt an auch die *Lufttemperatur auf dem See* und *die Wassertemperatur an der Oberfläche des Sees* an einem kleinen, aber exakten Thermometer von *Lambrecht* in Göttingen beobachtet. Die grossen Seethermometer mit Holzfassungen zur Messung der Wassertemperaturen waren damals noch nicht angeschafft.

Wir verzichten darauf, alles notierte Detail jeder Beobachtung hier wiederzugeben. Hingegen wollen wir doch Nummer für Nummer der Messungen anführen, um Gelegenheit zu haben, besondere Wahrnehmungen und Bemerkungen, die in der Tabelle hinten nicht Platz finden können, irgendwo unterzubringen.

12te Messung den 7. März 1895, nachmitt. 2—4 h. Himmel hell, aber dunstig; See von leichtem Südwest gekräuselt. Die Wasserfläche in der Mitte sieht unrein, *grünlich trübgrau* aus. Das Resultat aus zwei Messungen ist *12,3 m.* Zwei Messungen weiter uferwärts, zirka 200 m vom Dampfschiffsteg Seeburg entfernt, ergeben, dass daselbst die Wasseroberfläche viel ruhiger und ohne Kräuselung ist, und dass das Wasser eine andere, weniger trübe und *eine dunklere* Farbnuance aufweist. Die Sichtbarkeitsgrenze wird zu *13,5 m* gefunden, also 1,2 m tiefer, als draussen in der halben Seebreite. Als geltendes Resultat wird *13,5 m* genommen.

Es ist auffällig, dass trotz der starken und andauernden Kälte im Februar das Wasser nicht gleiche oder grössere Durchsichtigkeit zeigte, wie am 19. Jänner. Ein erster Grund

hiefür liegt in den erheblichen *Schneefällen* vom 25.—28. Februar und vom 2.—6. März, welche die Luft gereinigt und die Oberfläche des Wassers getrübt und auf 0 ° erkältet hatten. Zu Ende Februar betrug die Schneehöhe in Luzern 47 cm, wovon 22 cm Neuschnee von den letzten vier Tagen waren; vom 2.—6. März fielen 37 cm Neuschnee, und die ganze Schneehöhe betrug am 6. März 60 cm, eine für unsere Gegend seltene Höhe. Sodann machte mich der Schiffmeister Zimmermann in Luzern bei der Zurückkunft von der Messung auf folgende zufällige Ursache der Durchsichtigkeitsabnahme aufmerksam. Die Dampfschiffverwaltung in Luzern lasse seit einiger Zeit durch ein grosses Baggerschiff am linken Seeufer in der Nähe der Dampfschiffwerfte *Seeschlamm* ausbaggern, denselben in die sogenannte „Tiefe" unterhalb Seeburg hinaufführen und dort entleeren. Die Distanz dieser Entleerungsstelle von unserer Messlinie Seeburg-Tribschen kenne ich nicht genau, taxiere sie auf ungefähr 500 m. Es ist sicher, dass durch dieses Ausleeren von Seeschlick eine Trübung des Wassers in weitem Bereiche stattgefunden hat. Die bei der Messung notierte auffällige Farbe bestätigt das auch. Die Kurve der Sichtbarkeitsgrenze lässt ebenfalls bei der Messungsnummer 12 eine Störung erkennen. Wäre eine Februar-Beobachtung vorhanden, so würde die Störung noch viel stärker hervortreten. Daher wird auch das oben angenommene bessere Resultat von 13,5 m noch zu klein sein. Es ist ferner möglich, dass diese Baggerarbeit der Dampfschiffgesellschaft auch schon letztes Jahr die Durchsichtigkeit des Wassers bei Seeburg geschädigt und unsere Messungsresultate Nr. 1 und 2 zu klein gemacht hat.

13te Messung den 24. März 1895 in Gersau, nachmitt. 4 h. Zum Zwecke von Temperatur- und Durchsichtigkeitsmessungen unternahm ich eine Dampfschiffahrt nach *Gersau.* Die Durchsichtigkeit wurde in einer Distanz von zirka 500 m vom Ufer im Unterdorf bestimmt. Die Messung fand unter sehr günstigen Verhältnissen statt. Der See war ganz ruhig, die Wassertemperatur an der Oberfläche 3,6 °, 80 cm tief unter der Oberfläche 3,7 °. Am 19. und 23. März morgens war die Seefläche Beckenried-Gersau mit Eis überzogen gewesen. (Vergl. diese *Mitteilungen,* I. Heft, 1897, p. 145.) Der Himmel war bewölkt, verschleiert, das Wetter föhnig warm, die Lufttemperatur noch abends 5 h

15 °. Das Resultat der Messung lautet auf 18 m beim Versenken, auf 17 m beim Aufziehen der Scheibe; *Mittelwert 17,5 m.* Das Resultat ist ein ganz zuverlässiges. Wie schade, dass nicht um Mitte Februar daselbst eine Messung stattgefunden und eine noch grössere Sichttiefe konstatiert hat! Der jetzige Wert ist um 3,6 m grösser, als der zeitlich nächstgelegene Wert bei Seeburg am 1. April.

14te Messung den 1. April 1895, abends 4 bis 6½ h in Seeburg. Bei Ankunft in Seeburg konnte wegen unerwartet eingetretenem starkem Nordwind keine anständige Messung ausgeführt werden. Der Himmel war leicht bewölkt, die Sonne war sichtbar. Ein Versuch bei der starken Wellung ergab beim Versenken 14 m, beim Aufziehen 12 m, als Mittel also 13 m als Sichtbarkeitsgrenze. Eine solche Differenz von 2 m zwischen abwärts und aufwärts ist etwas ganz Abnormales. Ein zweiter Versuch in der Nähe der Dampfschiffbrücke, ca. 300 m davon entfernt, ergab 13,2 m. Aber das Schiff trieb immer stark seeaufwärts. Endlich nach 6 Uhr wurde der See ruhiger, der Wind liess nach und eine dritte Messung um 6¼ h auf der Mitte der Seefläche ergab abwärts 14,2 m, aufwärts 13,6 m, als *Mittelwert 13,9 m.* Diese Messung wird als die geltende eingetzt, obschon auch sie noch etwas zu klein sein wird.

15te Messung den 16. April, nachmitt. 2—4 h. Bei ganz hellem Himmel, bei leichtem Ostwind und gekräuselter Oberfläche wurde sowohl auf der Linie Seeburg-Tribschen, ⅓ der Breite von Seeburg weg, als auf der Linie Wartenfluh-Stutz, ⅓ der Breite von Wartenfluh weg, beobachtet. Die beiden Resultate lauten auf *13,6 m (Seeburg)* und *13,7 m (Wartenfluh)*; sie zeigen, dass es bei ungestörten Verhältnissen nicht ängstlich darauf ankommt, ob man ein wenig mehr seeaufwärts oder seeabwärts, ob bei 60 m oder 30 m Wassertiefe beobachtet.

16te Messung den 30. April, nachm. 4—5 h. Die Durchsichtigkeit ist auf *11,35 m* gesunken. Die Beobachtungsverhältnisse waren alle normal. Es wurde konstatiert, dass auch bei Schirmgebrauch die Messung auf der der Sonne zugekehrten Schiffseite entschieden unsicherer ist und das Verschwinden der Scheibe früher eintritt, als auf der der Sonne abgewendeten Seite des

Schiffes. Dem 30. April sind unmittelbar neun Regentage mit 60 mm Niederschlag vorausgegangen.

Diese Messung wird in den Tabellen als zum 1. Mai gehörig behandelt.

17te Messung den 23. Mai 1895, nachm. 3—4 h. Vom 14. bis 23. Mai sind acht Regentage verzeichnet, darunter zwei Gewittertage. Die Beobachtungsverhältnisse waren ganz normal. Das Ergebnis war einmal 7,8 m, das andere Mal 8,0 m, *der Mittelwert 7,9 m.* Die Durchsichtigkeit hat also erheblich abgenommen.

18te Messung den 5. Juni 1895, abends 5—6 h. Himmel stark bewölkt (8/10), See ganz ruhig; gestern Abend Gewitterregen vorausgegangen. Bei Seeburg sieht die Oberfläche des Wassers gut aus, in Luzern dagegen grünlich trüb. Die Messung bei Seeburg ergab *7,85 m.* Eine Messung in Luzern ausserhalb des Bahnhofkrahnens ergab dagegen bloss *5,3 m* als Sichtbarkeitsgrenze. Unterschied der Durchsichtigkeit zwischen dunklem tiefem Wasser und grünem seichtem Wasser!

19te Messung den 18. Juni 1895, nachm. 2—3½ h. Beobachtungsverhältnisse weniger günstig; der Himmel bedeckt und ein Regenschauer vom Pilatus her im Anzug; der See leicht gekräuselt, etwas Wind von Südost. Das Resultat von zwei Messungen lautet: abwärts 6,7 m, aufwärts 6,1 m; *Mittelwert 6,4 m.* Dasselbe ist infolge der Kräuselung des Sees offenbar wieder etwas zu klein ausgefallen. Man vergleiche die spitze Zacke, welche die Kurve bei diesem Datum nach oben macht! Die erste Hälfte Juni hatte sieben Tage mit Regen, drei davon mit leichten Gewitterregen. Die Niederschlagsmenge war nicht gar gross.

20ste Messung den 9. Juli 1895, nachm. 2½ - 4 h. Die Beobachtungsverhältnisse sind ganz normal; die Sichtbarkeitsgrenze wird zu *7,9 m* gefunden, also wieder so gross, wie zu Anfang Juni. Die Wetterverhältnisse waren seit der letzten Messung nicht ungünstig gewesen, immerhin hatte Luzern inzwischen neun Niederschlagstage.

In der Nähe der Stadt, 20 m von der Seebadanstalt seewärts, wo das Wasser grünlich aussieht, aber der Boden nicht sichtbar

ist, wurde auch eine Messung der Sichtbarkeitsgrenze gemacht. Dieselbe ergab *6,8 m.*

Die Farbe des Wassers bei Seeburg ist als *blaugrün* notiert.

21ste Messung den 28. Juli, nachm. 3 1/2 h. Der See ist seit 2 h p. stark vom Föhn bewegt, aber die Wellen nehmen ab, eine Kräuselung ist bei der Messung nicht vorhanden. Der Himmel ist leicht bedeckt, verschleiert; es ist ein sehr heisser Nachmittag. Um ruhigeres Wasser zu haben, muss die Messung mit der Scheibe wieder von der Mitte des Sees einwärts gegen die Dampfschiffbrücke verlegt werden, auf ca. 300 m Distanz vom Ufer. Die Messung verläuft glatt und sicher. Resultat *8,8 m.* Differenz zwischen abwärts und aufwärts bloss 0,2 m. Die Durchsichtigkeit ist also wieder etwas gestiegen.

22ste Messung den 10. August, 3 h nachm. Die Verhältnisse sind ganz normal. Resultat *8,2 m,* also 0,6 m kleiner, als vor 13 Tagen. Es sind aber im August neun Tage mit Gewitterregen und sonstigem Regen vorausgegangen, welche die Abnahme begreiflich machen.

23ste Messung den 20. September, 3 h p. Die Beobachtungsumstände sind nicht gar günstig. Das Schiff treibt durch Nordwind immer vom Lande ab, trotzdem es breit gegen den Wind steht; die Platte entfernt sich vom Schiffe; der ungewohnte Fährmann kann das Schiff nicht annähernd auf demselben Punkt halten. Der Himmel ist hell, Horizont dunstig. Zwei Messungen stimmen jedoch unter sich gut überein. Das Resultat ist *8,8 m.* Die Durchsichtigkeit des Wassers ist also wieder im Steigen begriffen. Seit 25. August bis heute war auch bloss ein Regentag.

24ste Messung den 8. Oktober 1895, 3 h nachm. Der Himmel ist bewölkt, gegen Westen stark dunstig trüb, gegen Süden ist eine Föhnwand. Der See ist anfänglich ganz ruhig, später setzt leichte Bise ein. Die Beobachtung verläuft glatt. Ergebnis: 10,2 m, 10,0 m; *Mittelwert 10,1 m.*

25ste Messung den 28. Oktober, 2 h nachm. Der Himmel ist hell; von Luzern her treibt eine Brise das Schiff aufwärts. Die Messung verläuft jedoch glatt. Ergebnis 12,0 m, 11,5 m; *Mittel 11,7 m.*

26ste Messung den 19. November, 3 h nachm. Der Himmel ist neblig bedeckt, der See ist ganz ruhig, die Wasseroberfläche

erscheint rein und dunkel. Glatte Beobachtung; Ergebnis 14,4 m; 14,0 m; *Mittel 14,2 m.*

27ste Messung den 12. Dezember, 3 h nachm. Himmel fast hell; Sonne; See anfänglich bewegt, später aber, bei der zweiten und dritten Messung, ganz ruhig; Oberfläche des Wassers rein und dunkel. Die erste Messung (12,4 m) bei bewegtem See wird ausser Spiel gelassen. Ergebnis der zweiten und dritten Messung 13,8 m; 13,2 m; *Mittel 13,5 m.* Die Durchsichtigkeit hat also abgenommen; die Kurve bildet eine Zacke nach oben. Zur Erklärung sei angeführt, dass vom 5.—8. Dezember wiederholt stürmischer Wind auf dem See herrschte und am 6. Dezember nachts ein lebhaftes Gewitter über Luzern niederging mit nachfolgendem Schneegestöber am 7. Dezember vormittags und nachmittags. Niederschlagsmenge vom 6. und 7. Dezember zusammen 20 mm.

28ste Messung den 26. Dezember 1895, 3 h p. Ein herrlicher Nachmittag, Berge prächtig, Wetter föhnig; Wasseroberfläche ganz ruhig und glatt. Drei Messungen ergaben fast genau übereinstimmende Resultate: 15,1 m; 14,9 m; *Mittel 15,0 m.* Die Messungen sind sehr sicher.

Bei der Rückfahrt wurde in der sogenannten „Dünne", auf der Höhe der Villa Zingg, mit der Scheibe die Wassertiefe gemessen und an zwei Stellen 1,9 m gefunden. Der Fährmann hatte auf 6 bis 8 m geraten!

29ste Messung den 15. Jänner 1896, 3 h p. Himmel bewölkt, See ganz ruhig; Lufttemperatur 2° zu Hause, 3° auf dem See; Wassertemperatur bei Seeburg 5° C., in der Dünne 4½°, in Luzern 4°. Die Messung verläuft glatt; Ergebnis 15,0 m; 14,6 m; *14,8 als Mittel.* Am 8. und 14. Jänner war etwas Schnee gefallen, 4 cm und 2 cm Schneehöhe, die erste Schneedecke des milden Winters 1895/96. Von daher rührt vielleicht die kleine Abnahme der Sichtbarkeitsgrenze gegenüber derjenigen der letzten Messung. Einer Ungenauigkeit der Messung kann die Abnahme nicht zugeschrieben werden.

30ste Messung den 29. Jänner 1896, 3 h p. Himmel bedeckt, trüber Tag, sehr hoher Barometerstand; Lufttemperatur 1°; Wassertemperatur in Seeburg 4½°, in Luzern 4°. Von der „Dünne" an ist der See leicht gekräuselt; bei Seeburg tritt starker

Wind und starkes Gewell ein. Die Scheibe gerät immer unter das Schiff; die Lichtreflexe der Wellenberge stören stark. Beim Versenken der Scheibe wird zweimal *14 m* gemessen, beim Heraufziehen ist die Scheibe wie verloren, es ist kein anständiges Resultat erhältlich. Die durch Wind und Wellen verunstaltete Beobachtung wird am richtigsten kassiert.

31ste Messung den 9. Februar 1896, 3 h p. Beobachtungsverhältnisse mässig gut: Himmel bewölkt, neblig; See leicht gekräuselt, später ganz ruhig. Ergebnis 15,7 m; 15,5 m; *15,6 m als Mittel.* Wassertemperatur in Seeburg 4,2° C.; in der „Dünne" 3°; bei Luzern 3,8°. Lufttemperatur — 1°.

32ste Messung den 19. Februar 1896, 3 h p. Himmel bewölkt, teilweise Nebeldecke; See ganz ruhig. Wassertemperatur 4,2° in Seeburg, 4,0° in der „Dünne" und bei Luzern. Zwei sehr glatte Messungen ergeben übereinstimmend 16,0 m; 15,8; *Mittel 15,9 m.* Diese Zahl ist das Maximum für das zweite Beobachtungsjahr. Dasselbe erinnert wieder daran, wie ungeschickt es war, dass im ersten Beobachtungsjahr der Monat Februar keine Beobachtung erhalten hat.

3. Die Untersuchungen im dritten Beobachtungsjahr, vom März 1896 bis Februar 1897.

Vorbemerkung. Dass dritte Beobachtungsjahr zählt 21 Messungen; davon fallen 19 auf die Linie Seeburg-Tribschen oder Seeburg-Schönbühl oder Salzfass-Schönbühl. Die beiden letztern Bezeichnungen fixieren eine Stelle der Seefläche, welche etwa 200 bis 300 m weiter seeaufwärts liegt, als diejenige Seeburg-Tribschen. Die Tiefe daselbst wird ca. 40 m betragen. Die Unterschiede zwischen diesen Stellen betreffend Durchsichtigkeit können von keinem Belang sein. Zwei Messungen beziehen sich auf die Mitte des Kreuztrichters.

Es sind zwei Umstände zu erwähnen, welche die Bearbeitung hier etwas komplizieren.

a. Nachdem im Juni 1896 Herr Stadtschreiber *A. Schürmann* in Luzern für die Fortführung dieser Transparenzmessungen von mir gewonnen worden war, führte derselbe im Laufe meiner Herbstferien einige Messungen mit seiner eigenen Scheibe aus,

die in der Einleitung beschrieben ist. Einen Coëfficienten zur Reduzierung der Resultate der „*Scheibe Schürmann*“ auf diejenigen der „*Scheibe Arnet*“ haben wir nicht eingeführt. Nach den Parallelbeobachtungen mit beiden Scheiben im September und Oktober 1896 kann der Unterschied nur unbedeutend sein.

b. Im November 1896 kamen die von der limnologischen Kommission des Vierwaldstättersees von einem Fabrikanten in Zug bezogenen grössern *Eisen-Emailscheiben von 30 cm Durchmesser* zur Anwendung. Das reine Weiss derselben gegenüber dem gelblichen Tone der gemalten alten Scheibe von Arnet und gegenüber der metallglänzenden alten Blechscheibe von Schürmann und ebenso die im Verhältnis von 9 : 4 vergrösserte Oberfläche der neuen Scheiben liessen erwarten, dass die neuen Scheiben merklich grössere Resultate ergeben dürften, als die alten Scheiben. Es wurden daher vergleichende Messungen zwischen der alten und neuen Scheibe von jedem der beiden Beobachter angestellt. Vergleiche die Messungen Nr. 48, 49 und 50. Darnach giebt die neue Scheibe von *Schürmann* gegenüber seiner alten Scheibe eine Vergrösserung der Sichtbarkeitsgrenze um 3,6 %; die neue Scheibe von *Arnet* giebt gegenüber seiner alten bemalten Scheibe eine Erhöhung der Sichtbarkeitsgrenzen um 5,5 % und 6,9 %, im Mittel um 6,2 %.

Vergleichen wir diese grössern Ergebnisse der neuen Scheiben oder noch besser die kleinern Ergebnisse der alten Scheiben mit den frühern Angaben über die Schnurlängen der alten Scheiben, so machen wir die Entdeckung, dass der grösste Teil oder fast die ganzen Differenzen die Folge der zu langen Schnüre an den alten Scheiben sind und nicht die Folge des grössern Durchmessers und der reinen weissen Farbe der neuen Scheiben. Die *alte Scheibe Arnet* hatte gegen Ende der Beobachtungsreihe im nassen Zustand eine im Mittel um 5,75 % zu lange Schnur und gab demzufolge um diesen Betrag zu kleine Resultate. Der direkte Vergleich ergab um 6,2 % zu kleine Resultate der mit derselben bestimmten Durchsichtigkeit. Früher war das Manko geringer. Die *alte Scheibe Schürmann* hatte im nassen Zustand eine teils um 3 %, teils um 2 % zu lange Schnur und gab daher im Mittel um diesen Betrag zu kleine Resultate. Der direkte Vergleich ergab um 3,6 % zu kleine Resultate der Durchsichtigkeit. Dieses nahe

Zusammentreffen der von zwei Seiten her gewonnenen Resultate hat uns selbst sehr überrascht. Demzufolge haben wir Grund zu der Annahme, dass bei richtiger Schnurlänge die alten Scheiben nur um wenig (1 bis 1,5 %) kleinere Durchsichtigkeitswerte liefern würden, als die neuen Scheiben.

Es fragt sich nun, ob man wegen dieser relativ kleinen Differenzen eine Reduktion eintreten lassen solle. Da die neuen Scheiben aller Wahrscheinlichkeit nach die richtigern Resultate angeben, als die alten (wegen der genauern Schnurlänge, die aber auch nicht endgültig als perfekt erwiesen ist), so hätte man die Messungsresultate der alten Scheiben samt und sonders wegen der zu langen Messschnüre um einen gewissen, aber zeitlich veränderlichen Betrag reduzieren resp. vergrössern müssen; die ersten 47 Messungen hätten auf die letzten 6 Messungen reduziert werden müssen. Wir haben uns nicht dazu entschliessen können. Die ganze Methode und die Apparate sind zu solchen Feinheiten denn doch zu wenig scharf. Es wurden daher ohne weiteres die abgelesenen Tiefen der Sichtbarkeitsgrenzen der alten und der neuen Scheiben in den Text, die Tabelle und die Kurve eingesetzt. Die Mittelwerte sind nun dadurch annähernd um etwa 3 % bis 5 % oder um 0,3 m bis 0,5 m zu klein geworden. Was schadet es? Die Nachfolger sollen das mit ihren neuen Apparaten besser machen. Die Hauptsache ist, dass man einmal weiss, wie verschiedene Scheiben und Scheibenschnüre sich verhalten und welche Differenzen sie zu liefern imstande sind.

33ste Messung den 17. März 1896, 3 h p. Himmel bewölkt, verschleiert, föhniges Wetter, 14° Lufttemperatur. See ruhig, jedoch leicht gekräuselt. Gegen den Trichter hinauf stärkerer Luftzug. Das Wasser erscheint von blossem Auge trüber, als bei der letzten Messung. Zwei gute Beobachtungen ergeben 14,1 m; 13,9 m; *Mittel 14,0 m.* Die erste Hälfte März hatte in Luzern 98 mm Regen gebracht; die Lufttemperaturen variierten zwischen 0° und 14°. Die Niederschläge und die Schneeschmelze hatten also bereits ihren Einfluss auf die Durchsichtigkeit ausgeübt.

34ste Messung den 22. April 1896, 3 h p. Die Beobachtungsumstände sind gut: der Himmel ist hell, der See immerhin leicht gekräuselt. Ergebnis der Messung 10,0 m; 9,8 m; *Mittel 9,9 m.* also eine bedeutende Abnahme seit Monatsfrist. Der März war

übermässig warm gewesen; vom 26. März bis 21. April sind in den meteorologischen Tabellen von Luzern 18 Niederschlagstage (> 1,0 mm), teils Schnee-, teils Regentage notiert. Der 22. April war seit langem der erste ordentliche Tag.

Bei dieser Messung wurde das auf Rechnung der Seekommission neu angeschaffte *Umkehr- oder Tiefenthermometer* zum ersten Male mittelst der Schnur der Secchischen Scheibe probiert, aber ohne guten Erfolg. Ferner wurde statt des bisherigen kleinen Lambrecht-Thermometers eines der neuen, mit amtlichem Prüfschein versehenen *Seethermometer* mit Holzfassung der limnologischen Kommission zur Messung der Oberflächentemperaturen in Gebrauch genommen und von da an beibehalten.

Ein weiterer Probeversuch wurde mit einem kleinen als Vorlage hierhergesandten *Colorimeter nach Forel* zur Bestimmung der Farbnuance des Wassers unternommen. Derselbe ergab:

a. Farbe des Wassers bei Seeburg Nr. IV der Skala nach Forel.

b. Farbe des Wassers weiter abwärts in der sogenannten „Dünne“ Nr. VII der Skala.

c. Farbe des Wassers in der Höhe der Seebadanstalt Nr. VI.

Die Farbentuben sollten durch einen geschlitzten Schieber bis auf diejenige Tube, die man speziell vergleichen will, abgeblendet werden können. Die Gleichheit der beidseitigen Farbnuancen erscheint mir zweifelhaft. Es mangelt etwas zu dieser Gleichheit. Aber was?

35ste Messung den 8. Mai 1896, 3 h p. Der See ist etwas bewegt und gekräuselt; das Schiffchen treibt seitwärts von der Platte ab, gegen Tribschen hin. Die Messung gewährt keine grosse Genauigkeit, giebt etwas zu kleine Durchsichtigkeit. Ergebnis abwärts 8,2 m; aufwärts 7,6 m; *Mittel 7,9 m.* Zu Ende April und anfangs Mai hatte Luzern erhebliche Regenfälle.

