

**Zeitschrift:** Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern  
**Herausgeber:** Naturforschende Gesellschaft Luzern  
**Band:** 4 (1904)

**Artikel:** Limnologische Untersuchungen des Vierwaldstättersees :  
physikalischer Teil : I. Abteilung : optische und thermische  
Untersuchungen

**Autor:** Amberg, B.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-523414>

### **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:** 03.04.2026

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

# Limnologische Untersuchungen

des

Vierwaldstättersees

---

## **Physikalischer Teil**

---

I. Abteilung:

Optische und thermische Untersuchungen

---

Von

**B. Amberg**

Finanzdirektor der Stadt Luzern

---



## Vorbemerkungen.

---

Im Juli 1895 veröffentlichte die limnologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (Präsident: Dr. F. Zschokke, Professor der Universität Basel) in Verbindung mit der Naturforschenden Gesellschaft in Luzern (Präsident: O. Suidter) ein einlässliches Programm betreffend eine limnologische Untersuchung des Vierwaldstättersees, nebst einer bezüglichen Instruktion für die Durchführung der Untersuchung. Den optisch-thermischen Teil der physikalischen Seeuntersuchung übernahm Prof. X. Arnet in Luzern. Dieser war bereits im Jahre 1898 im Falle, über die Ergebnisse seiner in den Jahren 1894—1897 von ihm persönlich angestellten Beobachtungen über Transparenz, Oberflächen-Temperatur und Farbe des Wassers im Luzerner Becken in den Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern einen ausführlichen Bericht zu veröffentlichen. Unter seiner Leitung wurden auch Schritte getan behufs Organisation der programmgemässen