Der neu eingerichtete *Schnurhaspel zum Tiefenthermometer* und ebenso das letztere werden einer Probe unterworfen. Der Haspel geht viel zu schwer; ein schnelles Aufwinden der Schnur ist unmöglich. Die Temperaturmessung in der Tiefe misslang. Die Oberflächentemperatur ist 9° C.

36ste Messung den 26. Mai 1896, 3 h p. Der Himmel ist wolkig bedeckt, der See ganz ruhig. Die Messung verläuft glatt und giebt 7,8 m, 7,4 m; *Mittel 7,6 m.*

Nachher wurde die erste Messung mit dem *Tiefseethermometer* vorgenommen und dabei als Tiefe des Wassers der Messstelle in der Mitte auf der Linie Seeburg-Tribschen 38 m gefunden. Die Wassertemperatur an der Oberfläche ist 11°, diejenige am Boden bei 38 m Tiefe 4,9°. Von jetzt an wurden die Messungen der Transparenz und der Tiefentemperaturen immer mit einander verbunden. Die Wassertemperaturen in der Tiefe werden jedoch in dieser Arbeit übergangen und einer spätern Behandlung vorbehalten. Eines nach dem andern!

37ste Messung den 15. Juni 1896, 3 h p. Die Beobachtungsumstände sind mässig günstig. Der Himmel ist bewölkt, verschleiert; der See ist leicht gekräuselt und hat zudem ein ganz trübes Aussehen. Der Wasserstand ist sehr hoch. Vom 1. bis 12. Juni sind acht Regentage mit 70 mm Regen verzeichnet. Das Schiffchen treibt während der Messung abwärts, der Stadt zu. Ergebnis bloss *5,8 m.* Die Zahl scheint, nach dem Laufe der Kurve zu urteilen, ein wenig zu klein zu sein.

38ste Messung den 30. Juni 1896, 5 h bis 7 h p. Bei dieser Messung hilft Hr. Stadtschreiber *Schürmann* mit seiner eigenen Secchischen Scheibe mit. Der Himmel ist leicht bewölkt; der See ist von Nordwestwind stark bewegt, wirft erhebliche Wellen; das Schiff treibt anfänglich stark von der Platte ab. Ein erster Versuch wurde etwas näher gegen Seeburg zu, in zirka 300 m Distanz vom Ufer gemacht. Das Resultat lautet auf 5,8 m; 4,7 m; *Mittel 5,25 m.* Später wird der See ruhiger; die Messung wird in der Hälfte der Seebreite fortgesetzt und ergiebt, immer noch bei Wind, in drei gut harmonierenden Messungen *5,85 m.* Dies ist das Ergebnis der Bestimmungen von *Arnet.* Vier Messungen von *Schürmann* mit seiner metallglänzenden Scheibe ergaben den Mittelwert 5,77 m oder abgerundet *5,8 m.* An eine Messung von beiden Beobachtern mit vertauschten Scheiben wurde nicht gedacht.

39ste Messung den 13. August 1896, 3 h bis 5 h p. Seit einem Monat war entweder Regenwetter oder unsicheres Wetter an der Tagesordnung gewesen. Von Mitte Juni bis heute 22 Regentage. In der Nacht vom 10./11. August gingen starke Gewitter über Rigi und Pilatus nieder; infolge wolkenbruchartigen Regens erfolgte in der Nacht ein Austritt des *Steinibaches*

bei Hergiswil am See. Ueberhaupt waren die Gewässer in der Umgegend stark angeschwollen.

Am 13. August nachmittags war der Himmel leicht bedeckt, der Pilatus mit Hut versehen (derselbe hat sich nach der landläufigen Wetterregel bewährt und etwa sechs Tage lang anständiges trockenes Wetter gebracht!). Der See war oberflächlich ganz ruhig; aber das Wasser sah *schmutziggrün* aus und die weisse Scheibe bekam schon in 1 m Tiefe ein *ein schmutzig grüngelbes bis grünes Aussehen,* wie noch nie. Ergebnis von zwei Messungen: abwärts 3,1 m; aufwärts 2,9 m; *Mittel 3,0 m.* So hoch hinauf gegen die Oberfläche war die Sichtbarkeitsgrenze hier bis jetzt noch nie gestiegen. Aber im *Arendsee* in der Altmark hat Prof. Dr. *W. Halbfass* am 11. August 1896 nach gleicher Methode die Grenze der Sichtbarkeit zu 1,5 m bestimmt. Trösten wir uns! (Diese Angabe entnehmen wir der Spezialschrift: Dr. *W. Halbfass,* „Der Arendsee in der Altmark, II. Teil, Halle a. S., 1897", die uns der Autor freundlichst übermittelt hat.)

40ste und 41ste Messung den 9. und 26. August 1896, 5 h p. von Herrn Stadtschreiber *A. Schürmann.* Die Ergebnisse dieser nur eine Woche auseinander liegenden Transparenzmessungen sind fast gleich. In unsere Rechnung nehmen wir bloss die zweite Messung vom 26. August auf, damit die gleichen Zeitabstände besser gewahrt bleiben und diese kleinen Sichtbarkeitsgrenzen nicht zu sehr auf die zu berechnenden Mittelwerte drücken. Das Ergebnis von vier Messungen *vom 19. August* beträgt 2,6 m. Die notierte Wassertemperatur von 14° C. muss falsch und zwar zu klein sein. Nach den Aufzeichnungen in der Seebadanstalt war diese Temperatur am 19. August mittags *19° C.* Die Farbe des Wassers ist als *hellgrün* notiert.

Am 26. August Himmel zu drei Viertel bewölkt, Herbstwetter, leichter Südwest; See ziemlich ruhig, ganz wenig Wellen; Aussehen des Wassers *dunkelblaugrün.* Standort zwischen Seeburg und Schönbühl in 1/4 der Seebreite von Seeburg weg. Mittel aus drei sehr gut harmonierenden Messungen *2,45 m.* Ein auffallend kleines Resultat!

Die Sichtbarkeitsgrenze beim Abwärtsgehen der Scheibe fand Schürmann zu 2,6 m, beim Aufwärtsgehen derselben zu 2,3 m; Differenz also bloss 0,3 m. Die Messung ist also unzweifelhaft

eine sichere. Dagegen muss die notierte *Wassertemperatur* 8,8° der Oberfläche unbedingt falsch sein. Sehr wahrscheinlich ist sie mit einem Ablesungsfehler von 10° behaftet und muss auf 18,8° lauten.

Zur Erklärung des so geringen Wertes der Durchsichtigkeit verweisen wir auf das bei der 39. Messung Gesagte und fügen noch hinzu, dass die Tage vom 20. bis 23. August wieder Regentage waren und dass am 26. August vormittags auf der meteorologischen Station Luzern von 10 h bis 12 h starker Westwind notiert ist.

42ste und 43ste Messung den 3. und 7. September 1896, nachm. 4½ h bis 5½ h von *A. Schürmann*. An diesen beiden einander so nahe liegenden Tagen vollführte der eifrige Stellvertreter Schürmann je eine Serie von Messungen. Aus gleichem Grunde wie oben nehmen wir nur die zweite Reihe in die Rechnungen auf, besprechen aber hier beide Beobachtungen.

Am 3. September nachmittags war der Himmel zu zwei Drittel bewölkt, der See leicht gekräuselt, gegen Ende windstill. Die Mittelwerte von vier Messungen beim Verschwinden und Wiedererscheinen der Scheibe sind 5,75 m; 5,5 m; *Gesamtmittel 5,6 m.* Die Farbe des Wsssers wird als *dunkelgrün* bezeichnet. Die *Wassertemperatur* von 6° muss falsch sein.

Am 7. September nachmittags herrschte folgende Situation: Der Himmel zu drei Viertel bedeckt, gegen Westen klar, doch keine Sonne, das Wetter mild und föhnig, der See windstill, hohle See, tote Föhnwellen. Die Fische schnappen an der Oberfläche nach Luft, ein Witterungsumschlag steht bevor. (Am 9. und 10. war es in Luzern etwas gewitterhaft, zweimal kam leichter Gewitterregen, aber fortwährend war es warmes, föhniges Wetter; ein Wetterumschlag trat erst am 19. September ein. Auch die Fische sind keine zuverlässigen Wetterpropheten. Bemerkung von Arnet.) Zwei gute Beobachtungen Schürmanns ergaben abwärts 6,6 m, aufwärts 6,4 m; *Mittel 6,5 m,* also 0,9 m mehr als vor vier Tagen. Damals war der See leicht gekräuselt, heute ganz windstill. Die Durchsichtigkeit nimmt also nach dem Aufhören der grossen Niederschläge des August wieder rasch zu.

44ste Messung den 17. September 1896, 5 h p. von *Arnet.* Der Himmel ist ganz hell und der See sehr ruhig. Zwei völlig über-

einstimmende Messungen ergeben 7,3 m; 7,1 m; *Mittel 7,2 m* als Sichtbarkeitsgrenze.

45ste Messung den 7. Oktober 1896, 4—5 h nachmitttags, *mitten auf dem Kreuztrichter,* von *A. Schürmann.*

Situation: Wolkenloser Herbsttag, Sonne bis 5 Uhr. Die vier Seebuchten sind ziemlich windstill und die Fläche des Trichters ist windstill; später wird die Oberfläche des Trichters leicht gekräuselt und es herrscht ganz leichter Ostwind. Die Farbe des Wassers wird als *blaugrün bis dunkelblaugrün* bezeichnet. Der Standort ist der Kreuzungspunkt der Linie St. Niklausen-Zinnen und der Linie Bahnstation Kehrsiten-Altstad-Inseli, also fast mitten auf dem Kreuztrichter, etwas näher gegen die Halbinsel Zinnen zu. Es werden sechs aufeinander folgende Messungen gemacht. Die Mittelwerte der drei Kolonnen sind: abwärts 7,8 m; aufwärts 7,0 m; *Gesamtmittel 7,4 m.* Eine folgende Messung 5 h 40 gleich nach Sonnenuntergang ergab sofort ein schlechteres Resultat, nämlich 6,9 m; 6,7 m; *6,8 m als Mittel. Schürmann* bemerkt nachfolgendes: „Die Messungen sind nach Vorschrift im Schatten des Schiffes und im Schatten eines schwarzen Schirmes gemacht. Jedoch machen sich die im Wasser gebrochenen Sonnenstrahlen unter dem Schiffe hindurch in Beziehung auf die Sichtbarkeit der metallglänzenden Blechscheibe trotzdem noch geltend.“ (Gewiss! Es ist recht, dass es so ist! Arnet.) „Der Zug des Wassers gegen Luzern zu ist hier bereits fühlbar.“

46ste Messung den 10. Oktober 1896, 4—5 h nachmittags, *bei Seeburg,* von *A. Schürmann. Situation:* Drei Viertel des Himmels bewölkt, keine Sonne; der See hat anfänglich leichte Kräuselwellen, dann stärkere Wellen, gegen Ende der Messung ist er ruhig; Wind von Nordost, vom Brunnenloch her.

Fünf Messungen bei ruhigem Wasser ergeben in den drei Kolonnen für abwärts, aufwärts und Mittel die Durchschnittswerte 8,2 m; 8,0 m; *8,1 m.* Die Differenz zwischen abwärts und aufwärts ist also bloss 0.2 m, die Messung demnach sehr sicher. Drei andere durch Wellenschlag und Kräuselwellen (Wellen 3 bis 2 bis 1 cm hoch) gestörte Messungen ergeben in der letzten Kolonne die Mittelwerte 7,6 m; 7,6 m und 7,5 m; dieselben werden weggelassen. Vier weitere Messungen vor, bei und nach Sonnenuntergang zeigen rasch abnehmende Resultate: 7,95 m;

7,50 m; 7,35; 3,75 m; der letzte Wert ist 5 h 40, 10 Minuten nach Sonnenuntergang gemessen, der vorletzte Wert gerade während des Sonnenunterganges. Die Differenzen beim Niedergang und Aufgang der Scheibe stiegen auf 0,5 m bis 0,7 m.

Die Färbung der Wasseroberfläche nach Taxation mit dem Auge wird angegeben als *blaugrün bis dunkelblaugrün,* einmal als blaugrün bis dunkelgrün; kurz vor, ebenso bei und nach Sonnenuntergang als *schwarzblau.* „Die Farbe des Wassers wird jedenfalls durch die stets wechselnde Bewölkung beeinflusst", sagt *Schürmann.* Die Farbe wurde auf der der Sonne abgewandten Seite des Schiffes konstatiert.

„Der Schiffmann prophezeit Aenderung der Witterung bis morgen zum Schlimmen." (Richtig! Der 11. Oktober war ein böser Regentag. Arnet.)

47ste Messung den 22. Oktober 1896, 2 h p. Fortsetzung der Beobachtungen von *Arnet. Situation:* Himmel leicht bedeckt, föhnig; See leicht gekräuselt; später nehmen Wind und Wellen etwas zu. Zwei Messungen ergeben *8,0 m als Mittelwert.* Das Resultat ist aus doppeltem Grunde etwas zu klein, erstens wegen der Wellenbewegung und zweitens wegen des ganz bedeckten Himmels. Die Differenzen beim Niedergang und Aufzug der Scheibe sind jedoch nur 0,2 m, also ganz normal. Auch die graphische Kurve lässt sofort das Ergebnis der Messung als etwas zu klein, als eine Störung im Gang der Kurve erkennen.

48ste Messung den 11. November, 2½ h p. von *Arnet* unter Mitwirkung von *Hans Friedinger,* Mechaniker, Luzern, Lieferant der Secchischen Scheiben und der von ihm graduierten Messschnüre daran. *Situation:* Himmel leicht neblig, seit 2 Uhr Sonnenschein; See ganz ruhig. Diese Untersuchung ist speziell der Vergleichung der alten gemalten weissen Scheibe à 20 cm und der neuen emaillierten weissen Scheibe à 30 cm Durchmesser gewidmet. Die Augen und die Aufmerksamkeit werden bei den letzten Beobachtungen aufs möglichste angestrengt.

1. *Alte Scheibe.* Zwei Versuche von *Arnet,* unter Aufspannung des schwarzen Schirmes, ergeben übereinstimmend als Mittelwert . . . . . *10,8 m.*

2. *Neue Scheibe.* Je ein Versuch von *Arnet* und *Friedinger,* mit Schirm, ergeben übereinstimmend *11,4 m.*
Differenz zu Gunsten der neuen Scheibe 0,6 m.
3. *Neue Scheibe.* Zwei Versuche von *Friedinger,* ohne Schirm, aber mit hart an die Stirne gehaltenem Arme ergeben 11,8 m und 11,9 m, Mittel . . . *11,85 m.*
4. *Neue Scheibe.* Ein Versuch von *Arnet* mit Schirm ergiebt . . . . . *12,0 m.*

Ein weiterer Versuch mit der alten Scheibe unterblieb leider und die Zeit wurde dem Messen der Tiefentemperaturen gewidmet. Die Seeoberfläche war während der ganzen Zeit der Beobachtung ganz ruhig und glatt. Ein seltener Fall!

Aus den Beobachtungen 1. und 2. ist zu entnehmen, dass die neue Scheibe auf 10,8 m einen Mehrwert von 0,6 m an Sichttiefe giebt oder relativ einen Mehrwert von $\frac{0,6}{10,8} = \frac{6}{108} = 5,5\,\%$ giebt. Eine persönliche Gleichung von Belang zwischen *Friedinger* und *Arnet* existiert nicht, trotzdem Arnet Myop ist, Friedinger aber nicht. Interessant ist noch die Entdeckung von *Friedinger,* dass die Abblendung des Wasserglanzes durch das angepresste Vorhalten eines Armes vor die Stirne ungefähr das Gleiche erreicht wird, wie mit dem aufgespannten Schirm. Mir selbst wollte der Versuch nicht glücken. Die Nachfolger mögen ihn nachprüfen.

Als geltender Wert dieser Messung wird *11,4 m* eingesetzt. Ueber die Ursache der Differenzen zu gunsten der neuen Scheibe vergleiche oben pag. 129—131, Vorbemerkung.

49ste Messung den 3. Dezember 1896, nachmittags 1—3 h, auf dem *Kreuztrichter* von *A. Schürmann.* Der Standort des Schiffes ist derselbe, wie er oben bei der Messung Nr. 45 angegeben ist.

Situation: Trüber Wintertag; Himmel bewölkt, Nebeldecke bis herab zu etwa 150 m über dem Seespiegel; im Zenith ist die Nebeldecke leicht und wahrscheinlich in Bewegung, daher bald dünner, bald dicker und dunkler, welche Umstände nach *Schürmann* Einfluss auf das mehr oder weniger gute Sichtbarsein der Scheibe im Wasser zu haben scheinen.

Seezustand: Anfänglich kleine Wellen von Osten, nachher vollständige Windstille und Ruhe (1 h 40 bis 2 h 20). Um 2 h 15

taucht im Westen ein dunkler breiter Streifen von Wellen auf, von Westwind erzeugt; 2 h 30 tritt auf einmal Westwind auf und damit leichtes Gewell auf dem Trichter.

Alle Beobachtungen sind im Schattenkegel eines schwarzen Regenschirmes vorgenommen. *Die Farbe des Wassers* wird stetsfort als *schwarzblau* taxiert. Die Beobachtungen der Transparenz wurden abwechselnd teils einzeln, teils in Serien von zwei bis drei Messungen hintereinander einmal mit der alten kleinen und dann mit der neuen grossen Scheibe vorgenommen. Wir führen die beiderseitigen Resultate der dritten Kolonne (Mittelwerte vom Versenken und Aufziehen der Scheibe) im Detail an:

Tageszeit.	*Kleine Scheibe.*	*Tageszeit.*	*Grosse Scheibe.*
1 h 20	13,8 m	1 h 30	14,8 m
1 h 45	14,0 „	1 h 40	14,4 „
2 h 10	14,2 „	1 h 55	14,0 „
2 h 20	13,9 „	2 h —	14,7 „
2 h 40	14,1 „	2 h 15	14,4 „
		2 h 30	14,8 „
Mittel aus 5 Messungen *14,0 m.*		Mittel aus 6 Messungen *14,5 m.*	

Es beträgt also die *Differenz zu Gunsten der neuen grossen Scheibe 0,5 m auf 14,0 m* oder $\frac{0,5}{14,0} = \frac{5}{130} = 0,036 =$ **3,6** %.

Ueber die Ursache dieser Differenz vergleiche das oben pag. 130 Gesagte. Als geltender Wert wird für die Beobachtung *14,5 m* in die Tabelle und Kurve eingesetzt. Wahrscheinlich ist auch diese Zahl 14,5 m im Verhältnis zu den Messungen Nr. 48 und Nr. 50 in Seeburg etwas zu klein, infolge des Einflusses der Nebeldecke. Wir schliessen das einerseits aus der oben angeführten bezüglichen *Bemerkung von Schürmann* und andrerseits aus den aus den Originalnotizen berechneten *Differenzen der Sichttiefe* beim Versenken und beim Aufziehen der Scheibe, die in der obigen Tabelle nicht enthalten sind. Die Differenzen variieren zwischen 0,1 m und 1,0 m, sie sind häufig 0,5 m und das Mittel aller Differenzen ist 0,55 m. In diesen Zahlen erkennen wir den Einfluss der dickern und dünnern Nebeldecke vorzüglich auf *das erste Wiederkennen* der Scheibe beim Aufziehen derselben. Schürmann hat Recht mit seiner Bemerkung. Die Erfahrungen von uns beiden widersprechen gewissen Aufstellungen

von Forel in Beziehung auf den unbedeutenden Einfluss der Himmelsbedeckung auf die Messungsergebnisse.

50ste Messung den 10. Dezember 1896, nachm. ½3 bis 4 h, *bei Seeburg,* von *Arnet.*

Situation: Stark bewölkt, Sonne 3 h 40 nahe am Untergehen hinter dem Pilatus; leichter Nordwest, See ganz ruhig. — Es wird eine nochmalige Vergleichung der beiden Scheiben von Arnet allein vorgenommen.

1. *Alte kleine Scheibe,* eine Messung, 13,8 m.

2. *Neue grosse Scheibe,* zwei Messungen *14,75 m.*

Differenz zu gunsten der neuen Scheibe 0,95 m oder 6,9 % des kleinern Wertes.

Die mittlere Differenz, aus Versuch 48 und 50 berechnet, wird daher zu gunsten der neuen Scheibe $= \frac{5{,}5 + 6{,}9}{2} = 6{,}2\ \%$.

Als geltender Wert der heutigen Messung wird *14,7 m* in die Tabelle und Kurve eingesetzt. Die Zunahme der Durchsichtigkeit seit 11. November beträgt also 3,3 m, per Tag 0,11 m.

51ste Messung den 26. Dezember 1896, 3 h p., *bei Seeburg,* von *Arnet.*

Situation: Neblig bedeckt, trüb; windstill und See ganz ruhig. Das Mittel aus drei Messungen lautet für das Versenken der Scheibe auf 16,4 m, für das Aufziehen der Scheibe 15,6 m; *das Gesamtmittel ist also 16,0 m.* Auffällig ist daran die etwas grosse Differenz zwischen der Ablesung beim Versenken und beim Aufziehen der Scheibe, die jetzt 0,8 m beträgt. Da der See ganz ruhig war und kein Störungsmoment erwähnt ist, so müssen wir dieselbe als die Folge der gänzlichen Abwesenheit des direkten und reflektierten Sonnenlichtes auffassen. Darin zeigt sich der Einfluss der Nebeldecke. Man vergleiche dazu die Erfahrungen von Schürmann bei der Messung Nr. 49.

52ste Messung den 19. Jänner 1897, 2 h p., *bei Seeburg,* von *Arnet.*

Situation die gleiche wie bei der letzten Messung. Von mehreren Beobachtungen ist leider nur eine notiert worden. Dieselbe lautet für abwärts auf 16,8 m, für aufwärts auf 16,2 m;

Differenz 0,6 m; *Gesamtmittel 16,5 m.* Auch diese Messung bestätigt den Einfluss der Nebeldecke.

53ste Messung den 17. Februar 1897, 2½ h p., *bei Seeburg,* von *Arnet.*

Situation: Hell, Sonne, aber dunstige Atmosphäre; abends 4 h Berge prächtig klar; See leicht gekräuselt und mit leichten laufenden Wellen vom Bürgenstock herkommend versehen. Ergebnis von zwei Messungen: abwärts 14,85 m, aufwärts 14,4 m; Differenz 0,45 m; *Mittelwert 14,6 m.* Die Durchsichtigkeit hat hat also bereits wieder abgenommen. Die Differenz 0,45 m verdankt ihre Grösse den die Beobachtung immer störenden Kräuselwellen.

Vorausgehende Witterung: Die zweite Hälfte *Januar* hatte eine 43 cm hohe Schneelage gebracht, die erste Hälfte *Februar* war ungebührlich warm (mittlere Temperatur 4,2 ° anstatt normal 0,9 °) gewesen und hatte durch die Wärme sowohl als durch zahlreiche Niederschläge (111 mm Regenmenge an 14 Regentagen vom 1. bis 15. Februar) grosse Schneeschmelze und starkes Steigen des Sees verursacht. Von daher kommt die so frühzeitige Abnahme der Durchsichtigkeit gegenüber dem Winter 1896.

Schluss der Beobachtungen des Referenten *Arnet* den 17. Februar 1897.

4. Uebergang und Erläuterungen zu den Tabellen.

Um dieses gesammelte Beobachtungsmaterial übersehen, beherrschen und ausnützen zu können, verarbeiteten wir dasselbe im Winter 1897/98 einmal zu einer graphischen Darstellung *der Kurve der Sichtbarkeitsgrenze für Seeburg und Meggenhorn* und zu einer Darstellung *der Temperaturkurve des Wassers bei Seeburg* (vergleiche die Beilage zu dieser Arbeit!) und zweitens zu einer *tabellarischen Zusammenstellung* aller einzelnen Beobachtungen (*Tabellen* 1 a, 1 b und 1 c) und zu einer *Tabelle* der monatlichen Mittelwerte der Sichtbarkeitsgrenzen in Seeburg, der Mittelwerte und Schwankungen für die Jahreszeiten und die Jahre der drei Beobachtungsjahrgänge und der dreijährigen Gesamtmittel. *(Tabelle 2.)*

Bei der *Berechnung der Mittelwerte* machte sich das Fehlen von wenigstens einer Beobachtung in den Monaten Mai, November und Februar des Jahrganges 1894/95 und in dem Juli 1896 unangenehm geltend und erzeugte störende, ungleichmässige Gewichte der einzelnen Monate. Am meisten litt das Jahresmittel von 1896/97 und das Julimittel der sämtlichen drei Jahrgänge darunter; beide wurden zu gross. Wir fanden es daher angezeigt, für die fehlenden Monatswerte denjenigen Betrag der Sichtbarkeitsgrenze zu interpolieren, der in der graphischen Kurve für die Mitte des betreffenden Monats als Quote abzulesen ist. Dadurch wurden nun auch die Mittelwerte der vier Jahreszeiten, Frühling, Sommer, Herbst und Winter, den wirklichen Verhältnissen entsprechender und ebenso die Mittelwerte der Monate in der letzten Kolonne der Tabelle 2. Das Jahresmittel des ersten Jahres wurde hiedurch um 0,1 m erhöht, dasjenige des zweiten Jahres blieb unverändert, dasjenige des dritten Jahres sank von 10,3 m auf 9,8 m und das Gesamtmittel aller Beobachtungen wurde um 0,1 m kleiner. Es ist also klar, dass wir nicht etwa deswegen interpoliert haben, um etwas Besseres, Günstigeres für unsern See herauszurechnen, als wirklich beobachtet wurde. Wir sind der bestimmten Ansicht, dass durch diese Interpolationen von vier Werten aus der graphischen Kurve die ganze Berechnung an Sicherheit und Stetigkeit gewonnen hat. Wir lassen nun die Tabellen folgen.

II.

Tabellen

über

die Durchsichtigkeit und die Oberflächentemperatur des Wassers.

Tabellen 1a bis 1c.

Chronologische Uebersicht der Beobachtungen vom März 1894 bis zum Februar 1897.

Tabelle 1a.

I. Beobachtungsjahr, März 1894 bis Februar 1895.

Nummer der Beobachtg.	Datum	Tages-stunde	Sichtbarkeitsgrenze bei			Bemerkungen
			Seeburg	Meggenhorn	St. Niklausen	
	1894.					
1.	26. März	11 h p.	11,6 m	—	—	Etwas zu klein.
2.	2. April	6 h p.	11,7 „	—	—	
3.	26. April	2 h p.	—	—	13,4 m	
4.	1. Juni	6 h p.	(7,0 m?)	—	(5,8 m?)	Verfehlte Beobachtung.
5.	17. Juni	3 h p.	8,1 m	8,8 m	8,8 m	
6.	22. Juli	4 h p.	7,6 „	8,5 „	—	Vergl. die Diskussion.
7.	5. August	2 h p.	6,0 „	6,7 „	6,1 „	Gewittertage vorher.
8.	11. September	6 h p.	5,9 „	6,5 „	6,1 „	1./2. Sept. heft. Gewitter. 1.—8. Sept. 7 Regentage.
9.	27. Oktober	5 h p.	10,1 „	11,2 „	—	
10.	9. Dezember	3 h p.	12,3 „	13,0 „	—	
	1895.					
11.	19. Januar	3 h p.	16,6 „	—	—	Im Februar keine Messung.

Tabelle 1b.

II. Beobachtungsjahr, März 1895 bis Februar 1896.

(Die in eckiger Klammer befindlichen Angaben beziehen sich auf die Station *Gersau.*)

Nummer der Beobachtg.	Datum	Tagesstunde	Station Seeburg			Bemerkungen
			Durchsichtigkeit	Wassertemperatur	Lufttemperatur	
	1895.			C.	C.	
12.	7. März	2 h p.	13,5 m	1°	0,5°	Lokale Störung. V. Text.
[13.	24. März	4 h p.]	[17,5 m]	[3,6°]	[15°]	Bezieht sich auf *Gersau.*
14.	1. April	6 h p.	13,9 m	3,9°	8,5°	
15.	16. April	3 h p.	13,6 „	7°	13°	
16.	1. Mai	4 h p.	11,3 „	11°	16°	
17.	23. Mai	3 h p.	7,9 „	—	—	
18.	5. Juni	5 h p.	7,9 „	17°	—	5,3 m b. Bahnhof Luzern.
19.	18. Juni	2 h p.	6,4 „	18°	—	4., 10. u. 11. Juni Gewitter.
20.	9. Juli	2 h p.	7,9 „	18°	—	6,8 m b. d. Seebadanstalt.
21.	28. Juli	3 h p.	8,8 „	22,5°	27°	
22.	10. August	3 h p.	8,2 „	21°	—	
—	30. August	12 h m.	—	21°	—	W.-T. von d. Seebadanstalt.
23.	20. September	3 h p.	8,8 „	19°	—	W.-T. von d. Seebadanstalt.
24.	8. Oktober	3 h p.	10,1 „	—	—	
25.	28. Oktober	2 h p.	11,7 „	12°	—	
26.	19. November	3 h p.	14,2 „	11°	—	
27.	12. Dezember	3½ h p.	13,5 „	6,8°	—	5. Dez. Sturm; 6. Dez. Gewitter, nachher Schnee.
28.	26. Dezember	3 h p.	15,0 „	6°	8°	
	1896.					
29.	15. Jänner	3 h p.	14,8 „	5°	3°	
30.	29. Jänner	3 h p.	(14 m?)	4,5°	1°	st. Wind; Messung unsicher.
31.	9. Februar	3 h p.	15,6 m	4,2°	—1°	
32.	19. Februar	3 h p.	15,9 „	4,2°	5°	

Tabelle 1c.

III. Beobachtungsjahr, März 1896 bis Februar 1897.

(Die in eckiger Klammer befindlichen Beobachtungen beziehen sich auf den *Kreuztrichter* des Sees.)

Nummer der Beobachtg.	Datum	Tages-stunde	Station Seeburg			Bemerkungen
			Durch-sichtigkeit	Wasser-temperatur	Luft-temperatur	*F.* = Farbe des Wassers. *B. Sch.* = Beobachtung von Schürmann.
	1896.			C.	C.	
33.	17. März	3 h p.	14,0 m	5°	14°	
34.	22. April	3 h p.	9,9 „	7,6°	16,5°	F. = Nr. IV der Skala.
35.	8. Mai	3 h p.	7,9 „	9,0°	16,5°	
36.	26. Mai	3 h p.	7,6 „	11°	13°	
37.	15. Juni	3 h p.	5,8 „	17°	19°	
38.	30. Juni	5½ h p.	5,8 „	18,4°	17,8°	
—	15. Juli	12 h m.	—	19°	—	W.-T. von d. Seebadanstalt.
39.	13. August	3 h p.	3,0 „	17,3°	17,8°	F. = trübgrün.
40.	19. August	5 h p.	(2,6 „)	19°	19°	F. = hellgrün. *B. Sch.*
41.	26. August	5 h p.	2,5 „	18,8°	14°	F. = dunkel blaugrün. *B. Sch.*
42.	3. September	5 h p.	(5,6 „)	19°	17°	F. = dunkelgrün. *B. Sch.*
43.	7. September	4½ h p.	6,5 „	19°	17°	F. = dunkelgrün. *B. Sch.*
44.	17. September	5 h p.	7,2 „	18,7°	18°	
[45.	7. Oktober	4 h p.]	[7,4 „]	[13,5°]	[17°]	[F. = blaugrün bis dunkel blaugrün. *B. Sch.*]
46.	10. Oktober	4 h p.	8,1 „	13,5°	14,5°	F. = blaugrün. *B. Sch.*
47.	22. Oktober	2 h p.	8,0 „	11,3°	12°	
48.	11. November	3 h p.	(10,8 „)	9°	8°	Mit der alten Scheibe.
„	„	„	11,4 „	„	„	Mit der neuen Scheibe.
[49.	3. Dezember	1½ h p.]	[(*a* 14,0)]	[6,5°	4,5°]	[F. = schwarzblau. *B. Sch.*
[„	„	„]	[*b* 14,5m]	[„	„]	*a* = alte Scheibe, *b* = neue Scheibe.]
50.	10. Dezember	3 h p.	(13,8 „)	6,2°	6,4°	Mit der alten Scheibe.
„	„	„	14,7 „	„	„	Mit der neuen Scheibe.
51.	26. Dezember	3 h p.	16,0 „	5,2°	2,2°	Mit der neuen Scheibe.
	1897.					
51.	19. Januar	2 h p.	16,5 „	4,6°	2,0°	Mit der neuen Scheibe.
52.	17. Februar	3 h p.	14,6 „	4,8°	5,2°	Mit d. neuen Scheibe. - Febr. warm, st. Niederschläge.

Tabelle 2.

Mittelwerte und Extreme der Durchsichtigkeit des Wassers bei Seeburg und dreijähriges Gesamtmittel für die Jahre 1894/97.

(Die mit * bezeichneten Zahlen sind, mangels direkter Messungen, aus der graphischen Kurve für die Mitte des betreffenden Monats interpoliert.)

Monate	1894/95		1895/96		1896/97		1894—97	
	Zahl der Messungen	Mittlere Durchsichtigkeit	Zahl der Messungen	Mittlere Durchsichtigkeit	Zahl der Messungen	Mittlere Durchsichtigkeit	Zahl der Messungen	Mittlere Durchsichtigkeit
März . . .	1	11,6 m	1	13,5 m	1	14,0 m	3	13,0 m
April . . .	1	11,7 „	2	13,75 „	1	9,9 „	4	11,8 „
Mai . . .	*1	*9,6 „	2	9,6 „	2	7,75 „	5	9,0 „
Juni . . .	1	8,1 „	2	7,15 „	2	5,8 „	5	7,0 „
Juli . . .	1	7,6 „	2	8,35 „	*1	*4,8 „	4	6,9 „
August . .	1	6,0 „	1	8,2 „	2	2,75 „	4	5,65 „
September .	1	5,9 „	1	8,8 „	2	6,85 „	4	7,2 „
Oktober . .	1	10,1 „	2	10,9 „	2	8,05 „	5	9,7 „
November .	*1	*11,0 „	1	14,2 „	1	11,4 „	3	12,3 „
Dezember .	1	12,3 „	2	14,25 „	2	15,35 „	5	14,0 „
Januar . .	1	16,6 „	2	14,8 „	1	16,5 „	4	16,0 „
Februar . .	*1	*14,9 „	2	15,75 „	1	14,6 „	4	15,1 „
Jahreszeiten:								
Frühling . .	3	11,0 „	5	12,3 „	4	10,55 „	12	11,3 „
Sommer . .	3	7,2 „	5	7,9 „	5	4,45 „	13	6,5 „
Herbst . .	3	9,0 „	4	11,3 „	5	8,8 „	12	9,7 „
Winter . .	3	14,6 „	6	14,9 „	4	15,5 „	13	15,0 „
Jahr . . .	**12**	**10,45 m**	**20**	**11,6 m**	**18**	**9,8 m**	**50**	**10,6 m**
Extreme:	Monat	Durchsichtigkeit	Monat	Durchsichtigkeit	Monat	Durchsichtigkeit	Monat	Durchsichtigkeit
Maximum .	Jan.	16,6 m	Feb.	15,9 m	Jan.	16,5 m	Jan.	16,0 m
Minimum .	Sept.	5,9 „	Juni	6,4 „	Aug.	2,5 „	Aug.	5,6 „
Schwankung	. .	10,7 m	. .	9,5 m	. .	14,0 m	. .	10,4 m

III.

Diskussion der Beobachtungsergebnisse

über

die Durchsichtigkeit des Wassers.

Das vorliegende Untersuchungsmaterial bietet Stoff zu mancherlei Folgerungen, Erörterungen und Anregungen. Aus der Durchsichtigkeitskurve sowohl, als aus den Tabellen können zunächst verschiedene Gesetzmässigkeiten im Gange der Erscheinungen herausgelesen werden. Wir erlauben uns, auch diejenigen Ergebnisse, die schon anderwärts, z. B. im Genfersee und im Bodensee, im allgemeinen konstatiert worden sind, hier ebenfalls namhaft zu machen, sodann Bemerkungen über hiesige spezielle Verhältnisse anzuknüpfen und endlich Vergleichungen anzustellen.

1. Zeitliche Veränderungen der Durchsichtigkeit des Seewassers.

a. *Die jährlichen Maxima und Minima der Durchsichtigkeit.* — *Die Durchsichtigkeit des Seewassers im Luzerner See unterliegt einem jährlichen Wechsel; im Winter ist die Klarheit des Wassers am grössten; im Sommer oder zu Anfang des Herbstes ist sie am kleinsten.*

Die Zeit der grössten Trübung ist an keinen bestimmten Monat gebunden; sie tritt einmal im *Juni,* einmal im *August,* einmal im *August und September* auf. Mehr Jahrgänge der Beobachtung würden gelegentlich auch den Juli mit dem Minimum eintreten lassen. Das hängt wesentlich mit den Niederschlägen und Gewittern im Einzugsgebiet des Sees zusammen. Eine Vorliebe scheint der *August* für das *Minimum* zu haben, gerade wie er nach den von uns publizierten langjährigen Luzerner Niederschlagsmessungen eine Vorliebe für das *Maximum der Niederschlagsmengen* besitzt.

Die Zeit der grössten Durchsichtigkeit im Winter fällt entweder in den Monat Januar oder Februar, niemals in den März.

Ein fataler Umstand ist es, dass im Februar 1895, in diesem denkwürdigen eisigen Monat, die Beobachtung und Messung ausgefallen ist. Das krasse Minimum im August 1896 im Betrage von 2,5 m hat Herr *Schürmann* geholt, aber das kompensierende höchste Maximum im Februar 1895 habe *ich* nicht geholt. Wir sind so um das richtige Maximum jenes Winters und überhaupt während der Beobachtungszeit geprellt. Herr *Forel* hat im kalten Winter 1890/91 im Genfersee als tiefste Sichtbarkeitsgrenze 21 m gemessen. Etwas Aehnliches, aber immerhin Kleineres, hätten wir mit Hinsicht auf die andauernde Kälte, auf die zeitweisen Gefriererscheinungen in dem Luzerner Seearm, und auf das hohe Resultat 17,5 m, welches unsere Beobachtung Nr. 13 noch am 24. März in *Gersau* ergeben hat, im Februar auch bei der Station *Seeburg* erwarten dürfen. Es waren eben auch Schneefälle im Spiele, welche die Klarheit wieder herabsetzen mochten. Vergl. die Angaben bei der 11. Messung oben. Aber setzen wir den Fall, jene Februarmessung hätte 18,6 m ergeben, anstatt der jetzt interpolierten 14,9 m, so hätte das erste Jahresmittel um 0,3 m, das dreijährige Februarmittel um 1,2 m und das Gesamtmittel aus allen Messungen um 0,1 m höher werden müssen. Es ist schade! Aber wir sind nach dieser Ueberlegung doch viel ruhiger, da wir wissen, dass das Gesamtmittel nicht so arg gelitten hat. Meine Nachfolger in diesen Messungen mögen sich ein abschreckendes Beispiel nehmen und es, wenn wieder einmal ein recht strenger Winter kommt, besser machen und den fehlenden Punkt nachholen.

Das gemessene *absolute Maximum* der Durchsichtigkeit bei Seeburg mit 16,6 m ist also $6^2/_3$ mal *so gross,* als das daselbst $1^1/_2$ Jahr später gemessene *absolute Minimum* von 2,5 m.

Vielfach habe ich von den Schiffleuten, auch von dem an Jahren und Erfahrungen reichen Schiffmeister *X. Zimmermann* die Behauptung aussprechen hören, die Zeit der grössten Durchsichtigkeit des Wassers sei in der Regel *der Monat März.* Nach unsern Messungen trifft das nicht zu. Im März 1895 und 1896 ist die Durchsichtigkeit schon geringer, als im vorausgehenden Monat, und im Jahre 1897 liegt der untere Wendepunkt der Durchsichtigkeitskurve gar schon im Januar. Für die Jahre 1896 und 1897 können wir das Faktum als sicher hinstellen; für das

Jahr 1895 ist die Behauptung insofern weniger sicher, als ich mit meiner Messung Nr. 12 am 7. März das Opfer eines bösen Zufalles, d. h. einer künstlichen Trübung des Wassers durch unsere wohllöbliche Dampfschiffgesellschaft geworden bin. Jedoch war anfangs März auch starker Schneefall vorausgegangen und hatte mitgeholfen, die Trübung zu vermehren. Leider fasste ich den störenden Zufall damals als gar nicht so bedeutend auf und stellte keine Kontrollmessungen weiter oben bei Meggenhorn oder St. Niklausen an. Die Zeit reichte nicht zu allem. Mit Rücksicht auf die Messung Nr. 14 vom 1. April und den weitern Verlauf der Kurve darf man aber keineswegs annehmen, dass die ungestörte normale Durchsichtigkeit anfangs März ebenso hoch oder höher gewesen sei, als im Februar 1895. Man beachte ferner, dass das dreijährige Monatsmittel des März bereits um 3 m tiefer ist, als dasjenige des Januars und um 2 m tiefer, als dasjenige des Februars. Es ist also unbedingt *nicht richtig,* dass *in der Regel der März* die grösste Durchsichtigkeit des Wassers aufweise; das könnte höchstens ausnahmsweise einmal bei einem tief in den März hineindauernden strengen Spätwinter der Fall sein. Die Ansicht der Schiffleute gehört zu den ungenau beobachteten Tatsachen, zu den Ueberlieferungen nach allgemeinen Erinnerungen, denen keine exakten Messungen zu Grunde liegen. Die Schiffleute beobachten eben auch lieber im März, als im kalten Januar und Februar.

Wir haben nun auch die einschlagenden Publikationen vom *Genfersee,* 1892 von *F. A. Forel* herausgegeben, und vom *Bodensee,* 1893 von *Forel* bearbeitet und von *Graf von Zeppelin* ins Deutsche übersetzt, nachgeschlagen. Am *Genfersee* haben die meisten Stationen die mittlern *Maxima* von 13 m bis 17 m im Dezember und Januar oder im Januar und Februar; einzig die Station Morges hat dieselben im März und Februar (15,4 m im März und 15,0 m im Februar). Die Station Thonon am untern See hat das *Hauptmaximum* im Jänner (17,0 m), ein *secundäres Maximum* im April (14,3 m). Als mittleres *Minimum* hat Thonon 6,8 m im Juli, Morges 5,3 m im August und Nernier 6,7 m im August. Wir verstehen einzig jene hohen Ziffern für den März und April nicht recht. Sind dieselben der Ausdruck eines Gesetzes oder derjenige von bösen Zufällen?

Beim *Bodensee* gehen die extremen Ziffern der fünf Stationen noch viel stärker durcheinander. Die mit unserer Station Luzern-Seeburg am meisten vergleichbare Station Konstanz gegen den Ausfluss des Sees zu hat das mittlere *Maximum* im April mit 10,62 m; ihm zunächst kommt der März mit 9,62 m, dann der Jänner mit 9,37 m; also ist die Durchsichtigkeit im April um 1,25 m höher als im Jänner. Die drei Sommermonate stehen fast gleich: Juni 7,62 m; Juli 7,75 m; August 7,75 m (interpoliert). Das *Minimum* hat der Juni. *Die Jahresschwankung* der mittlern Durchsichtigkeit ist also *in Konstanz* 10,62 — 7,62 = *3,0 m; in Luzern* ist dieselbe lt. Tabelle 2: 16,0 — 5,6 = *10,4 m; in Thonon am Genfersee* 17,0 — 6,8 = *10,2 m.* Das Maximum 10,6 m in Konstanz für den April kommt uns auch verdächtig vor. Sind da nicht Störungen oder Fehler unterlaufen?

b. *Die Schwankungen in der Durchsichtigkeit nach Jahreszeiten.* Hiefür stellen wir zu der Tabelle 2 noch folgende *Uebersicht* über die Extreme und Schwankungen der Durchsichtigkeit während den drei Beobachtungsjahren 1894—97 her, die aus den Tabellen 1a, 1b und 1c entnommen ist.

Jahreszeiten.	*Absolutes Maximum.*	*Absolutes Minimum.*	*Absolute Schwankung.*	*Mittlere Schwankungen der Extreme von drei Jahren.*
Frühling	14,0 m	7,6 m	6,4 m	4,80 m
Sommer	8,8 „	2,5 „	6,3 „	2,60 „
Herbst	14,2 „	5,9 „	8,3 „	5,13 „
Winter	16,6 „	12,3 „	4,3 „	2,87 „
Jahr	16,6 m	2,5 m	14,1 m	11,40 m

Hieraus ersieht man, dass im Verlaufe mehrerer Jahre die absoluten Maxima und Minima der Jahreszeiten innerhalb weiter Grenzen schwanken. Am grössten ist diese *absolute Schwankung* im Herbst und beträgt 8,3 m für unsern dreijährigen Zeitraum; am kleinsten ist sie im Winter mit 4,3 m; einen mittlern Wert hat sie im Frühling und Sommer mit 6,4 m und 6,3 m. — Wesentlich anders wird das Bild, wenn man aus den Tabellen 1a, 1b und 1c die Maxima und die Minima jeder *Jahreszeit* in jedem Jahre, und daraus die Schwankungen jeder *Jahreszeit* in jedem Jahre, und daraus *die mittlere Schwankung jeder Jahreszeit* für unsere dreijährige Periode heraussucht. Dieselbe ist in der 5.

Kolonne eingetragen. Wir erkennen daraus, dass die mittlere jahreszeitliche Schwankung *im Frühling und Herbst,* also in den Uebergangsjahrzeiten *am grössten* ist (4,8 m und 5,1 m), dagegen *im Sommer und Winter am kleinsten* (2,6 m und 2,9 m). Das heisst mit andern Worten: Im Frühling und Herbst variiert die Transparenz am meisten; während unseres Sommers variiert sie am wenigsten und ist zugleich am schlechtesten; während unserer trockenen Jahreszeit, im Winter, variiert sie ebenfalls wenig und ist zugleich am grössten. *Die grösste mittlere und die grösste absolute jahreszeitliche Variation* von mehreren Jahren fällt also nicht auf den Frühling, sondern *auf den Herbst.* Die das Wasser klärenden Ursachen wirken also im Herbste ausgiebiger, kräftiger, als die das Wasser trübenden Einflüsse im Frühling; jedoch ist der Unterschied nicht gerade gross. Dem Gefühle oder der Intuition nach hätten wir entschieden das Umgekehrte erwartet: eine überaus grosse Schwankung im Frühling infolge des Zusammenwirkens der Schneeschmelze, der Gletschermilch und der zunehmenden Niederschläge im Tale und auf den Vorbergen, sodann eine erheblich weniger grosse Schwankung im Herbste beim Nachlassen der Sommerregen. Dort wirken drei trübende Ursachen, hier nur eine klärende. Es lässt der zahlenmässige Nachweis des Gegenteils darauf schliessen, dass wir dem Gefühle nach die wirkenden Ursachen noch nicht recht taxiert haben. Es ist ja gewöhnlich so bei komplizierten Vorgängen. Wir sind hierdurch veranlasst, weiter zu schliessen, dass auch die *Temperatur* der oberen Wasserschichten eine erhebliche Rolle spielen dürfte.

Unsere Temperaturkurve des Wassers bei Seeburg zeigt nun, dass der Anstieg der Oberflächentemperatur sich vom Februar bis Juli, also innerhalb fünf Monaten vollzieht, der Abstieg derselben aber vom Juli bis Februar, also während sieben Monaten. Die Erwärmung an der Oberfläche geht also rascher vor sich, als die Abkühlung an derselben. Das stimmt nicht zu dem, was wir haben sollten, um das Paradoxon der grössern Schwankung im Herbst zu erklären. Bei den Wasserschichten unter der Oberfläche muss aber das Tempo der Temperaturänderung doch wohl anders sein, als an der Oberfläche: langsameres Erwärmen im Frühling und schnelleres Abkühlen im Herbst. Aus der kurzen

Reihe der von uns ausgeführten thermischen Lotungen bei Seeburg im Jahre 1896/97 sehen wir, dass in 10 m Tiefe die Temperatur vom März bis Mitte September steigt, und dass von Mitte September an das Sinken der Temperatur ein rasches wird. Leider fehlt uns der Temperaturgang in 5 m und 15 m Tiefe. Das Vorhandene bringt uns vorläufig auf die Vermutung, dass entweder die Temperaturänderung und die mit ihr Hand in Hand gehenden Convectionsströmungen in den oberen Wasserschichten oder dann die Menge des in diesen Schichten vorhandenen Planktons oder beide Umstände zusammen das fehlende Moment sein möchten, welches die nachgewiesenen grössern und kleinern Variationen der Sichtbarkeitsgrenzen in den Jahreszeiten begreiflicher machen kann. Da ist für die Mitarbeiter noch weiteres Material zu erheben, bis man die Verhältnisse klar durchschaut.

c. *Die Abnahme und Zunahme der mittlern Durchsichtigkeit von Monat zu Monat und von Jahreszeit zu Jahreszeit.* Für die einzelnen Monate können wir dieselbe aus der letzten Kolonne von Tabelle 2 durch blosse Subtraktion bilden; für die Jahreszeiten stellen wir sie hier noch gesondert zusammen.

Jahreszeiten.	*Mittlere Durchsichtigkeit.*	*Zunahme oder Abnahme gegenüber der vorigen Jahreszeit.*
Frühling	11,3 m	— 3,7 m
Sommer	6,5 „	— 4,8 „
Herbst	9,7 „	+ 3,2 „
Winter	15,0 „	+ 5,3 „
Jahr	10,6 m	∓ 8,5 m

Die Abnahme der mittlern Durchsichtigkeit von Monat zu Monat erfolgt nach Tabelle 2 vom Januar bis August, also während sieben Monaten. Die Abnahme ist am stärksten vom Februar auf den März (— 2,1 m), vom April auf den Mai (— 2,8 m) und vom Mai auf den Juni (— 2,0 m). Vom April bis Juni ist also die Abnahme — 4,8 m, vom März bis Juni — 6,0 m. Suchen wir oben bei den Jahreszeiten die Abnahme vom Mittelwert des Frühlings auf den Mittelwert des Sommers, so finden wir sie zu — 4,8 m, gegenüber — 3,7 m vom Winter auf den Frühling.

Die Zunahme der mittlern Durchsichtigkeit von Monat zu Monat erfolgt vom August bis Januar, also während fünf Monaten. Die Zunahme ist am stärksten vom September zum Oktober (+ 2,5 m) und vom Oktober zum November (+ 2,6 m) und vom Dezember zum Jänner (+ 2,0 m). Vom September bis zum November beträgt also die Zunahme + 5,1 m, d. h. fast die Hälfte der gesamten Zunahme (10,4 m); vom September bis Dezember ist sie + 6,8 m. Sehen wir oben bei den *Jahreszeiten* das Wachstum vom Herbst auf den Winter nach, so finden wir + 5,3 m, gegenüber + 3,2 m vom Sommer auf den Herbst.

Die relativ stärkste Abnahme der mittlern Durchsichtigkeit erfolgt also von Mitte April bis Mitte Juni (— 4,8 m), *die relativ stärkste Zunahme von Mitte September bis Mitte November* (+ 5,3 m). Also auch vom Standpunkte der Mittelwerte aus betrachtet wirken die klärenden Einflüsse im Herbste energischer, als die trübenden Einflüsse im Frühling. Wir rufen wiederum die Temperaturänderung und das Plankton zu Hilfe, um vielleicht das interessante Ergebnis begreiflich zu machen.

Zu Handen der Mitarbeiter und der limnologischen Kommission unseres Sees möchten wir an dieser Stelle einen Rat erteilen. Die termischen Lotungen der obern Wasserschichten bei der Messung der Tiefentemperaturen sollen nicht von 10 zu 10 m Tiefenabstand, sondern bis auf 20 m hinab wenigstens von 5 zu 5 m oder dann in den Abständen 3, 6, 10, 13, 16 und 20 m von der Oberfläche vorgenommen werden, sonst werden später diese umständlichen Lotungen nicht die erwartete Aufklärung betreffend Sprungschicht, Transparenz und Plankton zu geben vermögen.

2. Oertliche Veränderungen der Durchsichtigkeit des Seewassers.

Es finden auch *Unterschiede* in der Durchsichtigkeit des Seewassers *in den verschiedenen Becken und Buchten* unseres vielgestaltigen Sees statt. Unsere Beobachtungen haben allerdings diesen Punkt nur gestreift. Längere Parallelreihen von Messungen an verschiedenen Stellen des Sees liegen noch keine vor. Doch wollen wir das Wenige und Hakige, das vorliegt, der Diskussion nicht entziehen. Es kann weitere Anregungen geben. Wir ver-

gleichen alle anderen Durchsichtigkeitsergebnisse mit unserer Durchsichtigkeitskurve und den Zahlen für *Seeburg*.

a. *Differenz zwischen Meggenhorn und Seeburg.* Die Entfernung der beiden Stationen von Luzern ist rund 4 Kilometer und 2 Kilometer. Aus sechs je am gleichen Tage und bei der gleichen Fahrt vollzogenen Messungen an den beiden Stationen, vom Juni bis Dezember 1894, geht hervor, dass die Differenz der Durchsichtigkeitswerte in fünf Fällen zu gunsten von Meggenhorn, in einem Falle zu gunsten von Seeburg lautet. Der Mittelwert für Seeburg lautet auf 8,33 m, derjenige für Meggenhorn auf 8,86 m; die mittlere Differenz beträgt 0,53 m zu gunsten von Meggenhorn.

Durch die Vergleichung des Ganges der beiden Kurven für Seeburg und Meggenhorn, sodann durch die bei der Messung Nr. 6 verzeichneten Umstände und die Vergleichungen über die Wirkungen des schwarzen Schirmes bei den Messungen Nr. 9 und 10 und durch die beim Studium allmälig gewonnene Einsicht hat sich mir die Ansicht aufgedrängt, dass das kleinere Messungsresultat 7,0 m am 22. Juli 1894 in Meggenhorn eine durch den Wind und das Abtreiben des Schiffes von der Scheibe verursachte fehlerhafte Messung sei und korrigiert werden müsse. Aber warum soll denn das schiefe Durchsehen durch die trübe Wasserschicht auch ein schiefes Resultat und zwar ein zu kleines Resultat geben? Warum soll eine 7 m dicke Wasserschicht in schräger Durchsicht die Scheibe verschwinden machen, dagegen bei senkrechter Durchsicht erst eine 8 m bis 9 m dicke Schicht dies bewirken?

Wir können zwei Gründe anführen. Erstens wird die seitwärts getriebene Platte sich nicht mehr im Schattenkegel des schwarzen Schirmes befinden, das Auge muss auf die direkt beleuchtete Wasserfläche neben dem Schiffe hinblicken und wird daher für die letzten Spuren der Sichtbarkeit der Scheibe früher unempfindlich, als wenn es im Schutze des genannten Schattenkegels senkrecht auf das Wasser und die Scheibe herabschauen kann. Der schwarze Schirm nützt dem Auge im gegebenen Falle nichts, die Scheibe wird zu früh verschwinden, gerade wie wenn bei senkrechtem Hinabschauen gar kein Schirm gebraucht worden wäre. Zweitens ist die optische Trübung wohl nicht in

allen Schichten des Seewassers gleich stark. Falls dieselbe in den obern Schichten stärker ist, als in den tiefern, sagen wir in den unter 6 m Tiefe gelegenen Schichten, so wird bei schräger Stellung der Schnur das von der Scheibe zurückkommende Licht diese stärker trübende obere Schicht auf eine längere Strecke passieren müssen, als bei senkrechter Stellung der Schnur. Ueber diese Verschiedenheit der Trübung in den verschieden tief gelegenen Schichten weiss ich allerdings vorderhand nichts Bestimmtes zu sagen und muss diese Ursache vorerst links liegen lassen. Betreffend die störende Wirkung des Wasserglanzes folgt aus den Versuchen bei den Messungen Nr. 9 und 10, dass dadurch die Sichtbarkeitsgrenze um 1 m bis 2 m vermindert wird. Nehmen wir nun in unserm Falle, Messung Nr. 6 bei Meggenhorn, die Verminderung zu dem Mittelwerte von 1,5 m an, so wird der annähernd richtige Wert dieser Messung 7,0 + 1,5 = 8,5 m betragen müssen. Und diesen korrigierten Wert haben wir denn in der Kurve und in der Tabelle 1 a aufgenommen. Es ist die einzige Korrektur eines abgelesenen Wertes. Dieser Wert ist nun um 0,9 m grösser als derjenige bei Seeburg und zwischen den beiden Kurven der Sichtbarkeit in Seeburg und in Meggenhorn ist durchweg ein angenähert paralleler Verlauf hergestellt. Das Mittel aus den sechs Messungen bei Meggenhorn lautet jetzt auf 9,1 m, dasjenige für Seeburg wie oben auf 8,3 m; die Differenz ist 0,8 m. *Es ist also die Durchsichtigkeit bei Meggenhorn im Sommer und Herbst und bis anfangs Winter durchschnittlich um 0,8 m oder um 10 % des Betrages von Seeburg grösser als bei Seeburg.* Für den ganzen Winter und für den Frühling liegt keine Beobachtung für Meggenhorn vor. Also weiter oben in dem Luzerner Becken, 4 km von Luzern und bei einer Tiefe von 60 m ist die Durchsichtigkeit um 10 % grösser als bei Seeburg, 2 km von Luzern, und bei einer Tiefe von rund 30 m, das ist das erste springende Ergebnis bezüglich der örtlichen Differenzen bei unserm See.

b. *Differenz zwischen St. Niklausen und Seeburg.* Die Entfernungen von Luzern sind 5 km und 2 km; die Wassertiefe bei St. Niklausen ist 90 m bis 110 m, je nach dem Standort des Schiffchens, diejenige bei Seeburg 30 m bis 40 m. Die Messung Nr. 2 bei Seeburg lautet auf 11,7 m am 2. April, die Messung

Nr. 3 bei St. Niklausen auf 13,4 m am 26. April. Die Tageszeit 2 h p. bei der dritten Messung kam derselben sehr wahrscheinlich etwas zu gute, obschon Forel behauptet, bei hellem Himmel sei der Einfluss der verschiedenen Höhe der Sonne verschwindend klein. Die Differenz zu gunsten von St. Niklausen ist also 1,7 m. Bezieht man aber auf der Sichtbarkeitskurve die Transparenz bei Seeburg auch auf den 26. April, so kommt die Differenz auf 2,7 m zu stehen. Diese Differenz erscheint uns gross. Das Resultat bei St. Niklausen ist ohne Zweifel richtig, aber unsere ersten zwei Messungen bei Seeburg sind vielleicht nicht frei von künstlicher lokaler Störung (Entleerung von Baggerschlick). Dann fällt der Einfluss der ungleichen Tageszeiten in Betracht. Wir finden es angezeigt, aus dieser Differenz gar keinen allgemeinen Schluss zu ziehen. Die folgende vergleichende Messung Nr. 4 kann aus früher angegebenen Gründen zu nichts gebraucht werden. Bei drei fernern für beide Stationen gleichzeitigen Messungen am 17. Juni, 5. August und 11. September 1894 hat der See bei St. Niklausen nur um wenig grössere Durchsichtigkeitswerte ergeben, nämlich 0,7 m; 0,1 m und 0,2 m; *der Mittelwert ist 0,33 m.* Wird die erste Differenz 1,7 m auch noch mitgenommen, so ist der *Mittelwert der Differenzen 0,7 m zu gunsten von St. Niklausen.* Aber woher diese anstössigen Veränderungen in den Differenzen?

Wir haben in den Originalnotizen nochmals genau nachgesehen, ob etwa durch Wind, Abtreiben des Schiffes, Wellungszustand die Ergebnisse bei St. Niklausen zu klein geworden seien. Bei Messung 5 und 7 ist gar nichts Verdächtiges vorhanden. Bei der Messung 8 heisst es in den Originalnotizen bei St. Niklausen: „Etwas Gewell bei Westwind“, bei Seeburg aber steht: „See etwas gekräuselt“. Der erstere Ausdruck giebt jedenfalls eine stärkere Seebewegung an, als der letztere. Durch dieses „Gewell“ muss das Resultat bei St. Niklausen im Verhältnis zu demjenigen in Seeburg zu klein geworden sein.

Den Messungen Nr. 7 und 8, welche die ganz kleinen Differenzen von 0,1 m und 0,2 m ergaben, gingen nach den Bemerkungen in der Tabelle 1a jeweilen Gewittertage und Regentage voran. Möglich wäre es, dass der vorhalb St. Niklausen, bei Langensand, in den See einmündende Bach das Wasser bis zur Messungsstelle hinaus fast ebenso stark getrübt hätte, als es

der Würzenbach bei Seeburg vermutlich zu tun vermochte. Bestimmtes weiss man nicht.

Unser Gesamtschluss geht dahin: *Bei gleichen Verhältnissen des Wetters und des Seezustandes und bei gleichzeitigen Messungen hat St. Niklausen und Meggenhorn im Mittel eine um 0,7 bis 0,8 m grössere Durchsichsigkeit als Seeburg.* Dies gilt für den Sommer und Herbst.

Diese Differenz zu gunsten der Stationen seeaufwärts, die den Befunden bei andern Seen entgegenläuft, schreiben wir verschiedenen lokalen Umständen bei Seeburg zu, nämlich: Der geringen Tiefe des Wassers unterhalb Seeburg in der sogenannten „Dünne“ (vergleiche die bezügliche Beobachtung bei Messungsnummer 28), der geringen Breite des Sees bei Seeburg (1,2 km) und der zeitweisen Trübung durch den Einfluss des Würzenbaches, der von der Messungsstelle nur 0,6 bis 0,8 km entfernt ist. Die natürliche Strömung führt diese Trübung allerdings von Seeburg weg, westwärts gegen Luzern zu. Aber bei zeitweisem und oft genug vorkommendem stärkerem Gewell von Westwind wird sowohl diese zeitweise Trübung durch den Würzenbach, als auch die in der vorgenannten „Dünne“, ca. 1 km unterhalb Seeburg, von den Wellen aufgerührte Schlammtrübung auch der Seefläche bei Seeburg zugetrieben und sich mit dem dortigen klaren Wasser vermischen müssen. Vom linken Seeufer her münden hinter Tribschen einige kleine Bäche vom Birreggwald her ein, die bei Regenwetter und der geringen Seebreite auf die Klarheit des Wassers zwischen Seeburg und Tribschen auch wohl herabdrückend zu wirken vermögen. Der Posten bei Seeburg war also, wie sich jetzt herausstellt, zu wenig weit seeaufwärts gewählt worden, um das bestmögliche Resultat für die Luzerner Bucht zu ergeben. *Wäre fortwährend zwischen Meggenhorn und Stutz, 4 km von Luzern weg, gemessen worden, so würde die mittlere Durchsichtigkeit des Wassers um etwa 10 % grösser befunden worden sein, als es jetzt in der Tabelle 2 für Seeburg steht.*

Jetzt wissen wir es; zu anfang der Messungen wusste ich es eben nicht und am Ende des ersten Beobachtungsjahres habe ich die Sache zu wenig einlässlich diskutiert und zu wenig Ueberblick gehabt. Die Kritiker zu Hause werden vielleicht sagen,

das hätte man ja von anfang an allen Fingern abzählen können. Ganz gut! Hätte mir nur jemand diese grössere intuitive Erkenntnis früher mitgeteilt; nachher ist gut reden. Verloren ist infolge unserer mehrfachen Vergleichungen nichts Wesentliches; wir kennen die Durchsichtigkeit bei Seeburg und kennen die Differenz gegenüber Meggenhorn, wo das Resultat am besten ist.

c. *Differenz zwischen Kreuztrichter und Seeburg.* Die Entfernungen von Luzern sind 6 Kilometer und 2 Kilometer. Die Tiefe des Wassers im Kreuztrichter an der Messtelle ist rund 100 m oder drei Mal so gross, als diejenige bei Seeburg. Hier liegen zwei Paare oder eigentlich drei Paare von entsprechenden Beobachtungen vor, die angenähert, aber nicht unter gleichem Datum gemacht wurden, das eine Paar von demselben Beobachter, die zwei andern Paare von zwei verschiedenen Beobachtern herstammend. Die Ergebnisse sind folgende:

1 a. *Kreuztrichter,* 7. Oktober 1896, Beobachter *Schürmann* mit alter Scheibe, *Resultat 7,4 m.*

1 b. *Seeburg,* 10. Oktober 1896, Beobachter *Schürmann* mit alter Scheibe, *Resultat 8,1 m.*

2 a. *Kreuztrichter,* 3. Dezember 1896, Beobachter *Schürmann,* Resultat *mit alter Scheibe 14,0 m,* Resultat *mit neuer Scheibe 14,5 m.*

2 b. *Seeburg,* 10. Dezember 1896, Beobachter *Arnet mit alter Scheibe. Resultat 13,8 m, mit neuer Scheibe Resultat 14,7 m.*

Die drei Differenzen Seeburg-Kreuztrichter lauten also: + 0,7 m; — 0,2 m; + 0,2 m.

Hier macht die Interpretation der Ziffern noch mehr Schwierigkeiten, und zu einem sichern Schlusse reichen dieselben nicht aus. Vorab ist darauf hinzuweisen, dass die Beobachtungen zu viele zufällige differente Umstände enthalten, die sich mit den gesuchten wesentlichen differenten Zuständen verquicken. Diese differenten zufälligen Umstände sind: 1. Verschiedene Daten der Beobachtungen an den beiden Orten mit den unvermeidlichen Einflüssen der verschiedenen Beschaffenheiten des Himmels und des Sees; 2. bei dem 2. und 3. Beobachtungspaare zwei verschiedene Beobachter und zwei verschiedene Paare weisser Scheiben. Wir berücksichtigen daher nur das erste Parallelpaar von *Schürmann,* bei welchem am wenigsten zufällige differente Umstände da sind.

Die Scheibe ist hier an beiden Orten dieselbe und der Beobachter ist auch derselbe. Aus diesen zwei Beobachtungen ergiebt sich *für den Kreuztrichter eine Durchsichtigkeit, die um 0,7 m kleiner ist, als diejenige bei Seeburg.*

Dieses Resultat von *Schürmann* stimmt nun allerdings schlecht mit dem vorigen von *Arnet* im Jahre 1894 ermittelten Verhältnisse zwischen Meggenhorn und Seeburg überein. Im Jahre 1894 hat Meggenhorn bei einer Reihe von Messungen 0,8 m mehr Durchsichtigkeit als Seeburg; im Jahre 1896 giebt eine Einzelmessung im Trichter 0,7 m weniger, als bei Seeburg. Darf man bei diesem Zeitunterschiede von zwei Jahren über Seeburg hinweg die Station Kreuztrichter und die Station Meggenhorn miteinander vergleichen? Der Vergleich ergäbe, dass der See im Trichter 1,5 m weniger Durchsichtigkeit haben müsste, als der See bei Meggenhorn. Und die Distanz ist nur zwei Kilometer! Dieser Schluss ist nicht zulässig und das Resultat kann nur falsch sein.

Wenn man von mir eine Erklärung des Widerspruches dieses Ergebnisses auf dem Kreuztrichter verlangt, so kann ich eine solche geben durch eine motivierte Bemängelung der Messung vom 7. Oktober. Der Himmel war zwar hell, der schwarze Schirm wurde aufgespannt und die Messung wurde auf der der Sonne abgewendeten Seite des Schiffes, also auf der Ostseite gemacht. Aber der See war leicht gekräuselt und es herrschte leichter Ostwind. Die mittlere Sichtbarkeitsgrenze aus sechs Messungen war 7,8 m beim Herablassen der Scheibe und 7,0 m beim Aufziehen der Scheibe. Die Differenz 0,8 m ist zu gross für ein gutes und gewichtiges Resultat. Die einzelnen Messungen gehen in diesen Differenzen auch weit auseinander ohne ersichtlichen äussern Grund. Die zwei ersten Messungen lauten abwärts auf 8,0 m, aufwärts auf 6,5 m, sie geben also eine Differenz von 1,5 m. Drei andere Messungen gaben abwärts 8,0 m; 7,5 m; 7,7 m und aufwärts je 0,5 m weniger und eine Messung ergab abwärts 7,5 m, aufwärts 7,3 m, also eine Differenz 0,2 m. Aus diesen Differenzen schliesse ich, dass der Beobachter durch irgend einen Umstand gehemmt und verfolgt war. Ob es die Kräuselung allein ist oder ob noch etwas anderes mitspielte? Wir vermuten das

Letztere. Die Messungen wurden von einem vierrudrigen grossen Ueberfahrtsschiff aus, das von der Zinne her gemietet war, vollzogen. Vielleicht war der Umstand schädlich, dass das Auge hier erheblich höher über dem Wasserspiegel sich befand, als auf den bei Seeburg gebrauchten kleinen Schaluppen; vielleicht war das Auge nicht gehörig gegen Wasserglanz geschützt, vielleicht störte das Messen unter dem Winde, trotz des nur leichten Ostwindes. Irgend etwas Derartiges muss die ungehörigen grossen Differenzen und ein zu kleines Resultat verschuldet haben. Die Messungen Schürmanns am 10. Oktober in Seeburg lauten viel übereinstimmender und sicherer. Spätere Beobachtungen werden, wie ich glaube, eine Korrektur dieses Resultates auf dem Trichter herbeiführen. Am besten ist es, bei der gleichen Fahrt, mit dem gleichen Schiff und dem gleichen Apparat an beiden Orten mit Sorgfalt und Umsicht zu beobachten.

d. *Differenz zwischen Gersau und Seeburg.* Nach unsern Messungen Nr. 13 und 14 im Jahre 1895 am 24. März und 1. April hatte der See in Gersau 17,5 m, derjenige in Seeburg 13,9 m Durchsichtigkeit. Die letzte Messung ist allerdings wahrscheinlich etwas zu klein ausgefallen. Die Durchsichtigkeitskurve bei Seeburg ist im Aufsteigen begriffen und die Quote für Seeburg und den 24. März muss, wenn man die Kurve ohne das Resultat Nr. 12 konstruiert, etwa zu 14,5 m angenommen werden. Dann ist die verbesserte *Differenz Gersau-Seeburg 3,0 m zu gunsten von Gersau.* Das Gersauer Becken hat also im Frühling, nach einer starken Kälteperiode, eine Transparenz, die um 3 m auf 14,5 m oder um rund 20 % grösser ist, als diejenige in Seeburg. Ob dies das ganze Jahr so bleibt? Vorderhand können wir es nicht wissen.

Dieses Resultat steht, wie dasjenige bei Meggenhorn, mit dem von Forel behaupteten Gesetz, dass seeaufwärts die Durchsichtigkeit abnehme, in herausforderndem Widerspruch. Mit diesem Gesetz harmoniert von den hiesigen Messungen einzig die vorige unsichere Einzelvergleichung zwischen Trichter und Seeburg. Die Sache bedarf der weitern Untersuchung und Abklärung.

e. *Vergleichung der Durchsichtigkeit in verschiedenen Buchten im November 1890 durch Herrn Kapitän Karl von Segesser in*

Luzern. Lange vor unsern Messungen hat Herr *Karl v. Segesser* mit einer weissen Scheibe, altes kleines Modell, nach Anleitung von Herrn *F. A. Forel,* einzelne Messungen der Transparenz auf dem ganzen Vierwaldstättersee herum ausgeführt. Leider blieb es bei einer einmaligen Messung an jeder Stelle. Die sehr kurz gehaltenen Aufzeichnungen Segessers auf einer Postkarte sind mir letztes Jahr von Herrn *O. Suidter* sen. zur Verwertung übergeben worden. Wir wollen sehen, wie diese vier bis sechs Jahre frühern Resultate mit unsern systematischen Messungen zusammenstimmen. Zunächst geben wir eine geordnete *tabellarische Zusammenstellung* der sechs Beobachtungen. Die ersten zwei sind datiert vom 11. November 1890, 9 h und 11 h vormittags; die Nummern 3 bis 6 vom 12. November 1890 11 h vorm., 1 h nachm., 2 h nachm. und 8 h vorm.

Die Beobachtungen von Kapitän K. v. Segesser den 11. und 12. November 1890.

№	Seebecken	Messort	Witterung	See-zu-stand	Grenze der Sicht-barkeit
1.	Gersauer B.	Beckenried	Sonnenschein	—	10,5 m
2.	Urner Becken	Mythenstein	Sonnenschein	—	10,5 „
3.	Weggiser B.	Kehrsiten	Ungünstig, ein wenig Regen	—	12 „
4.	Küssnacher B.	Postunen	Günstig, Sonnenschein	—	15,2 „
5.	Küssnacher B.	Küssnach	Weniger günstig, Wind	—	10 „
6.	Alpnachersee	—	Mittelmässig, ein wenig Wind	—	3,5 „

Vom Kreuztrichter, von dem Luzerner und Hergiswiler Becken liegt nichts zur Vergleichung vor. Eine hohe Transparenzziffer besitzt einzig die Messung bei *Postunen,* am Eingang des Küssnacher Beckens, mit *15,2 m.* Im Weggiser Becken, an dem abschüssigen steilen Ufer bei Kehrsiten (wahrscheinlich in der

Nähe der Station Kehrsiten-Bürgenstock) lieferte die Messung bloss 12 m; allerdings ist dieselbe verbotener Weise bei Regen gewonnen worden. Der Urnersee, das Gersauer Becken und der Küssnacher Arm in der Nähe von Küssnach (Tiefe hier höchstens 30 m) haben merkwürdiger Weise alle 10,5 m bis 10 m Durchsichtigkeit. Unser Mittelwert für den Monat November bei Seeburg, bei 30 bis 40 m Tiefe, beträgt dagegen *12,3 m* und die Maximalzahl im November 1895 ist sogar *14,2 m*. Günstig sind also diese Messungen von Herrn Segesser nicht ausgefallen.

Ueber den Seezustand, ob glatt, gekräuselt, gewellt etc., ist nichts angegeben. Ueber die Umstände und Vorsichtsmassregeln bei den Messungen wissen wir ebenfalls nichts. Vermutlich wurde vom Kapitän von einem Dampfschiffverdecke herab, bei stillstehendem Schiffe, auf der Schattenseite des Schiffes, aber ohne besondern Schutz gegen die Blendung des Auges, also frei von etwa 3 m Höhe über dem Wasser herab die versinkende Scheibe beobachtet und wohl auch nur das Resultat beim Verschwinden der Scheibe im Abwärtsgehen notiert. Der Bericht sagt gar nichts über eine doppelte Messung beim Versenken und Aufziehen der Scheibe. Der letzte Umstand war dem Ergebnis zum Vorteil, die übrigen genannten Umstände und dazu an zwei Orten Wind, an einem Orte ein wenig Regen, haben ohne Zweifel die Ergebnisse im allgemeinen herabgedrückt. Bei Postunen glauben wir, dass besondere lokale günstige Umstände mit der Beschattung des Wassers, dem Schutz des Auges und dem Seezustand eine den wirklichen Verhältnissen entsprechende Transparenzzahl herbeigeführt haben. Im Urner See, im Gersauer und Weggiser Becken hätten wir für diese Jahreszeit ein besseres Resultat erwartet. In dem seichten und schmalen Alpnachersee verwundern wir uns ob der minderwertigen Ziffer 3,5 m gar nicht. Der Alpnachersee ist ein See für sich. Im Sommer nach starken Gewittern und Regenperioden mag derselbe nach Aufnahme der gelben und braunen Fluten der Bergbäche eine nette Brühe enthalten. Welches Ergebnis wird dann die weisse Scheibe für die Durchsichtigkeit liefern? Herr Direktor *R. Winkler* in Alpnachstad wird das später an den Tag bringen, nicht wahr?

3. Vergleichung der Transparenz des Wassers im Luzerner Seebecken mit der Transparenz im Genfersee und im Bodensee.

Die Vergleichswerte hiezu entnehmen wir aus folgenden zwei Publikationen von Dr. *F. A. Forel:*

1) „*Transparence des eaux du Léman,* Lausanne 1892, Extrait du Recueil inaugural de l'Université de Lausanne."

2) „*Tranzparenz und Farbe des Bodensees,* aus dem Französischen übersetzt von *Eberhard Graf von Zeppelin,* Lindau i. B. 1893, Sonderabdruck aus dem XXII. Hefte d. Schr. d. V. f. Gesch. des Bodensees und seiner Umgebung."

Für den Genfersee liegen zweijährige Beobachtungen vom Juli 1889 bis August 1891 von sechs Stationen vor, nämlich von Meillerie, Pully, Evian, Morges, Thonon und Nernier. Betreffend den Bodensee sind auch zweijährige Beobachtungen vom Juli 1889 bis Juli 1891 von fünf Stationen vorhanden, nämlich von Bregenz, Lindau, Friedrichshafen, Romanshorn und Konstanz. *Der Durchschnittswert* von allen Stationen und zwei Jahren beträgt beim *Genfersee 10,25 m,* beim *Bodensee 5,36 m.* Eine Vergleichung dieser Durchschnittswerte mit unserm Mittelwert der Luzerner Bucht bei Seeburg wäre unstatthaft. Wir müssen vielmehr an beiden Seen diejenige Station auswählen, welche am nächsten beim Seeausflusse liegt und diese mit unserer Station *Seeburg bei Luzern* und mit der *Station Meggenhorn* am Eingange der Luzerner Bucht vergleichen. Dies ist für den Genfersee die Station *Nernier* auf savoyischer Seite, zirka 20 km von Genf, für den Bodensee die Station *Konstanz,* ganz am Ausflusse des Sees und etwa noch *Romanshorn,* 20 km vom Ausflusse des Sees entfernt. Wir beschränken uns auf die Zusammenstellung der Jahreszeitenmittel, des Jahresmittels, des grössten und kleinsten Monatsmittels und der mittlern jährlichen Schwankung der Durchsichtigkeit. Es ergiebt sich dann folgende

Vergleichstabelle
über die Transparenz von drei Schweizer Seen.

	Genfersee	Bodensee		Vierwaldstättersee
	Nernier	Romanshorn	Konstanz	Seeburg bei Luzern
Winter	15,2 m	7,8 m	9,0 m	15,0 m
Frühling	11,7 „	7,7 „	9,8 „	11,3 „
Sommer	7,4 „	4,8 „	7,7 „	6,5 „
Herbst	9,7 „	4,4 „	8,2 „	9,7 „
Jahr	**11,0 m**	**6,2 m**	**8,7 m**	**10,6 m**
Grösstes Monatsmittel	*a)* 17,2 m	*b)* 8,7 m	*c)* 10,6 m	*d)* 16,0 m
Kleinstes Monatsmittel	*e)* 6,7 „	*f)* 2,1 „	*g)* 7,6 „	*h)* 5,6 „
Mittlere jährliche Schwankung . .	*10,5 m*	*6,6 m*	*3,0 m*	*10,4 m*

a) und *d)*: im Monat Januar; *b)* im Monat März; *c)* im Monat April.

e) und *h)*: im Monat August; *f)* im Monat September; *g)* im Monat Juni.

Die absoluten Schwankungen können wir nicht vergleichen, da uns von den beiden andern Seen die beobachteten grössten und kleinsten Werte fehlen.

Ein Blick auf diese Ziffern lässt uns erkennen, dass unsere Resultate am Vierwaldstättersee sehr gut mit denjenigen am Genfersee übereinstimmen, dass dagegen grosse Differenzen zwischen diesen zwei Seen und dem Bodensee existieren. Die Durchsichtigkeit des Bodensees gegen den Ausfluss zu ist im Mittel um 1,9 m bis 4,4 m kleiner, als diejenige des Vierwaldstättersees nahe beim Ausfluss, je nachdem man Konstanz oder Romanshorn oder eine Stelle dazwischen als Vergleichsort nimmt. Die Zahlen bei Konstanz in der Arbeit Forel-Zeppelin enthalten bisweilen

etwas Stossendes und speziell diejenigen für den August und September sind, weil Beobachtungen ganz fehlten, rein interpolierte Werte. Auffallend ist auch die geringe jährliche Schwankung der Transparenz in Konstanz (3,0 m).

Die Durchsichtigkeit des Genfersees, Station Nernier, und diejenige des Vierwaldstättersees, Station Seeburg, sind also ziemlich genau gleich gross. Hätten wir in Seeburg im dritten Beobachtungsjahre 1896 mit dem bösen Frühjahrs- und Sommerregenwetter (die Monate März, April, Juli, August und September waren teils zu nass, teils ganz arg verregnet) gar nicht beobachtet, so wäre unser zweijähriges Jahresmittel für Seeburg pünktlich 11,0 m geworden, gerade so, wie es für die Station Nernier am Genfersee für zwei Beobachtungsjahre lautet. Was will man mehr? Doch, wir wollen noch etwas mehr.

Werden die hiesigen Beobachtungen auf die *Station Meggenhorn* am Eingange der Luzerner Bucht, 4 km von Luzern, welche durch Vergleichungsbeobachtungen bis jetzt als die bestgelegene Station befunden worden ist, übertragen, so wird das Jahresmittel für den Luzerner Seearm nach unsern Messungen noch um 10 % des Wertes von Seeburg, also um 1,06 m grösser und das Schlussergebnis unserer Messungen lautet: *Der Luzernersee bei Meggenhorn hat mit einer mittlern Durchsichtigkeit von 10,6 + 1,0 = 11,6 m noch einen kleinen Vorsprung vor dem Genfersee, Station Nernier, mit 11,0 m.* Die Station Thonon am Genfersee hat das grösste Jahresmittel aller dortigen Stationen und zwar *11,3 m.* Auch diese Zahl wird von der Klarheit und Durchsichtigkeit des Wassers im Luzernersee, bei der Station Meggenhorn, noch um eine Kleinigkeit von 0,3 m übertroffen. Hiebei sind die Zahlen für den Luzernersee von drei Jahrgängen der Beobachtung gewonnen, von denen einer durch zu häufigen und allzureichen Regenfall im Frühling und Sommer sehr ungünstig war. Und ferner ist bei Ausrechnung der Zahlen kein Gebrauch gemacht worden von dem Umstande, dass unsere alte kleine Secchische Scheibe wegen der Ungenauigkeit der Messschnur im letzten Beobachtungsjahre um etwa 5 % bis 6 % zu kleine Sichttiefen ablesen liess.

Es gereicht mir zur besondern Freude, diese grosse Tranzparenz für den Luzernersee zuerst mit aller Umständlichkeit,

klar und nett nachgewiesen zu haben. Mögen andere Beobachter die Durchsichtigkeit des Wassers in den übrigen Becken und Buchten des Vierwaldstättersees ebenso heraussuchen, so dass die Differenzen von Becken zu Becken und der Mittelwert für den ganzen See ebenfalls ausgemittelt werden können.

Herr *Forel* erklärt den Unterschied der Transparenz zwischen Nernier und Thonon aus der Rohheit der Beobachtungsmethode und aus dem grossen Einfluss der persönlichen Gleichung des Beobachters. Darüber noch ein Wort. Was *die Beobachtungsmethode* betrifft, so habe ich die Ueberzeugung gewonnen, dass bei sorgfältiger Arbeit des Beobachters und bei Ausschluss aller derjenigen Beobachtungen, welche z. B. durch Weglassung des schwarzen Schirmes oder durch Abtreiben des Schiffes von der Platte oder durch grösseres Gewell oder durch lokale Störungen der Klarheit des Wassers etc. irgendwie verdächtig geworden sind und in der schon vom Beobachter zu zeichnenden Kurve starke Zacken oder Unregelmässigkeiten ergeben haben, die Methode einen ganz anständigen Grad der Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Resultate bekommt.

Den Einfluss der persönlichen Gleichung bestreiten wir nicht, obschon wir bei den Vergleichungen unserer eigenen Messungen mit denjenigen von Schürmann und Friedinger nicht viel davon gespürt haben. Es kommt darauf an, dass der Beobachter gehörige Konzentration der Aufmerksamkeit und genügende Empfindlichkeit des Auges (die Sehschärfe desselben ist es nicht, sonst wäre *ich* verloren gewesen) gegen das Verschwinden eines Objektes in einer nebelartig trüben Schicht besitzt; es kommt darauf an, dass er sorgfältig auf alle Umstände achte, welche das Ergebnis verändern und namentlich verschlechtern können [Ungleichheit der Apparate und Messschnüre, Mangel an völliger Abblendung des Wasserglanzes von dem Auge, grosse Höhe des Auges über dem Wasserspiegel, Abtreiben des Schiffes von der Platte, stärkere Kräuselung oder Wellung des Sees, stark nebelbedeckter oder wolkenbedeckter, trüber Zustand des Himmels, Störung der Wasseroberfläche durch Regenfall (ein ganz schlechter Umstand!), Stand der Sonne im Horizont oder unter demselben, allfällige lokale Störungen der Transparenz an der Messstelle, vorausgegangene starke Gewitter, starker Schneefall], dass er sich

von diesen Umständen so viel als möglich frei zu halten sucht und lieber eine Messung an einem der nächsten Tage wiederholt, als unbekümmert ein geringes oder gestörtes Resultat tale quale und ohne Detailnotizen abgiebt.

Am besten wäre es, der gleiche Beobachter könnte alle Beobachtungen über Durchsichtigkeit und Farbe auf dem ganzen See durchführen. Da dies praktisch nicht ausführbar ist, so ist das Nächstbeste, wenn die verschiedenen Beobachter gegenseitig Fühlung suchen, alle Monate ihre Ergebnisse austauschen und bei starken Differenzen zu vergleichenden, aber unabhängigen Beobachtungen an derselben Stelle des Sees sich zusammenfinden. Nichts für ungut, dass der „Schulmeister“ sich geltend gemacht hat! Wir bezwecken nur, allen denjenigen, welche in diesem Kapitel weiter beobachten, einen guten Dienst zu erweisen und sie an allen unsern Erfahrungen teilnehmen zu lassen.

4. Die Grenze der vollständigen Dunkelheit in der Tiefe des Sees.

Die Wassertiefe, in welcher die gänzliche Abwesenheit des Tageslichtes oder die vollständige Dunkelheit beginnt, lässt sich nach einer photographischen Methode ermitteln, welche *Forel* in den Jahren 1887 und 1888 im Genfersee angewendet hat. Man bestimmt nämlich diejenige Tiefe, in welcher aus einer Serie von lichtempfindlichen Papierblättern, die in geeigneten Kassetten an einer graduierten Schnur in die Tiefe des Wassers versenkt und einen oder zwei volle Tage drunten belassen worden sind, ein Papierblatt nach dem Hinaufholen und Entwickeln sich nicht mehr von den Sonnenstrahlen beeinflusst zeigt, d. h. vollkommen weiss bleibt. Die nähere Beschreibung befindet sich in „*Forel, Transparenz und Farbe des Bodensees,* übersetzt von *Graf von Zeppelin,* Lindau 1893“, pag. 41. ff.

Die Untersuchung ist mit einigen Umständen und Schwierigkeiten verknüpft. *Forel* machte im Genfersee a. 1887 und 1888 sieben solcher Versuchsreihen vor *Morges;* Expedient *Späth* in *Friedrichshafen* machte zwei solcher Versuchsreihen, eine im Sommer (August) 1889, eine im Winter (März) 1890. Im *Genfersee* lag die Grenze des Eindringens des Lichtes zu Anfang März

1888 in der grössten Tiefe, nämlich in 110 m bei einer Sichtbarkeitsgrenze der weissen Scheibe von 16,5 m. (Im Februar 1888, der noch eine grössere Sichttiefe der weissen Scheibe und zwar 18,0 m aufwies, fehlt eine photographische Bestimmung. Es gereicht uns zum Troste, dass auch Herr *Forel* nicht alles fertig brachte.) In der geringsten Tiefe lag die Lichtgrenze anfangs Juli 1887, nämlich in 45 m Tiefe bei einer gleichzeitigen Sichtbarkeitsgrenze der weissen Scheibe in 5,5 m. Das Verhältnis der Grenze des Lichteindringens zur Sichtbarkeitsgrenze der weissen Scheibe war also im Winter $6^2/_3 : 1$, im Sommer $8 : 1$.

Im *Bodensee* ergab die Sommeruntersuchung als Grenze des Lichteindringens die Tiefe von 30 m, die Winteruntersuchung ergab kein bestimmtes Zahlenresultat, weil das oberste der versenkten Papierblätter aus 50 m Tiefe schon vollkommen weiss heraufkam. Die Grenze des Lichteindringens lag also oberhalb 50 m. Die gleichzeitigen Sichtbarkeitsgrenzen der weissen Scheibe sind leider nicht ermittelt worden. Forel zieht den Schluss, dass die Grenze für das Eindringen des Lichtes im Leman ungefähr doppelt so tief liegt, als im Bodan und dass mit diesem Verhältnisse auch dasjenige der Sichtbarkeitsgrenzen der weissen Scheibe in beiden Seen ziemlich übereinstimme.

Unser Zweck ist es nun, aus dem von Forel ermittelten Verhältnis der Grenze des Lichteindringens und der Sichtbarkeitsgrenze der weissen Scheibe und aus der von uns festgestellten Sichtbarkeitsgrenze in der Luzernerbucht auch die Grenze des Eindringens des Lichtes in unserm See durch Rechnung herzuleiten. Das Verhältnis im Genfersee darf ohne Bedenken auf den Vierwaldstättersee übertragen werden.

Die hiesige maximale Sichtbarkeitsgrenze im Januar bei Seeburg betrug 16,6 m und 16,5 m. Der von Forel gefundene Coëfficient zwischen den beiden Grenzen im Winter ist $6^2/_3$; also wird die Grenze des Lichteindringens im Winter bei grösster Klarheit des Wassers hier ebenfalls auf 110 m Tiefe zu stehen kommen.

Das Minimum der Sichtbarkeitsgrenze fanden wir hier im August 1896 bei 2,5 m Tiefe. Der betreffende Coëfficient von Forel für den Sommer beträgt 8; also wird die Grenze des Lichteindringens im Sommer bei grösster Trübung des Wassers in

$8 \times 2{,}5 = 20$ m Tiefe liegen. *Die Grenze des Lichteindringens variiert also in der Luzerner Bucht zwischen 20 m und 110 m; die mittlere Grenztiefe des Lichteindringens wird etwa 52 m im Sommer und 100 m im Winter betragen.*

Da unser Maximum 16,6 m für die Sichtbarkeitsgrenze, wie wir früher entwickelt haben, noch nicht das grösstmögliche Maximum der Durchsichtigkeit im Winter ist, so wird auch die Zahl 110 m noch nicht die absolute Grenze des Lichteindringens bei unserm Vierwaldstättersee sein. Dieselbe wird bei etwa 130 m Tiefe des Wassers zu erwarten sein, entsprechend einer Sichttiefe der weissen Scheibe von 19,5 m. Zum Vergleich sei anführt, dass im mittelländischen Meere die grösste Sichttiefe der weissen Scheibe zu 50 bis 60 m, die Grenztiefe des Eindringens der photographisch wirksamen Strahlen zu 400 bis 500 m nachgewiesen ist*).

Diese Grenztiefen für das Eindringen der belebenden Lichtstrahlen mögen für die Zoologen, besonders für die Planktonforscher von besonderem Werte, aber auch für andere Leute von Interesse sein. Deswegen haben wir sie hingesetzt. Wenn man die Tiefenkarte unseres Sees nachsieht, so ist es ohne weiteres klar, dass in der ganzen Luzerner Bucht (grösste Tiefe 112 m auf der Linie St. Niklausen-Altstad), ebenso im Kreuztrichter (grösste Tiefe 100 m), im Küssnacher Arm (grösste Tiefe 76 m), im Hergiswiler Becken (grösste Tiefe 87 m) ein mehr oder weniger grosser Anteil der Lichtstrahlen wenigstens im Winter bis auf den Boden des Sees zu dringen vermag, dass dagegen im Sommer dies nur noch in den seichtern Partieen dieser Becken bis zu 20 bis 40 bis 50 m Bodentiefe, je nach der Trübung des Wassers, der Fall sein kann. Die tiefen Stellen unter 130 m Wassertiefe in dem Weggiser, Gersauer und Urner Becken befinden sich wohl jahraus, jahrein in vollständiger Dunkelheit.

Hiemit könnten wir unser Thema abbrechen. Unsere Beobachtungen sind geordnet und die vorderhand erreichbaren Ergebnisse sind gebucht. Wir haben aber noch etwas auf dem Herzen, von dem wir uns losschreiben möchten. Wir meinen eine Darlegung des heutigen Standes der Erklärung der Durchsichtigkeits- und Farbverhältnisse der Seewasser. Unsere bezüg-

*) Vergl. *J. Hann,* Allgemeine Erdkunde, I. Th., 1896, p. 237.

lichen theoretischen Studien möchten wir zur Vertiefung des Verständnisses der physikalisch-chemischen Untersuchungen besonders in unsern heimischen Kreisen verwerten und, wenn möglich, auch etwas zur Abklärung der noch unsichern oder streitigen Punkte unter den Limnologen beitragen. Wir lassen daher noch einen vierten theoretischen und polemischen Teil folgen.

IV.

Die Erklärungsversuche

betreffend

die Durchsichtigkeit und die Farbe des Seewassers.

1. Die Erklärung der Erscheinungen nach Dr. F. A. Forel.

Wir gehen nach den Erörterungen von Forel in der zitierten Arbeit über den Bodensee vom Jahre 1893. Herr *F. A. Forel* in Morges hat bei seinen zahlreichen Transparenzmessungen im Lemansee und in andern Seen gefunden, dass die wechselnde Stärke der Beleuchtung durch die Sonne bei hellem oder bei weniger klarem Himmel und die verschiedene Höhe des Sonnenstandes über dem Horizont, wobei mehr oder weniger Licht durch Refraktion ins Wasser eindringt, einen sehr unerheblichen Einfluss auf die Tiefe der Sichtbarkeitsgrenze ausübe. In seinem neuen Werke: „*Forel, Le Léman, Lausanne 1895*“, wird das Fehlen eines Einflusses der Tageszeit, d. h. des Standes der Sonne über dem Horizont, auf den Sommer und Herbst beschränkt, dagegen zugestanden, dass im Winter und Frühling die Durchsichtigkeit mit der Zunahme der Höhe der Sonne zunimmt. Dieses neuere Werk stand uns bei unserer Arbeit nicht zu Gebote. Das Zitat daraus stützt sich auf Dr. *W. Halbfass, Der Arendsee in der Altmark, 1897.* Forel folgerte damals (1893) aus diesem geringen Einfluss der Beleuchtungsstärke, dass der Grad der Undurchsichtigkeit nicht sowohl durch eine unmittelbare Absorption des Lichtes durch das Wasser an sich, als vielmehr

durch das Vorhandensein eines verschieden dichten Schleiers, einer Wolke von im Wasser schwebenden Teilchen bewirkt werde. Wenn sich diese Stäubchen in genügender Menge anhäufen, so erzeugen sie einen trüben Schleier, welcher den Durchgang der Lichtstrahlen hindert. Die Art und Weise, wie die weisse Scheibe dem Blicke im Wasser entschwindet, gleicht durchaus dem Verschwinden eines Gegenstandes im Nebel. Es ist nichts anders, als ein Nebel von im Wasser schwebenden Teilchen, der die Scheibe in dem Augenblick verdeckt, in welchem das Auge sie nicht mehr zu unterscheiden vermag.

Es muss also, da ein Wechsel der Durchsichtigkeit im Laufe des Jahres zugunsten der kalten Jahreszeit konstatiert ist, während der warmen Jahreszeit die Menge der im Wasser schwebenden Stäubchen eine grössere sein, als im Winter, der von ihnen gebildete Nebel muss im Sommer dichter sein, als im Winter.

Die Ursachen für diese Veränderung der Dichtigkeit des Nebels im Wasser findet Forel im Zusammenwirken folgender verschiedener Umstände:

1. Mit der ansteigenden Erwärmung des Wassers im Frühling und Sommer wächst *die Zahl der im Wasser lebenden Organismen,* der kleinen Lebewesen und mikroskopischen Algen sowohl als der Leichen dieser Organismen, also *die Menge des Planktons.*

2. *Die Gewässer sind im Frühling und Sommer thermisch geschichtet,* das heisst nach ihrer zunehmenden Dichtigkeit übereinander gelagert. Daraus folgt, dass jetzt mehr Stäubchen eine Wasserschicht antreffen können, die ihrer eigenen Dichtigkeit gleichkommt und dass sie dann hier schwebend erhalten bleiben. Im Herbt gleicht sich diese thermische Schichtung wieder aus, die obern Schichten kühlen sich ab und es beginnt die vertikale Zirkulation der Wassermassen, bis schliesslich nur mehr eine einzige Wasserschicht von ein und derselben Dichtigkeit besteht, die dann auch nur diejenigen Stäubchen in sich schwebend erhalten kann, welche das gleiche spezifische Gewicht haben, wie sie selbst. Alle übrigen Stäubchen sind entweder leichter und steigen alsdann an die Oberfläche, oder sie sind schwerer und sinken alsdann zu Boden.

3. Die Hauptursache der sommerlichen Trübung ist *die Vermengung der im Sommer stark mit Schlamm beladenen Wasser der Zuflüsse eines Sees mit Seewasser.* Dieser nahe liegenden Erklärung steht aber eine gewisse Schwierigkeit entgegen. Das Flusswasser, das aus den Schnee- und Gletscherregionen herstammt, ist im allgemeinen schwerer als das Seewasser, einmal, weil es in der Regel kälter ist, zum andern, weil es mit feinem Schwemmaterial beladen ist, welches das spezifische Gewicht entsprechend erhöht. Es muss daher dieses schwerere Zuflusswasser sich nicht an der Oberfläche ausbreiten, sondern vorwärts der Mündung des Flusses in die Tiefe fallen. Im Genfersee und Bodensee hat man solche unterseeische Wasserfälle und Rinnsale der Rhone und des Rheins konstatiert. Es muss daher die Erklärung der fehlenden Klarheit des Seewassers aus seiner Vermischung mit dem trüben Wasser der Hauptzuflüsse noch vervollständigt werden.

Solange der See im Zustand völliger Ruhe ist, findet die angeführte Vermengung von Fluss- und Seewasser nicht statt. Allein der See ist selten vollkommen ruhig und sobald seine Oberflächenschichten von Wellen bewegt sind, wird auch die Strömung des trüben Flusswassers von der bewegenden Gewalt des umgebenden Seewassers ergriffen. Ein Teil der schmutzig grauen oder schmutzig gelben Zuflusswasser löst sich dann in den klaren Fluten des Sees auf und dadurch wird die Trübung des letztern bewirkt. Die Menge des dem Seewasser beigemischten Schlammes wird aber nicht gross genug sein, um die Dichtigkeit des Seewassers merklich zu erhöhen und daher bleiben diese getrübten Wasser an der Oberfläche und werden durch die vorhandenen Strömungen weithin fortgeführt. Diese Trübung macht sich natürlich in der Umgebung der Einmündung des Hauptzuflusses am stärksten, dagegen immer weniger fühlbar, je grösser die Entfernung von der Einmündung des Hauptzuflusses wird.

Eine ähnliche Einwirkung üben selbstverständlich auch die trüben Gewässer der übrigen Zuflüsse aus, auch wenn dieselben noch so klein sind, denn es reicht schon ein minimales Quantum von schwebendem Schwemmaterial hin, um eine gewaltige Menge von Seewasser zu trüben. Es kommt dann auf das Verhältnis der Grösse und der Dauer und der Nähe dieser Einwirkung der

übrigen Zuflüsse gegenüber dem Hauptzuflusse an, wenn die verschiedene Klarheit des Wassers in den verschiedenen Becken und Buchten des Sees erklärt werden soll. Beim Bodensee überwiegt der Einfluss des Rheines weit gegen die übrigen Zuflüsse, weil der Rhein vom Beginn des Frühlings bis zu Ende des Sommers fast immer trübes Wasser führt, während die übrigen Zuflüsse und Bäche im allgemeinen nur während der Schneeschmelze in der Niederung und bei Anschwellungen durch Gewitter trübes Wasser führen. Den gleichen Vorgang und das gleiche Verhältnis nimmt Forel in seiner Abhandlung „Transparence des eaux du Léman, Lausanne 1892“ auch für den Genfersee und die Rhone in Anspruch. Ob diese Erklärung der lokalen Differenzen der Durchsichtigkeit auch für den Vierwaldstättersee gleich gut zutreffend ist, darüber später noch ein Wort.

Bezüglich der Ursache der Farbenverschiedenheit zwischen den blauen und grünen Seen entwickelt Forel am Schlusse seiner Abhandlung über den Bodensee in einer Anmerkung folgende Ansicht.

Die Untersuchungen aller neuern Naturforscher haben endgültig den Beweis geliefert, dass die Farbe des reinen, destillierten Wassers blau ist und zwar azurblau, ohne Beimischung von Grün. Hievon ausgehend entsteht die Frage, ob der Uebergang der Farbe des Wassers gewisser Seen ins Grüne auf einer im Wasser gelösten oder oder auf einer darin schwebenden Substanz beruhe. Zur Beantwortung dieser Frage hat Forel im Jahre 1888 die Wasser verschiedener sowohl blauer als grüner Seen durch Porzellan (Chamberlandsche Filter) filtriert und dann durch Untersuchung der Wasser in einer 6 m langen Bunsenschen Röhre festgestellt, dass auch nach dem Filtrieren überall die gleiche Verschiedenheit der Farbentöne sich zeigte, wie vor demselben. Hienach ist also der Schluss zu ziehen, *dass eine im Wasser aufgelöste Materie die Ursache der grünen Färbung sei.*

Die im Wasser *aufgelösten Salze* aber bringen einen Uebergang seiner Farbe ins Grüne nicht hervor. Beweis, die prachtvoll blaue Farbe des Mittelmeerwassers, namentlich bei Capri und Algier etc. Nach Ausscheidung aller übrigen Substanzen, welche eine genügende Erklärung der grünen Färbung nicht geben, nimmt Forel die von zersetzten vegetabilischen Stoffen,

namentlich vom Torf herrührende *Humussäure* als Ursache der grünen Farbe an.

Um diese Annahme durch den Versuch zu stützen, liess Forel ein Stück Torf eine gewisse Zeit im Wasser liegen und erhielt davon eine zitrongelbe Lösung. Nach Filtrierung derselben durch Porzellan setzte er wachsende Mengen von Lemanwasser hinzu, welches gleichfalls filtriert war und der Nr. IV seiner Skala entsprach. Durch Vermischung jenes gelben Wassers mit dem blauen Wasser des Leman in der Bunsenschen Röhre erhielt er nach und nach die einzelnen, immer stärker grün gefärbten Töne der verschiedenen Alpenrandseen.

Hierauf untersuchte Forel noch die bezüglichen geologischen Verhältnisse der Umgebung der Seen und fand bei einer ganzen Anzahl von Seen, dass die blauen Seen verhältnismässig weniger Torflager in ihrem Einzugsgebiete haben, als die grünen. Besonders lehrreich war die Vergleichung des Achensees und des nahen Tegernsees. Der Achensee, der blaueste aller Tyroler Seen, ist ein Moränesee und besitzt in seinem kleinen Einzugsgebiete kein Torflager; der Tegernsee ist von Torflagern ganz umgeben und sein Wasser ist von düsterer grüner Farbe.

Aus allem dem entnimmt Forel folgende Sätze: *Die natürliche Farbe des Seewassers ist ein nahezu reines Blau (blaue Seen von Kandersteg, Arolla u. a.) Dieses Blau geht nach einer grössern oder geringern Beimischung von Humussäure in mehr oder weniger stark grüne Töne über. Die erforderliche Humussäure rührt jeweilen vornehmlich von Torflagern her, die sich im Einzugsgebiet des betreffenden Sees befinden.*

Da nun der Bodensee im westlichen Teil und im Untersee den grünen Farbenton Nr. VI und VII der Skala von Forel besitzt (die dunkelgrüne Färbung des Untersees wird als typisch bezeichnet), während im Genfersee im allgemeinen die viel stärker ins Blaue gehende Farbe Nr. IV der Skala nachgewiesen ist, so schliesst Forel nach seiner Erklärung, dass in dem Einzugsgebiet des Bodensees sich mehr Torflager befinden müssen, als in demjenigen des Genfersees.

(Bei unserer Transparenzmessung Nr. 34 im April 1896 bei schon ziemlich geschwächter Durchsichtigkeit haben wir als Farbe des Wassers im Luzerner Becken bei Seeburg auch die Farbe

Nr. IV der Forelschen Skala konstatiert. Im August und September desselben Jahres bei sehr starker und starker Trübung bestimmte Schürmann die Farbe daselbst als hellgrün, dunkel blaugrün und dunkelgrün, im Oktober als blaugrün, bei Sonnenuntergang als schwarzblau und im Dezember die Farbe auf dem Kreuztrichter stets als schwarzblau. Auch die Farbe wechselt zeitlich erheblich und hängt mit dem Grade der Transparenz und andern Umständen zusammen.)

2. Die Erklärung der natürlichen Farbe der Gewässer und des Zusammenhangs von Farbe und Durchsichtigkeit von Dr. W. Spring.

In der Gaea, Jahrgang 1898, Heft 2, p. 86 bis 98, findet sich ein Abhandlung: „*Die Farbe der natürlichen Gewässer*", mit besonderer Berücksichtigung der Arbeiten von *Spring* zusammenfassend dargestellt von Dr. *H. von Hasenkamp.*" Die Abhandlung ist ursprünglich in den „Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie, Oktober 1897" erschienen. Diese interessante Arbeit bringt neue Gesichtspunkte bezüglich Farbe und Durchsichtigkeit der Gewässer und verdient die Beachtung der Forscher und der Liebhaber auf diesem Gebiete. Die historische Entwicklung der Anschauungen über die Ursache der Farbe der Gewässer müssen wir hier überschlagen und uns auf die neuen Arbeiten von Dr. Spring, einem belgischen Chemiker, beschränken.

a. Zur Beantwortung der damals noch offenen *Frage, ob das reine Wasser farblos sei oder nicht* und in letzterm Falle, ob dann seine Farbe die blaue oder grüne sei, führte *Spring* im Jahre 1883 eine scharfsinnige Experimentaluntersuchung aus und zeigte, dass reines, mit der grössten Sorgfalt nach der Methode von Stas destilliertes Wasser im durchfallenden Licht in einer 5 m langen Röhre eine bleibende rein himmelblaue Farbe annimmt, während sich gewöhnliches destilliertes Wasser nach einigen Tagen grün färbt. Diese Veränderung führte Spring auf das Vorhandensein kleinster, aus der Luft stammender Lebewesen zürück und unterstützte seine Ansicht durch Versuche mit ein wenig Sublimatzusatz zu dem gewöhnlichen destillierten und zu dem in der Röhre grün gewordenen Wasser. Das vollkommen

reine, nach der Stasschen Methode dargestellte Wasser erwies sich ferner als fast vollkommen optisch leer; der Lichtkegel einer Magnesiumlampe war darin kaum sichtbar. Die blaue Farbe des reinen Wassers wurde damit als eine *Absorptionswirkung* des *Wassers an sich* und nicht als Reflexions- und Diffusionswirkung an heterogenen Teilchen erwiesen, wie die Versuche von Tyndall und Soret und Hagenbach es als möglich hatten erscheinen lassen. Die durch Diffusionserscheinungen bewirkte Färbung muss, wenn sie überhaupt stattfindet, keine merkliche Intensität haben.

b. Von diesem Standpunkte aus erklären sich leicht die verschiedenen *Nuancen der blauen Gewässer,* nämlich die blaue bis dunkelblaue Farbe der tiefen Stellen, die grünlich blaue der weniger tiefen Stellen, die verschiedenen Nuancen des Blau in verschiedenen Gewässern, die Veränderung des Blau mit der *Stärke der Beleuchtung und der Bewegung des Wassers.* Nur die beiden letzten Umstände wollen wier hier berücksichtigen.

Die Erklärung der Farbe der Gewässer muss ausser den physikalischen Ursachen auch ein *psychologisches Moment* enthalten, da nach dem Weberschen psychophysischen Gesetz die Empfindung einer Farbe schwächer wird und schliesslich ganz verschwindet, wenn das Auge durch andere Farben oder durch weisses Licht stark gereizt wird. An einem heitern sonnigen Tag wird daher die Empfindung des Blau weniger lebhaft sein, das Wasser wird mehr weisslich erscheinen. Die zu verschiedenen Tagesstunden oder bei mehr oder weniger bedecktem Himmel gemachten Beobachtungen und Farbentaxationen sind also das Ergebnis gleichzeitiger physischer und psychischer Vorgänge. (Man vergleiche dazu die bestätigende Beobachtung und Bemerkung Schürmanns, Beobachtungsnummer 46, betreffend die Farbe bei wechselnder Bewölkung und Sonnenbeleuchtung und bei und nach Sonnenuntergang. Arnet.)

Auch der *Zustand der Ruhe und Bewegung* modifiziert namentlich bei heiterm Wetter die Wahrnehmung der blauen Farbe. Für einen gegebenen Standpunkt des Beobachters haben die Wellen der Oberfläche jede ihren besonderen leuchtenden Punkt. Für den Beobachter gesellt sich dieses von der Reflexion an der Oberfläche herstammende Licht zu dem aus dem Innern des Wassers ausstrahlenden blauen Lichte, das von aussen ein-

gedrungen ist, aus dem Innern durch Reflexion von kleinen Teilchen zurückkehrt und auf diesem doppelten Wege die weniger brechbaren Strahlen durch Absorption eingebüsst hat. Je nachdem nun die Oberflächenreflexion die Ausstrahlung aus dem Innern übertrifft oder geringer ist als letztere, wird das Blau mehr oder weniger mit Weiss gemischt erscheinen. Erhält der Beobachter dabei auch noch Licht, das die durchscheinenden Kämme der Wellen durchsetzt hat, so treten zur blauen Grundfarbe auch noch grünliche Töne hinzu. So erklären sich die verschiedenen Farbnuancen der blauen Gewässer.

c. Es fragt sich nun, wie *die grünen Färbungen der Gewässer* zu stande kommen. Vielfach hat man die Ursache davon in der Gegenwart von gelösten fremden Substanzen im Wasser finden wollen, die die blaue Farbe des reinen Wassers durch eine mehr oder weniger grosse Beimischung von Gelb in eine Mischfarbe verwandeln. Die gelösten Mineralsubstanzen sollen dabei nach Ste-Claire-Deville und Wittstein (dieser gestützt auf Untersuchungen des Wassers von mehreren Flüssen, Bächen und Seen in Bayern) ohne Einfluss sein. *Der Einfluss komme vielmehr ausschliesslich den gelösten organischen Substanzen zu,* die zur Gruppe der *Humussäuren* gehören und durch eine hinreichende Menge Alkali in Lösung gehalten werden. Ein Wasser, das wenige organische Substanzen aufgelöst enthält, muss hienach eine nahezu blaue Farbe zeigen (die Mischung mit Weiss durch das psychologische Moment und die Oberflächenreflexion an den Wellen vorbehalten); ist mehr von organischer Substanz gelöst enthalten, so geht die Farbe nach und nach in Grün, Gelb, Braun und schliesslich in Schwarz über. Zu dieser Ansicht bekennt sich, wie wir gesehen haben, auch Herr *Forel.*

d. Nach *Spring* trifft diese Erklärung zweifellos in vielen Fällen zu, hat aber keineswegs den Charakter der Allgemeingültigkeit. Dieselbe folgt auch nicht mit Notwendigkeit aus den Resultaten der Analysen von Wittstein. Die letztern zeigen vielmehr deutlich, dass die Farbe der Gewässer in keiner direkten Beziehung zur Menge der organischen Substanz und zur Menge des Alkali steht. Von den Versuchen Forels scheint Spring keine Kenntnis gehabt zu haben. Gestützt auf seine eigenen zahlreichen Versuche mit völlig klarem Kalkwasser, das mit einer

wässerigen Kohlensäurelösung versetzt wurde, ebenso mit Barytwasser, dem eine oder zwei Blasen Kohlensäure zugefügt wurden, ebenso mit trübem Kalkwasser etc., welches er im Beobachtungsrohr sich klären liess (vergl. *Gaea,* l. c.), kam Spring zu dem wichtigen Schlusse, dass nicht bloss Wasser mit suspendierten farblosen Teilchen, sondern auch schon gesättigte Lösungen, in denen sich ein feinster Niederschlag erst zu bilden beginnt, dem Durchgange der brechbareren Strahlen Widerstand entgegensetzen und dadurch grün bis gelb erscheinen. Nach Analogie von Tyndalls „nascenten Wolken" spricht daher Spring von einem „nascenten" Niederschlag. Eine gesättigte Lösung von eisenfreiem Chlorcalcium wurde in das 5 m lange Rohr gebracht und zeigte eine grünlichgelbe Färbung; bei Verdünnung der Lösung oder bei Verringerung der Dicke der Schicht näherte sich die Farbe mehr und mehr dem reinen Grün. Aehnlich verhielten sich gesättigte Lösungen von Chlormagnesium, Chlornatrium und Bromnatrium. Die von der Lösung hervorgebrachte Farbe rührt weniger von der Menge des gelösten Salzes, als von der unmittelbaren Nähe des Sättigungspunktes her. Kleine Mengen eines wenig löslichen Salzes bringen dieselbe Wirkung hervor, wie grosse Mengen eines löslichen Salzes. Reines blaues destilliertes Wasser wurde einige Tage in einem Glasgefässe gekocht. Bekanntlich ist Glas etwas löslich im Wasser, weshalb die erkaltete Flüssigkeit in dem 5 m langen Beobachtungsrohr zuerst vollkommen undurchsichtig erschien. Nach einigen Stunden der Klärung liess sie ein dunkelgelbes Licht hindurch, nach zwei Tagen wurde sie grün und blieb es. Sie war vollkommen klar geworden, aber die geringe Menge an durchsichtiger Substanz, die sie dem Glase entzogen hatte, genügte, sie grün zu färben. Da waren doch keine organischen Stoffe im Spiele, wohl aber ein feiner nascenter Niederschlag.

Diese experimentellen Resultate gebraucht nun *Spring* zu folgender *anderen Erklärung der grünen und gelben, überhaupt der verschiedenen Färbungen der natürlichen Gewässer.* Er sagt: Das reine Wasser erscheint bei genügender Dicke der Schicht in der ihm eigenen Farbe, also *blau.* Diese blaue Farbe bleibt ungeändert, wenn das Wasser farblose Salze in geringer Menge in vollkommener Lösung enthält. Sobald aber gesättigte Lösungen vorhanden sind, in denen ein feinster Niederschlag sich eben erst

zu bilden beginnt, oder sobald ein „nascenter“ Niederschlag im Wasser enthalten ist, so wird das durch den feinen Niederschlag hindurchgegangene Licht mehr oder weniger *dunkelgelb* erscheinen. In Verbindung mit der blauen Farbe des reinen Wassers müssen sich dann, je nach der verschiedenen Menge des Gelb, die verschiedenen Nuancen des *Grün* bilden. Ueberwiegt das Gelb sehr stark, so kann das Wasser gelbbraun oder noch dunkler erscheinen.

Im allgemeinen sind es nun das Calcium- und Magnesiumkarbonat, die Kieselerde und der Thon, die als wenig lösliche Substanzen in Form eines nascenten Niederschlages in den natürlichen Gewässern auftreten können. Wenn daher ein kalkhaltiges Gewässer auch eine genügende Menge Kohlensäure enthält, um doppelt kohlensauren Kalk in vollständiger Lösung zu bilden, so wird dasselbe blau erscheinen, wie es dem ganz reinen Wasser zukommt. Es fehlt eben jeder schwebende Niederschlag. Dies gilt z. B. vom Genfersee und vom Achensee. Ein grünes Wasser dagegen, wie der Bodensee, enthält den Kalk weniger vollständig gelöst infolge eines geringern Kohlensäuregehaltes. In der Tat soll nach den Analysen von Ste-Claire-Deville das Rhonewasser auf dieselbe Menge von kohlensaurem Kalk die doppelte Menge von Kohlensäure enthalten, als das Rheinwasser. Der Kalk muss also in der Rhone besser gelöst sein, als im Rhein. Das Rhonewasser ist in der Tat im Winter blau.

Nach dieser Auffassung muss ein solches blaues Wasser, wenn es weiter Kalk aufnimmt, grün werden, da die bisher freie Kohlensäure dann als doppelt kohlensaurer Kalk gebunden wird. Aus diesem Grunde erscheinen, so behauptet Spring, die Untiefen der Meere und Seen und die seichten Uferpartieen der Seen in grünlichen Färbungen. Der Sand des Meeres schliesst die Trümmer zerriebener Muscheln ein und die Uferpartieen der Seen haben immer einen genügenden Kalkgehalt, um die Kohlensäure des Wassers zu binden. Der an den tiefen Stellen dunkelblaue Achensee zeigt an seinem nördlichen Ufer ein schönes Chromgrün. (So, so! davon hat Forel nichts erwähnt; aber kein Torflager soll er in seinem Einzugsgebiet besitzen. Arnet.) Das Wasser ist dort wenig tief und entzieht in seiner ständigen Bewegung den kalkhaltigen Kieseln des Untergrundes unsichtbare Kalkteilchen, die die Farbenänderung bewirken.

Die Kieselerde und der Thon können nach Spring die gleichen Wirkungen hervorrufen, wie der Kalk. Der Thon bildet, ohne im eigentlichen Sinne des Wortes im Wasser löslich zu sein, mit ihm eine Pseudolösung, eine Art von Emulsion, welche die Ursache der grünen Färbung oder der Trübung abgiebt. Wird aber eine Salzlösung hinzugesetzt, so schlägt sich der Thon rasch nieder und die blaue Farbe erhält wieder die Oberhand. Diesen Vorgang beobachtet man in grossem Massstab an den Mündungen grosser Flüsse in das Meer. Die Gewässer sind trübe, so lange sie noch nicht mit dem Meerwasser sich vermischt haben; sowie aber die Mischung stattfindet, so setzen sie rasch ihren Schlamm ab. Auf gleiche Weise wird eine Beobachtung von Schleinitz auf der „Gazelle“ erklärt, welcher die Farbenveränderung des Meerwassers, speziell die Zunahme der blauen Farbe dem grössern Salzgehalt, welcher gleichzeitig konstatiert wurde, zuschrieb.

e. Einen weitern Beweis für seine Auffassung entnimmt Spring dem *verschieden starken Leuchten des Wassers in den verschieden gefärbten natürlichen Gewässern.* Die natürlichen Gewässer müssen das einfallende Tageslicht nach allen Richtungen zerstreuen und ein grünes Wasser muss wegen seiner feinen Trübung durch nascente Niederschläge diese Erscheinung in höherm Grade zeigen, als ein blaues Wasser und muss darum heller erscheinen. Mit einem für diesen Zweck eigens konstruierten *Bunsenschen Photometer* (ein innen geschwärztes Metallrohr von 25 mm Durchmesser und 70 cm Länge, am untern Ende mit einer Glasplatte verschlossen, am obern Ende mit einer Metallkapsel mit Guckloch, einem Paraffinfleckschirm, einer Oeffnung für das Tageslicht (Fenster) und einem mit Teilung versehenen Schieber ausgestattet, mit welchem das Fenster mehr oder weniger verschlossen werden konnte) hat Spring im Jahre 1886 das von dem Wasser verschiedener Seen der Schweiz ausgesandte Licht gemessen. Das untere Ende des Rohres wurde hiebei in das Wasser des Sees eingetaucht, um das von der Oberfläche des Wassers ausgestrahlte Licht auszuschliessen. Das Wasser verhielt sich wie ein leuchtender Körper und seine Lichtintensität wurde nun mit derjenigen des durch das Fenster eintretenden Tageslichtes verglichen. Durch Verkleinern des Fensters konnte der Fettfleck zum Verschwinden gebracht werden.

Als Typus eines blauen Gewässers wurde der Blauensee im Kandertal, als Typus eines grünen der Vierwaldstättersee und als Typus eines gelben der Brienzersee in die Untersuchung gezogen. [In welcher Jahreszeit hat wohl Spring seine Messung auf unserm See gemacht? Wir denken im Sommer bei ziemlicher Trübung der Durchsichtigkeit und blaugrün gewordener Farbe. Der Sommer 1886 war bei uns ein sehr nasser Sommer, besonders die Monate Juni (28 Regentage) und August (16 Regentage). Der Sommer 1885 hätte ein ganz anderes Bild gegeben. Der Bodensee wäre viel geeigneter gewesen, als Typus eines grünen Sees zu dienen. Dem Vierwaldstättersee ist mit dieser Bezeichnung eigentlich Unrecht geschehen; das beweisen die Ergebnisse unserer Arbeit. Arnet.] Es ergab sich folgendes Resultat: Das gelbe Wasser zeigte sich am hellsten, das blaue zeigte die geringste innere Erleuchtung, das grüne gab eine mittlere Erleuchtungsstärke. Setzt man die Erleuchtung des blauen Gewässers (Blauensee) gleich der Einheit, so gaben die drei Seen folgendes Verhältnis der Lichtintensitäten: 1 : 1,094 : 1,272. Der Vierwaldstättersee (grün) gab also 9,4 %, der Brienzersee (gelb) 27,2 % mehr Licht ab, als das Wasser des Blauensees.

f. *Worin liegt aber die Ursache der blauen Farbe und der innern Erleuchtung der ganz klaren Gewässer?* Aus diesen photometrischen Messungen folgt mit Notwendigkeit, dass selbst die anscheinend vollkommen klaren Gewässer (Blauensee) nicht „optisch leer“ im Sinne Tyndalls sein können. Hier herrscht allseitige Uebereinstimmung. Betreffend die Natur der auch im klarsten Wasser vorhandenen Trübung gehen aber die Ansichten auseinander. *Tyndall* und *Soret* nahmen die Gegenwart äusserst feiner, unsichtbarer materieller Teilchen an, die das Wasser immer suspendiert enthalten sollte und die auch bei dem blauen Wasser seine innere Erhellung bewirken sollten. Diese suspendierten Teilchen im klaren Wasser entsprechen ganz den unendlich feinen Teilchen in der Luft und in Dämpfen, den sogenannten „*actinischen Wolken*“ Tyndalls, die das Blau des Himmels bewirken. (Man vergleiche *John Tyndall,* Sechs Vorlesungen über das Licht. Deutsche Ausgabe von *G. Wiedemann,* Braunschweig, 1876. Vierte Vorlesung.)

Dieser Auffassung tritt *Spring* entgegen und weist darauf

hin, dass die Existenz einer solchen materiellen Trübung in den blauen Gewässern durch keine sonstige Tatsache erwiesen ist, dass diese Trübung durch die Versuche von *Lallemand* 1869, welcher polarisiertes Licht durch Flüssigkeiten leitete und dieselben fast ausschliesslich in der Polarisationsebene erhellt fand, sehr unwahrscheinlich gemacht worden ist, und dass diese Annahme eines trüben Mediums beim reinen blauen Wasser auch den Absorptionsversuchen von *Brücke* zu widersprechen scheine. *Spring* stellte sich die Aufgabe, experimentell zu ermitteln, ob sich irgendwie die Gegenwart fester Teilchen in einem Wasser nachweisen lasse, das mit der grössten Sorgfalt gereinigt und von der umgebenden Luft so viel wie möglich abgeschlossen sei. Er ging dabei von dem Gedanken aus, dass sich eine solche noch so feine Trübung bei hinreichender Dicke der Schicht bemerkbar machen müsse, wenn auch eine Schicht von 5 bis 10 m noch vollkommen klar erscheine. Spring stellte in zwei durch Kautschukverbände zusammengesetzten Glasröhren von 26 m Länge und 15 mm innerm Durchmesser ebenso lange Wassersäulen von vollkommen reinem, nach der Methode von Stas unter Beobachtung aller Vorsichtsmassregeln destilliertem Wasser her und fand, dass dieselben bei heiterm Himmel oder bei Anwendung von Gasglühlicht ein sehr reines dunkles Blau durchliessen. Ein Fadenkreuz am vordern Ende der Röhre erschien bei dieser Beleuchtung ganz deutlich, aber natürlich viel weniger hell, als bei leerem Rohre. Das schwache Licht eines bedeckten Dezembertages vermochte freilich nicht mehr die Flüssigkeit zu durchdringen. Das destillierte Wasser, so schloss er, enthält also keine fremden Teilchen in solcher Menge, dass dieselben seine Tranzparenz bei einer Schicht von 26 m Dicke vernichten können.

Nun untersuchte Spring *die innere Erleuchtung dieses Wassers.* Er brachte in der die Röhre umschliessenden Papierhülle Oeffnungen an, die eine Beobachtung des Wassers von der Seite gestatteten. Bei Anwendung von Gasglühlicht als Lichtquelle vor der Röhre zeigte sich das Wasser in der Tat innerlich erleuchtet, aber merkwürdig genug, nur bis auf 1 bis 2 m Entfernung von der Lichtquelle. Die ganze übrige Flüssigkeitssäule von 24 bis 25 m Länge blieb vollkommen dunkel. Es lag nahe, den Ursprung der innern Erleuchtung in dieser nächsten Nähe der

Lichtquelle in einer durch Temperaturdifferenz bewirkten physikalischen Heterogenität des Wassers zu suchen, da ja gerade die Wärmestrahlen der Lichtquelle nicht weit in das Wasser als adiathermanes Medium eindringen können.

Es wurde nun folgender *Kontrollversuch* gemacht. Die Röhre wurde geleert, geraume Zeit sich selbst überlassen, um sie mit der Temperatur der Umgebung ins Gleichgewicht zu bringen. Alsdann wurde sie mit Wasser von 16° gefüllt, während die Temperatur des Rohres nur 4° betrug. Es zeigte sich das erwartete Resultat: das Wasser war fast vollkommen undurchsichtig. Nach einiger Zeit begann es sich zu klären und nach Verlauf einiger Stunden nahm es seine ursprüngliche Durchsichtigkeit wieder an. Bei einer hinreichend dicken, aber völlig klaren Wasserschicht bewirken also kleine Temperaturdifferenzen, dass das einfallende Licht nicht mehr in gerader Linie das nun heterogene Medium durchsetzt; es erleidet vielmehr Reflexionen und Brechungen, indem es von einem Punkt zu einem andern Punkt von verschiedener Dichtigkeit gelangt und daher erreicht es nur schwer und abgeschwächt das Auge des Beobachters hinter dem andern Röhrenende. Eine dünnere Wasserschicht erfordert, um denselben optischen Widerstand zu leisten, nur eine entsprechende Zunahme der Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Partien des Wassers.

Ein anderer Kontrollversuch wurde mit kürzerer Röhre von Zink von 6 m Länge und 3 cm Durchmesser angestellt, die durch untergesetzte Gasflammen erhitzt werden konnte. Die Grundflächen waren durch Glasplatten verschlossen. Das Rohr wurde mit Wasser gefüllt und die Transparenz wurde geprüft. Fast unmittelbar nach dem Anzünden der Gasflammen verlor die kreisförmige Eintrittsöffnung des Lichtes von 1 cm Durchmesser ihre scharfe Begrenzung, sie schien sich zu erweitern, einige Augenblicke später konnte man sie überhaupt nicht mehr erkennen, obwohl das Licht in der Mitte noch hindurchdrang. Später verdunkelte sich das Wasser mehr und mehr, um schliesslich ganz undurchsichtig zu werden. Man muss daraus schliessen, *dass ein Wasser, in welchem thermische Convectionsströmungen stattfinden, sich gerade wie ein trübes Medium verhält.* Spring zeigte diese Tatsache in noch bequemerer Weise mit einem vertikal gestellten

Rohre von bloss 2 m Länge. Das Rohr war unten mit einer Glasplatte verschlossen und unterhalb derselben war eine weisse Porzellanplatte als Reflektor angebracht, die ein Kreuz als Marke trug. Das Rohr wurde zuerst zur Hälfte mit warmem und darüber zur Hälfte mit kaltem Wasser gefüllt. Es bildete sich dann zwischen den beiden Schichten von verschiedener Temperatur ein Convectionsstrom und das Gesichtsfeld trübte sich bis zum Verschwinden des Kreuzes, ohne jedoch vollkommen dunkel zu werden, wie beim vorigen Versuch. Die Verringerung der Durchsichtigkeit hörte erst auf, als Temperaturgleichheit eingetreten war.

Bei einem weitern besonders schlau angelegten Versuche mit der 26 m langen Wassersäule von ursprünglich 20° C. des Wassers und 4° C. der Röhre fand Spring als kleinste Temperaturdifferenz zwischen Röhre und Wasserinhalt, die die Wassersäule noch völlig undurchsichtig zu machen imstande war, den kleinen (durch Rechnung ermittelten) Betrag von 0,57° bei der genannten Dicke der Schicht von 26 m.

g. *Die Anwendung dieser thermischen Convectionsströme zur Erklärung der verminderten Durchsichtigkeit, der innern Erleuchtung und der blauen Farbe der natürlichen Gewässer* liegt auf der Hand. Ein See von möglichst reinem Wasser wird mit blauer Farbe leuchten, sobald in ihm Convectionsströme stattfinden. Werden diese Convectionsströme schwächer, so wird das Wasser mehr und mehr dunkel, also dunkelblau bis schwarzblau erscheinen, ohne dass eine chemische Aenderung in seiner Zusammensetzung stattzufinden braucht. Das Ergebnis der Untersuchung von Forel und andern, dass das Wasser der Seen im Sommer viel weniger durchsichtig ist, als im Winter, erklärt sich nach Spring dadurch, dass im Sommer die Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und der Tiefe grösser ist, als im Winter. Infolge der Bewegung des Wassers können die Wasserschichten von verschiedener Dichte obschon im Sommer die wärmern und leichtern Schichten ja oben sind, nicht horizontal geschichtet bleiben, sondern sie müssen sich vermischen und dadurch Convectionsströme hervorrufen, die ihrerseits eine grössere Reflexion und Diffusion des eingedrungenen Lichtes und dadurch eine Abnahme der Durchsichtigkeit bewirken. (Hienach ist, wie ich weiter folgere, eine besonders starke Reduktion der Durchsichtigkeit in der sogenannten

Sprungschicht der Wassertemperaturen zu erwarten, wo die thermischen Convectionsströme am lebhaftesten sein müssen. Spring und Hasenkamp erwähnen hiervon noch nichts. Dieser Umstand kann aber zur Prüfung der Springschen Theorie in den natürlichen Gewässern verwertet werden. Arnet.) Nach dem in lit. f am Schluss aufgezählten Versuche Springs mit seiner 26 m-Röhre sind schon kleine Temperaturdifferenzen von $^1/_2$ bis 1 °, die aber auf eine dicke Schicht rings von aussen gleichmässig einwirken, imstande, die Trübung bis zur Undurchsichtigkeit zu steigern. (In den Seen sind die Temperaturdifferenzen jedoch anders angeordnet, als bei diesem Versuche Springs mit einem dünnen Wasserzylinder; dort in der Längsrichtung der auf die Transparenz zu untersuchenden Wassersäule, hier in der Richtung des Durchmessers der Wassersäule. A.)

Aus diesen thermischen Convectionsströmungen schon bei kleinen Temperaturdifferenzen erklärt Spring endlich folgende zwei Umstände betreffend die Farbe und Transparenz der Gewässer. Die Farbe des Wassers *in den von der Sonne bestrahlten Partieen* des Sees muss eine andere sein, als in den im Schatten einer Wolke oder eines Gebirges liegenden Partieen. Wasser, das der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, erscheint im Innern leuchtender, nicht allein durch die faktisch stärkere Lichtwirkung, der es ausgesetzt ist, sondern auch, weil es schliesslich durch die durch die Bestrahlung entstandenen Convectionsströme *weniger transparent wird, als das im Schatten befindliche Wasser (!)*. Aehnliche Differenzen finden auch statt, wenn der *Wind* ungleichmässig über die Wasseroberfläche weht, indem durch Verdunstung die Temperatur sinkt und die Intensität der Convectionsströme abnimmt. *Das Wasser erscheint dann stärker transparent, also weniger leuchtend.* So erklären sich nach Spring *die verschiedenen Färbungen in Streifenform*, die man auf der Oberfläche von Seen und Meeren bemerkt und die in gewisser Weise die Richtung des Windes bezeichnen.

h. Spring will übrigens die von ihm gegebenen neuen Erklärungen nicht als die ausschliesslich richtigen hinstellen. Er bemerkt in dieser Hinsicht: „Die bei dem Studium der Seen beobachteten Erscheinungen sind wie alle Naturerscheinungen nicht so einfach, wie man zu glauben geneigt sein könnte; sie

sind eben das Ergebnis von mehreren Faktoren, die jeder für sich studiert werden müssen, wenn man imstande sein will, ihre Gesamtheit zu verstehen. Es ist durchaus nicht meine Ansicht, die Tatsachen, die ich beobachtet habe, als solche hinzustellen, die die sonst allgemein angenommenen Erklärungen ausschliessen; ich möchte sie einzig und allein als eine Ergänzung unserer Kenntnisse hinsichtlich der Frage der Erleuchtung und der Farbe des Wassers bezeichnen."

3. Unsere Reflexionen über Transparenz und Farbe der Gewässer.

Aus den bisherigen Erörterungen ist es klar genug geworden, dass die Ursachen der wechselnden Transparenz und Farbe der Seen gar nicht so einfach sind, wie man am Anfang anzunehmen geneigt ist. Die versöhnliche Ansicht, mit welcher die Arbeit von Spring ausklingt, wirkt fast deprimierend auf den Leser, der mit Interesse der Entwicklung gefolgt ist. Man kommt zu der resignierten Anschauung, schliesslich haben alle Erklärer mehr oder weniger recht, die wirkenden Ursachen laufen mit ihren Fäden wirr durcheinander. Es sollte aber doch etwas zur Abklärung der sich zum Teil widerstrebenden Ansichten geschehen, das Stichhaltige sollte ausgesondert und abgestuft, das Zweifelhafte zu erneuter Prüfung zurückgewiesen werden. Unsere Reflexionen mögen als bescheidene Mitarbeit bei diesem Abklärungsprozesse aufgenommen werden.

a. Zunächst ein *Resumé sämtlicher geltend gemachter Ursachen der wechselnden Transparenz und Farbe der Gewässer.* Nach *Forel* wirken folgende Ursachen zusammen:

1. Die Hauptursache der relativ geringen Transparenz des Wassers der Seen ist *die Vermengung der mit Schlammteilchen beladenen Flusswasser mit dem reinen Seewasser.* Dadurch wird das Wasser der Seen zu einem trüben Medium, ähnlich wie die Luft durch die Bildung des Nebels oder der hochgelegenen Cirrusschleier. Die Zufuhr der Flusstrübungen ist im Frühling und Sommer am stärksten und daher während dieser Zeit die Transparenz am kleinsten.

2. Die Grösse der sommerlichen Trübung wird unterstützt durch *die thermische Schichtung des Wassers* in der warmen Jahreszeit. Die übereinander gelagerten Wasserschichten verschiedener Dichtigkeit können im Sommer Stäubchen von differenten spezifischen Gewichten und daher Stäubchen in grösserer Menge schwebend erhalten, als im Winter, wenn die ganze Wassermasse auf zirka 4° erkaltet und tief hinab dasselbe spezifische Gewicht besitzt.

3. Die Grösse und Variation der Trübung wird ferner mitverursacht durch *die variable Menge der im Wasser lebenden Mikroorganismen, also durch die Menge des Planktons.* Je grösser die Menge des Planktons eines Sees, desto kleiner wird die durchschnittliche Transparenz. Vergleichende Zahlen über das Plankton von See zu See und von Jahreszeit zu Jahreszeit sind uns nicht bekannt.

4. *Ohne merklichen Einfluss* auf die Grösse der Transparenz *ist nach Forel die wechselnde Stärke der Beleuchtung des Sees* durch die Sonne bei klarem oder weniger klarem Himmel, bei Wolken oder Nebel, beim Stand der Sonne im Zenith oder im Horizont, bei Versenkung der weissen Scheibe in dem direkt durch die Sonnenstrahlen getroffenen Wasser oder in der von einem Schiffe oder von einer Wolke oder, wie wir noch hinzufügen, von einer Bergwand beschatteten Teile der Wasserfläche. In seinem neuern Werke „Le Léman“ giebt Forel immerhin zu, dass im Winter und Frühling die Durchsichtigkeit des Wassers mit der zunehmenden Höhe der Sonne zunehme. Bei guter Durchsichtigkeit im Winter werde dieser nur geringe Einfluss merkbar, bei grösserer Trübung im Sommer dagegen unmerklich.

5. *Die Ursache der blauen Farbe der Seen* ist die dem reinen Wasser eigentümliche Absorption der Lichtstrahlen kleinerer Brechbarkeit; *die Ursache der grünen Farbe* und der Uebergänge von Blau und Gelb liegt in dem Gehalt des betreffenden Wassers an gelöster *Humussäure* und letztere rührt hauptsächlich von den im Einzugsgebiet der Seen liegenden Torflagern her.

Nach *Spring* wirken bei der wechselnden Durchsichtigkeit und Farbe der Gewässer weiter noch folgende Ursachen:

6. *Die „nascenten“ Niederschläge* von gesättigten Salzlösungen im Seewasser, namentlich derjenige von doppelt kohlensaurem

Kalk, welcher bei nicht genügend vorhandener freier Kohlensäure des Wassers auftritt. Diese nascenten Niederschläge sind zugleich die Ursache der verschiedenen Abstufungen der *blaugrünen, grünen* bis *gelben* und *gelbbraunen* Farbentöne der natürlichen Gewässer. Die blaue Grundfarbe des reinen Wassers und der gelbe bis dunkelgelbe Farbenton des feinen Niederschlages erzeugen zusammen je nach der Menge des Gelb *die verschiedenen Nuancen des Grün.*

7. Die im Wasser der Seen vorhandenen *Convectionsströmungen,* herrührend von den verschiedenen Temperaturen an der Oberfläche und in der Tiefe. Die grössern Temperaturdifferenzen der Schichten im Sommer bewirken lebhaftere Convectionsströmungen, diese letztern rufen grössere Reflexion und Diffusion des eingedrungenen Lichtes im Sommer und dadurch geringere Tiefe des Eindringens des Lichtes und dadurch eine *kleinere Transparenz* hervor. Auch in ganz klaren Seen muss folgerichtig diese Ursache im Sommer eine Abnahme der Transparenz bewirken.

Diese Convectionsströme sind aber zugleich *die Ursache der blauen Farbe* der ganz reinen Gewässer und der innern Erleuchtung derselben. Wenn dieselben schwächer werden, so wird die blaue Farbe mehr und mehr dunkel, also dunkelblau bis schwarzblau bis schwarz. (Diese Folgerung sollte man für reflektierte und durchgegangene Lichtstrahlen mit intensivem „kaltem Licht" prüfen können. Eine Anforderung an das kommende 20. Jahrhundert. Arnet.)

8. Die Convectionsströme einerseits, die nascenten Niederschläge andererseits und die gewöhnlichen gröbern Trübungen in dritter Linie sind *die Ursachen des in aufsteigender Reihe immer stärker werdenden innern Leuchtens* der obersten Wasserschichten der *rein blauen,* dann der *grünen* und endlich der stark getrübten *gelben* Seen.

9. *Die Farbentaxation der Seen* wird beeinflusst durch einen *psychophysischen Vorgang im Auge* und durch den *Bewegungszustand der Wasseroberfläche.* Wenn das Auge durch Wasserglanz, überhaupt durch starkes anderes Licht gereizt wird, so findet eine Abstumpfung der Empfindlichkeit für die wahre Farbe des Wassers statt; das Blau oder Grün wird weniger gesättigt, sondern mehr hell und weisslich erscheinen. Das Gleiche bewirkt die

Vermischung des innern Lichtes des Wassers mit dem an der Oberfläche der Wellen reflektierten weissen Lichte. (Daher ist die Taxation der Farbe eine besonders heikle Sache und verlangt eine gute Schützung des Auges gegen Glanz und Reflex. Am besten würde es wohl sein, durch eine Camera obscura ohne Linsen senkrecht auf die Wasseroberfläche hinabzusehen. Eine solche bietet nahezu der Abort auf den Dampfschiffen. Honny soit qui mal y pense! In zweiter Linie eignet sich die Betrachtung der Bugwelle der Dampfschiffe von der II. Kajüte aus. A.)

10. *Direkte kräftige Sonnenbestrahlung* muss die Farbe und Transparenz des Wassers der Seen indirekt durch die von ihr hervorgerufenen stärkern Convectionsströmungen verändern. Die erste direkte Wirkung wird ein tieferes Eindringen des Lichtes sein. Durch die Erwärmung werden aber die Convectionsströme verstärkt, dadurch die innere Diffusion des Lichtes vergrössert und dadurch das Eindringen und die Transparenz verkleinert. Im umgekehrten Sinne wirkt *ein leichter Windzug* auf die von ihm bestrichenen Stellen des Sees; dieselben werden durch Verminderung der Convectionsströme stärker transparent, als glatt und ruhig liegende Oberflächenstellen.

Aus diesen aufgezählten Faktoren und Folgerungen greifen wir nun einzelne Punkte heraus, um unsere Kritik daran zu üben.

b. *Der Einfluss der Beleuchtungsstärke und der direkten Sonnenbestrahlung auf die Transparenz.* Die Anschauung Forels, welcher diesen Einfluss früher mehr, jetzt weniger leugnet, stösst bei den Beobachtern, so bequem sie für dieselben ist, regelmässig auf Widerstand. Mit der Logik des gesunden Verstandes raisonniert man so: Je stärker das Wasser von oben durch Bestrahlung erhellt wird, desto weiter hinab muss durch das eindringende Licht ein weisser Gegenstand im Wasser sichtbar sein. Mir ist es selbst nicht anders gegangen und ich habe auch ohne besondere Vorschriften soviel möglich helle oder leicht bewölkte Tage, resp. Nachmittage zu meinen Beobachtungen gewählt. In den Beobachtungen sind verschiedene Notizen eingestellt, welche auf diesen Einfluss der Beleuchtung hinweisen. Wir zitieren einige.

Bei der Messung Nr. 45 von Schürmann steht die Notiz: „Es ist zu bemerken, dass trotz Schiff und Schattenschirm im

Wasser gebrochene Sonnenstrahlen (Licht) sich unter dem Schiff hindurch bezüglich der Sichtbarkeit der Scheibe noch geltend machen.“ Auch sonst hat Herr Schürmann wiederholt mündlich sich gegen das Vernachlässigen einer guten Sonnenbeleuchtung ausgesprochen. Bei der Messung Nr. 45 sind unmittelbar hintereinander folgende zwei Ergebnisse notiert:

Zeit	*Abwärts.*	*Aufwärts.*	*Mittel.*	*Die Sonne*
5 h 30	7,70 m	7,25 m	7,47 m	ist nahe dem Untergang.
5 h 40	6,90 „	6,70 „	6,80 „	ist soeben untergegangen.
Differenz	0,80 m	0,55 m	0,67 m	

Die Differenz 0,67 m ist 9 % der gerade vorher gemessenen Sichttiefe; um soviel sinkt sofort mit Sonnenuntergang die Grösse der Durchsichtigkeit.

Bei der Messung Nr. 46 von Schürmann vom 10. Oktober 1896 stehen unmittelbar hintereinander folgende Angaben:
5 h 25, Sonne am Untergehen, mittlere Sichtbarkeitsgrenze 7,50 m.
5 h 30, Sonne im Untergehen, mittlere Sichtbarkeitsgrenze 7,35 m.
5 h 40, Sonne ist untergegangen, mittlere Sichtbarkeitsgrenze 3,75 m.
Der Himmel war gegen Westen stark bewölkt, der See war ganz glatt; nach Sonnenuntergang (5 h 40) heisst es: der Himmel ist noch mehr grau bewölkt.

Wir verweisen ferner auf die Angaben bei der Messung Nr. 49 über den Einfluss der bald dickern, bald dünnern Nebeldecke im Zenith an einem trüben Dezembertag und ebenso auf unsere Erfahrungen bei der Messung Nr. 51 vom 26. Dezember 1896 bei gänzlicher Abwesenheit von direktem Sonnenlicht bezüglich des langen Ausbleibens der Scheibe und der Unbestimmtheit des Wiedererkennens derselben beim Aufziehen.

Angesichts dieser Erfahrungen raten wir allen Beobachtern, für ihre Messungen wenn möglich helle oder leicht bewölkte, kurzum sonnige Tage auszusuchen und ja keine Messung nach Sonnenuntergang zu machen, es sei denn zur Vergleichung und Kontrolle. Es existiert eben doch ein Einfluss der Beleuchtungsstärke auf die Grösse der Transparenz und wenn man ihn vernachlässigt, so stört man die Vergleichung der Resultate bezüglich anderer Einflüsse.

Was nun die merkwürdige Folgerung von *Spring* betrifft, dass das Wasser *bei Sonnenbestrahlung weniger transparent werde,* als es vorher war oder gleichzeitig an tief beschatteten Stellen ist, so können wir nicht mit Beobachtungstatsachen dienen. Auf diese Idee waren wir zur Zeit unserer Messungen noch nicht gekommen. Der Schatten des Schiffes oder des aufgespannten schwarzen Schirmes kann hiebei nicht von Belang sein, da ja derselbe sich nur auf die Oberflächenpartieen beschränkt und das Wasser, in welchem die Scheibe versinkt, trotzdem von der Sonne beleuchtet ist. Dagegen müsste das Wasser im Schatten steiler Bergwände grössere Transparenz haben, als dasjenige an besonnten Stellen des Sees. Unsere Beobachter auf dem innern Teil des Vierwaldstättersees mögen sich die Sache merken und kontrollieren. Man beachte aber das Wort „schliesslich“ in der Folgerung Springs. Die Besonnung muss einige Zeit gedauert haben, wenn der Unterschied bemerkbar werden soll. Vorderhand glauben wir unsererseits nicht an diesen Einfluss der Sonnenbestrahlung und erwarten, es werde bei präzisen Beobachtungen und namentlich bei guter Sorge für den Schutz des Auges gegen den Reflex und Glanz von der besonnten Wasseroberfläche entweder keine Differenz oder eine solche zu gunsten der direkt bestrahlten Wassertiefe herauskommen.

Es ist nur eine konsequente Weiterführung der obigen Folgerung Springs, wenn wir behaupten, nach Spring muss zur Zeit von Sonnenschein die Durchsichtigkeit der Gewässer überhaupt kleiner sein, als zur Zeit von bloss gutem diffusem Tageslicht, also bei bedecktem Himmel, bei Cirusschleier oder Nebeldecke. Das ist nun aber richtig das strikte Gegenteil von dem, was wir oben durch Schürmanns und unsere Erfahrungen zu beweisen gesucht haben. Was ist nun dazu zu sagen? Ich antworte so. Da die Beobachtungen bereits das Gegenteil dieser komischen Folgerung lehren, so folgt daraus, dass der Einfluss der Convectionsströme bei den Sichttiefen in unsern Seen ein verschwindend kleiner ist und dass die andern Einflüsse, d. h. die Absorption des Lichtes durch ein wirklich trübes Medium, durch eine Wolke von suspendierten festen Teilchen und Stäubchen und nascenten Niederschlägen und Mikroorganismen der Wirkung der Convectionsströme weit überlegen sind. Bei ganz tiefblauen

Seen, beim Meere mit seinen grossen Sichttiefen, mag diese feine Ursache etwas zu bedeuten haben, bei unsern gewöhnlich blauen, blaugrünen, grünen, trübgrünen bis trübgelben Seen dagegen nicht. Die Erklärung, die Spring über die Tatsache der verschiedenen Durchsichtigkeit der Seen im Sommer und Winter gegeben hat, kann daher auch nicht als die richtige zugelassen werden, vielmehr ist Forels Erklärung dieser Variation der Transparenz die richtige.

Nachdem wir soweit sind, lehnen wir auch die Folgerung ab, dass die direkte Sonnenbestrahlung das Wasser weniger transparent mache und dass die Transparenz in den von leichtem Wind bestrichenen und daher gekräuselten Stellen der Seeoberfläche grösser sei, als an den glatten ruhigen Stellen, und dass daraus die strichweisen andern Färbungen der Seeoberfläche erklärt werden können. Diese strichweisen und fleckenweisen differenten Färbungen sehen auch gar zu launenhaft und bizarr geformt aus, als dass sie durch variable Verdunstung, Aenderung der Temperatur und Convectionsströme eine befriedigende Erklärung finden könnten. Man zeige uns mehrfache und gute gegenteilige Beobachtungstatsachen, bevor wir an diese Wirkungen der Convectionsströme glauben.

c. *Der Zusammenhang der Transparenz mit den Niederschlägen.* Unsere Hinweisungen auf die Niederschlagsverhältnisse, auf starke Gewitterregen, Wolkenbrüche, anhaltendes Regenwetter haben es genügend gezeigt, dass die Durchsichtigkeit sinkt, sobald grössere Regenmengen oder längeres Regenwetter vorausgegangen ist. Das Steigen der Temperatur des Wassers an und für sich und die Zunahme des Planktons spielen bei dem Emportreiben der Sichtbarkeitsgrenze im Sommer jedenfalls nicht die Hauptrolle; die Temperatur kann in einem Regensommer ja selbst einige Zeit sinken und die Durchsichtigkeitskurve steigt dessenungeachtet gleichzeitig, die Transparenz nimmt also ab. So ist es in dem nassen August 1896 gegangen. Man vergleiche die graphische Beilage. Auf Ende August jenes Jahres stieg die Temperatur des Wassers wieder und hielt sich bis Mitte September auf rund 19 °, die Durchsichtigkeit aber nahm rasch zu, weil eben die Niederschläge aufgehört hatten. Ein ebenfalls inverser

Gang der beiden Kurven findet sich auch im Juli 1895 vor, zur Zeit einer längern Gutwetterperiode.

Lehrreich ist auch die Störung der regulären Durchsichtigkeitsänderung zu Anfang März 1895 durch das Ausleeren von Seeschlick in den See unterhalb Seeburg. Vergl. Tafel I, Messungsnummer 12. Auch Stürme, welche den See stark aufregen, fallen bei unsern nicht grossen und nicht gar tiefen Becken bald in Betracht. Wir verweisen auf die Störung des Kurvenverlaufes bei der Messungsnummer 27, im Dezember 1895.

d. *Die lokalen Differenzen der Transparenz auf einem und demselben See.* Beim Genfersee und Bodensee nimmt im allgemeinen die Klarheit des Wassers ab, je weiter man sich von der Mündung des Hauptzuflusses entfernt. Forel ist geneigt, dies als allgemeines Gesetz hinzustellen und dasselbe aus dem Ueberwiegen der Wassertrübung durch den Hauptzufluss zu erklären. Nach dieser Erklärung sollte man erwarten, dass die Differenzen zwischen den obern und untern Stationen an einem See im Winter, wo der Hauptzufluss seine trübende Aktion eingestellt hat, viel kleiner, im Frühling und Sommer, wo diese Ursache der Trübung fortwährend stark wirkt (Schnee- und Gletscherwasser), viel grösser sein werden. Wir haben nun eine Anzahl dieser Differenzen am Bodensee und Genfersee näher angesehen.

Der Bodensee bestätigt die Folgerung wenigstens annähernd. Die Differenz der Sichtbarkeitsgrenzen von Konstanz und Lindau ist zu Ende des Winters, im Februar, am kleinsten mit 3,4 m, dagegen am grössten im April und Mai mit 7,6 m und 6,8 m; im Sommer nimmt die Differenz wieder ab. Der mittlere Wert der Differenz während den sechs Monaten des Winterhalbjahres, September bis Februar, beträgt 4,4 m; die mittlere Differenz in den sechs Monaten des Sommerhalbjahres, März bis August, ist 6,0 m. Wir hätten immerhin einen grössern Unterschied zu gunsten des Frühlings und Sommers erwartet.

Der Genfersee mit seinem mehr blauen Wasser stimmt zu dieser Folgerung schon viel schlechter. Zwischen der obersten Station Meillerie und der untersten Station Nernier besteht die kleinste Differenz im Sinne Forels im Oktober mit 0,4 m, aber unmittelbar darauf im November, Dezember und Jänner die grosse Differenz 2,9 m, 2,8 m und gar 4,1 m. Die grösste Differenz

kommt im April vor mit 4,3 m; sie ist bedenklich wenig verschieden von derjenigen im Jänner. Und der Mai hat keine grössere Differenz, als der November und der Dezember, nämlich 2,9 m. Im März kommt als Differenz sogar die fatale Zahl — 1,1 m vor, d. h. die obere Station Meillerie hat einen um 1,1 m grössern Wert der Durchsichtigkeit, als die untere Station Nernier, die Differenz ist also in verkehrter Weise vorhanden. Wie kommt das alles, wenn das Gesetz von Forel zu Recht besteht? Und die mittlere Differenz jener beiden Stationen beträgt für das Winterhalbjahr 2,0 m, für das Sommerhalbjahr März bis August, 1,65 m, für das ganze Jahr 1,8 m. Das stimmt alles sehr schlecht.

Es verhalten sich also schon der *Genfersee* und der *Bodensee* in dieser Beziehung erheblich ungleich und speziell der Genfersee ordnet sich nur im Durchschnitt, aber nicht in dem Detail der Transparenzwerte, unter das angenommene Gesetz. Am *Vierwaldstättersee* dürfte sich das Verhältnis noch mehr ändern, da ausser der Reuss auch die Muota, die beiden Aa bei Buochs und Alpnach und noch eine Anzahl von zeitweise stark anschwellenden Bergbächen in der Trübung der verschiedenen Seebecken eine grosse Rolle spielen. Auch die Kreuzform des Sees und die gegen den Ausfluss zu abnehmende Tiefe des Luzerner Beckens wird dazu beitragen, dass jenes Gesetz hier nicht ohne weiteres sich bestätigt finden kann. Nach unserm bisherigen Befund ist die Durchsichtigkeit bei Meggenhorn grösser als bei Seeburg und bei Gersau wenigstens zeitweise, im Frühjahr nach einem etwas strengen Winter, grösser als bei Seeburg und als bei Meggenhorn. Die weitern Beobachtungen, welche die Verhältnisse auf unserm See genauer feststellen sollen, bleiben abzuwarten. Es will uns scheinen, dass Forel sein Gesetz zu allgemein gefasst habe. Vielleicht ist dasselbe um so besser zutreffend, je grüner, gelber und trüber ein See ist, aber um so weniger richtig, je blauer und transparenter ein See ist.

Den Beobachtern an unserm See möchten wir empfehlen, auch in diesem Punkte sorgfältig die Beobachtungsstellen auszuwählen, Anschwellungen der Zuflüsse im Laufe der Beobachtungen, ebenso starke Aufregungen des Sees, die zwischen zwei Beobachtungen hineinfallen, zu notieren und eventuell Parallelbeobachtungen zwischen entfernten, tiefen Stellen auf der Seeweite

und andern, der Quelle der Trübung näher gelegenen Punkten am gleichen Tage und unter sonst gleichen Umständen auszuführen. Das könnte dann zu genauern Schlüssen über die relative Wirkung der einzelnen Zuflüsse führen.

e. *Die Farbe der natürlichen Gewässer.* Das völlig reine Wasser leuchtet aus dem Innern in schön blauer Farbe und dieselbe ist durch die Absorptionswirkung des Wassers an sich auf das eindringende und durch Reflexion aus dem Innern zurückkehrende Tageslicht entstanden. Darüber ist man einig. Einen Streitpunkt bildet dagegen die Erklärung der blaugrünen, grünen und gelben Farbentöne. Nach *Forel* rühren dieselben von einem geringern oder grössern Gehalt des Wassers an gelöster Humussäure her, nach *Spring* von einer unvollständigen Lösung des Kalkgehaltes infolge von Armut des Wassers an Kohlensäure. Auch Kieselerde und Thon können dieselbe Wirkung hervorbringen; die Convectionsströme im Innern des Wassers, welche bei der Transparenz so stark in den Vordergrund gestellt wurden, werden zur Erklärung der grünen Farbe der Gewässer von Spring nicht beansprucht.

Hier scheint uns die Theorie von *Spring* gegenüber der Erklärung *Forels* den Vorzug zu verdienen und zwar aus folgenden Gründen.

Von den Untersuchungen des *Meerwassers* ist folgendes bekannt. Die von *Tyndall* untersuchten Wasserproben des Mittelmeeres und des atlantischen Ozeans ergaben, dass das tiefblaue Wasser nicht die geringste Menge suspendierter Stoffe enthielt, die grünen Wasser aber eine zunehmende Trübung durch feine suspendierte Stoffe zeigten. Erhöhter Salzgehalt macht die blaue Farbe des Meerwassers tiefer blau, vermutlich infolge eines vermehrten Niederschlages der sonst suspendierten feinen trübenden Stoffe. So zeichnen sich die salzreichen und warmen Meeresströmungen, wie der Golfstrom und der Kuroschivo, durch ihre tiefblaue Farbe aus; die kalten und salzärmern Polarströmungen sind mehr ostseegrün, ebenso das Wasser an den Küsten gegen Grönland hin. Da, wo an den Küsten kaltes Wasser aufsteigt, verrät sich dies schon dem Blicke durch eine Entfärbung des Meeres ins Olivengrüne. In den Polarmeeren sind weite Strecken durch

Diatomeen grün gefärbt und das Wasser in der Nähe des Eises hat eine mehr oder weniger schmutziggrüne Farbe.

Dieses Verhalten des Meerwassers und ebenso das Chromgrün an dem nördlichen Ufer des Achensees (vergl. oben pag. 179) spricht doch lebhaft dafür, dass die grüne Farbe von suspendierten feinen Teilchen herrührt und dass *Spring* mit seinen „nascenten“ Niederschlägen zur Erklärung der grünen Farbe im Rechte ist.

Dagegen lassen sich gegen die von *Forel* postulierte aufgelöste *Humussäure* ernste Einwendungen erheben. Die Chemie unterscheidet mehrere Humusstoffe: Quellsäure, Quellsatzsäure und Ulminsäure sind im Wasser löslich; Huminsäure und Geïnsäure sind in Alkalien löslich; Humin und Ulmin sind weder in Wasser noch in Alkalien löslich. Alle diese Körper sind schwer definierbare Verbindungen und sind in fortwährender Umsetzung begriffen; sie werden als Uebergangsprodukte von der Pflanzensubstanz bis zum Endzustand derselben angesehen, der in den Zerfallsprodukten Kohlensäure und Wasser besteht. Bei dieser Sachlage mit den Humusstoffen ist *Forel* nicht wohl berechtigt, aus seinen Versuchen mit der Filtration von Wassern aus blauen und grünen Seen durch Porzellanfilter den Schluss zu ziehen, dass nur eine aufgelöste Substanz und zwar die in Wasser löslichen Humusstoffsäuren die grüne Färbung zu Stande bringen. Wir wollen dies mit folgendem Raisonnement noch deutlicher zu machen suchen.

Angenommen, es seien feine nascente Niederschläge von Calciumcarbonat die Ursache der grünen Färbung und es werden dieselben durch das Porzellanfilter wirklich zurückgehalten, so wird der bei der Filtration zweifellos eintretende Verlust an Kohlensäure zur Folge haben, dass in dem Filtrate sofort wieder nascente Kalkniederschläge entstehen und daher auch die grüne Färbung wieder auftritt. Es müsste die Filtration schon mehrmals wiederholt werden, bis schliesslich der Gehalt an Calciumcarbonat und andern Salzen endgültig aus dem Wasser verschwunden wäre. Dann erst würde die grüne Farbe aufhören. Die von Forel gewollte Reinigung des Seewassers von allen, auch den feinsten trübenden Teilchen ist also gar nicht so leicht zu erhalten.

Eine zweite Annahme, die Ursache der grünen Färbung liege in den im Wasser enthaltenen gelösten und ungelösten Humusstoffen, und die nicht gelösten Humusstoffe werden beim Filtrieren wiederum zurückgehalten, führt zu keinem bessern Resultat. Die Humusstoffe sind laut Chemie in fortwährender Umsetzung begriffen und da gerade beim Filtrieren eine innige Berührung mit der Luft eintritt, welche zu diesen Umsetzungen disponiert, so können und müssen fast in dem Filtrate wiederum unlösliche Humuskörper sich bilden oder es können die gelösten Humussäuren mit dem Kalkgehalt des Wassers sich zu nascenten Niederschlägen vereinigen. Vielleicht ist es nötig, die von Spring angegebenen unvollständigen Lösungen auch auf huminsaure Verbindungen auszudehnen, die Spring nicht aufgezählt hat. Die Versuche von *Forel* lassen sich also mit der Theorie von *Spring* erklären; dagegen lassen mehrfache Versuche von *Spring,* so z. B. die erhaltene grüne Farbe bei einer Auflösung von doppeltkohlensaurem Kalk und Kohlensäure in völlig reinem Wasser, die entstandene Grünfärbung von gewöhnlichem destilliertem Wasser in einer 5 m langen Röhre nach Verlauf von einigen Tagen, die Grünfärbung von reinem Wasser, welches in Berührung mit dem Glas der Röhre gekocht wurde, mit der Theorie *Forels* nicht heimführen. Und das Chromgrün an den Ufern des Achensees?

Wir sind also zu dem Schlusse gelangt, *die verschiedenen braungrünen, grünen und gelbgrünen Farbentöne der natürlichen Gewässer rühren von dem reinen Wasser beigemischten trübenden Stoffen in höchst feiner Verteilung, von „nascenten“ Niederschlägen von Salzen, besonders von doppeltkohlensaurem Kalke, vielleicht auch von ungelösten Humusstoffen und huminsauren Verbindungen her.* Aufgabe der Chemiker wird es daher weiter sein, die Menge und die Qualitäten dieser subtilen nascenten Niederschläge in den verschiedenen natürlichen Gewässern und bei den verschiedenen Nuancen der grünen Farbe näher nachzuweisen. Gerade beim Vierwaldstättersee wird sich gute Gelegenheit hiezu bieten. Ich hoffe, unser Chemiker werde mir für meine Reflexionen in dieser düfteligen Farbenpolemik und für die gegebenen Zielpunkte der weitern Untersuchung recht dankbar sein und sich tüchtig dahinter machen. Viel Zeit und viel Glück dazu!

Aus der Theorie von Spring folgt, dass mit der *Zunahme der grünen Färbung eine Verringerung der Transparenz des Wassers* Hand in Hand gehen müsse, während umgekehrt mit der *Steigerung der blauen Färbung ins Tiefblaue und Schwarzblaue eine Erhöhung der Transparenz* verbunden sein muss. Daher wird es angezeigt sein, dass die Untersuchung auf die Durchsichtigkeit immer verbunden werde mit der Prüfung auf die Farbe nach der Methode von Forel, um diese Folgerung und damit die Theorie von Spring zu bestätigen oder dieselbe zu korrigieren. Uns ist diese Farbenbestimmung des Wassers von dem kleinen Schiffchen aus immer schwer gefallen. Andere mögen darin mehr Geschick und Urteil des Auges besitzen. Aber immer wird ein gutes Stück subjektiver Auffassung mitgehen und zwar mehr, als bei der Durchsichtigkeitsmessung.

Es gäbe allerdings noch andere Mittel und Wege, um ein Mass für die farbige Trübung des Wassers durch fixe oder nascente, organische oder unorganische Niederschläge zu bekommen. Wir meinen vorab *die Messung der innern Erleuchtung der betreffenden Gewässer bei Sonnenschein* mit dem von *Spring* angewendeten *Spezialphotometer* für diesen Zweck. Vergl. oben pag. 180. Je reiner blau oder schwarzblau ein Gewässer erscheint, desto weniger hell muss die innere Erleuchtung desselben sein; je mehr der Farbenton dem Grün oder Gelb sich nähert, desto stärker muss die innere Erleuchtung gerade unter der Oberfläche des Wassers sein. Es ist nur schade, dass diese Methode weniger einfach ist und mehr geschulte Beobachter verlangt, als die Farbvergleichungsmethode von Forel, die jetzt praktiziert wird. Auch bezüglich Empfindlichkeit ist dieselbe nicht näher bekannt. Das Vergleichen zweier verschieden gefärbter Lichtmengen, in diesem Falle des weissen Tageslichtes und des farbigen Wasserlichtes, mit dem Fettfleckphotometer ist eben immer eine schwierige Sache. Aber weitere Versuche wären doch angezeigt.

Wir wollen sodann noch eine weitere neue Methode zur optischen Prüfung des Seewassers in Vorschlag bringen, die unseres Wissens noch nirgends versucht wurde: *die Methode der Durchleuchtung des Wassers der Seen von unten mit künstlichem Licht.* Man versenke eine starke mit geeignetem Reflektor versehene Glühlampe, z. B. eine Glühlampe nach dem System der englischen

Gesellschaft „Improved Glow Lamp Cy. Limited“, in die Tiefe des Wassers und messe wiederum photometrisch die abnehmenden Lichtmengen, welche bei zunehmender Senktiefe an der Oberfläche des Wassers noch austreten, man bestimme die Veränderung der Farbe dieses Lichtes und die Grenze der Sichtbarkeit desselben. Das Verfahren ist leider noch weniger einfach und zudem noch kostspieliger, als das vorige und wir geben uns keinen Illusionen hin. Es wird noch lange in die Rubrik der frommen Wünsche zu stellen sein, an denen die Limnologie auch sonst nicht verlegen ist. Aber es als eine ideale Methode erwähnen darf man gleichwohl.

Wir sind am Schlusse. Wir haben den uns zugespielten Anschnitt der Citrone „der wissenschaftlichen Untersuchung des Vierwaldstättersees“ mit redlicher Mühe nach unsern Kräften, aber leider zum Schaden der Gesundheit, ausgepresst, den Saft geläutert, fractioniert und in sauber etiquettierte Flacons abgezogen. Leider nehmen die Flacons auf der grossen Etagère, die die limnologische Kommission angeschafft hat, nur einen kleinen Raum ein. Mögen andere Mitarbeiter und Forscher die Zahl der Flacons mit ihren Destillationsprodukten gefüllt recht bald vermehren, so dass alle Etagen und alle Fächer des Schrankes besetzt werden und die schönen Flacons und noch mehr ihr geläuterter Inhalt Auge und Herz der Naturforscher mit Genuss erfüllen, dass die Kenntnis unseres schönen Sees auch in wissenschaftlicher Beziehung in immer weitere Kreise dringe und dass die Hochschätzung dieses Kleinods bei unserer Bevölkerung noch höher steige. Das ist mein herzlicher Aschiedswunsch!

Nachtrag

betreffend

Seetrübung durch die Reuss.

Nach Abschluss meiner Arbeit erhalte ich von Herrn Prof. Dr. *Alb. Heim* in Zürich auf eine gestellte Anfrage noch folgende gefällige Auskunft über die *Wirkungen der Reuss und der Muota auf die Trübung und die Farbenänderung des Vierwaldstättersees*

nach seinen gelegentlichen Beobachtungen bei Aufenthalten, Bergtouren etc.

1. Herr *Heim* hat schon einige Male bestimmt gesehen, dass die *trübe Reuss* im Spätsommer ebenfalls unter das Seewasser *versinkt,* wie die Rhone im Lemansee, und folglich keine besondere Reusstrübung in den See hinausging. Aber dieses Verhalten scheint bei der Reuss nicht die Regel zu sein. *Viel häufiger* sah er die trübe Reuss weit hinaus *den See trüben.* Weil das oft der Fall ist, so kann keine subaquatische Rinne im Delta entstehen. (In der Tiefenkarte des Sees ist von einer solchen Rinne in der Tat nichts zu bemerken. Arnet.) Flusswasser und Seewasser vermischen sich hier viel mehr, aber auch viel wechselvoller, als im Lemansee.

2. Herr *Heim* hat schon oft mit der versenkten weissen Scheibe im *März* und *April die Durchsichtigkeit des Seewassers* von Lützelau aufwärts im Weggiser und Gersauer Becken bis zum Rütli im Urner Becken geprüft und dabei keine wesentlichen Unterschiede gefunden. Kommt dann aber ein starker Regentag oder eine starke Föhn-Schneeschmelze, so nimmt in zwei oder drei Tagen die Trübung in den oberen Schichten rasch zu. Dabei schien es ihm bei einigen Gelegenheiten, dass starker Regen viel schneller überall trübt, als die Schneeschmelze. (Das stimmt auch mit meinen Erfahrungen überein. Arnet.) Heim findet die Erklärung hiefür darin, dass trübes Regenwasser im Frühling sicherer auf dem Seewasser schwimmend sich verteilt, kaltes Schneewasser dagegen eher unter die Seeoberfläche geht.

3. Gewiss ist, dass der Vierwaldstättersee im Sommer *hauptsächlich von der Reuss aus,* vom Gletscherwasser der Reuss, *getrübt wird* und dass er dann *die Farbe von Flüelen bis Luzern ganz regelmässig ändert:* er ist bei Flüelen milchig, wird dann allmählig saphirblau oder türkisblau mit kaum 1 m Durchsichtigkeitsgrenze; die Durchsichtigkeit, Bläue und Farbtiefe nehmen dann abwärts ganz langsam und gleichmässig zu, gerade wie bei den norwegischen Fjorden. Heim hat dieses Verhalten nicht nur bei Dampfschiffahrten, sondern sehr oft auch bei guter Beleuchtung vom Vitznauerstock, vom Niederbauen und vom Frohnalpstock übersehen können. Jedoch glaubt Heim auch bestimmt wahrgenommen zu haben, dass in der gleichen Jahreszeit,

aber in verschiedenen Jahrgängen, die Farbe des Sees nicht gleich ist. Wenn eben das Flusswasser zum Teil oben bleibt, so ergiebt sich eine viel grössere Variabilität in der Farbe. (Diese Ungleichheit der Farbe in verschiedenen Jahren hängt eng zusammen mit dem bedeutenden Wechsel der Trübung in den verschiedenen Sommern und diese Trübung mit der Art und Dauer der Niederschläge des betreffenden Sommers. Deswegen habe ich auch Einsprache erhoben, dass Spring nach dem Verhalten des Sees im Sommer 1886 den See als Typus eines *grünen* Sees hinstellt. Arnet.)

4. *Die Reuss* hat *Heim* im Januar, Februar und Anfang März noch klar gesehen, zu Ende März aber stets trüb. Ueber das Verhalten im November und Dezember hat er keine Beobachtungen.

5. Auch die *Muota* verhält sich nach *Heim* nicht immer gleich. Bisweilen geht der trübe Strich des Muotawassers weit hinaus, andere Male sinkt das trübe Muotawasser unter das Seewasser und erhöht den Schlammabsatz in seinem Becken. Mit der Untersuchung dieses Schlammabsatzes der Muota und der Reuss ist *Heim* gerade jetzt beschäftigt.

6. *Heim* bemerkt noch folgendes: Meine Beobachtungen sind nur so gelegentliche Beobachtungen, die ich leider auch nicht scharf notiert habe. Es fehlte bisher an regelmässigen Beobachtungen sowohl im Urnersee, als auch in Brunnen, Buochs und Alpnach. An den Mündungen der Zuflüsse sollte Tag für Tag jemand die Flusstemperatur, die Oberflächentemperatur des Sees und das Verhalten des Flusses an der Mündung aufzeichnen, um eine klare Uebersicht der Verhältnisse zu bekommen. (Diese Anforderungen gehen bedeutend weiter, als die im Luzerner Seeprogramm aufgestellten Begehren: eine tägliche Messung der Seetemperatur, eine monatliche Messung der Reusstemperatur und eine vierteljährliche Messung an den übrigen grossen Zuflüssen. Nach dem jetzigen Stand der Dinge, namentlich mit Hinsicht auf diese Mitteilungen Heims betreffend die grosse Variabilität der Mischungen von Fluss- und Seewasser bin ich der Meinung, es sollte mehr geschehen, als das Programm vorsieht. Die limnologische Kommission sollte die Sache prüfen. Arnet.)

Ich verdanke die obigen Mitteilungen dem Herrn *Prof. Heim* bestens. Ich glaubte dieselben am besten dadurch zu ehren und bei unsern nunmehr in regelmässige Funktion getretenen Beobachtern am nützlichsten zu verwenden, dass ich sie an dieser Stelle anfügte. Die Kenntnisgabe möge den Beobachtern einen neuen Impuls zu ihrer Arbeit verleihen.

Bezüglich Abstufung der Durchsichtigkeitsverhältnisse in den verschiedenen Teilen des Sees schliesst sich Herr *Heim* nach seinen Erfahrungen inniger an die Auffassung *Forels* an, als ich in dieser Arbeit es getan habe. Ein endgültiges Urteil wird erst dann möglich sein, wenn eine längere zusammenhängende Beobachtungsreihe über Durchsichtigkeit und Farbe aus den verschiedenen Abteilungen des Sees vorliegt.

Korrektur. In der *lithographischen Beilage, Tafel I,* ist die Marke ⊙ für die Sichtbarkeitsgrenze bei der Beobachtung Nr. 45, Kreuztrichter, etwas zu tief gestellt. Dieselbe soll laut Text auf 7,4 m stehen (statt auf 7,8 m). — Auch der Beobachtungspunkt Nr. 46 der Hauptkurve (8,1 m) daselbst sollte um drei Tage weiter nach rechts gerückt sein, um mit dem Text genau übereinzustimmen.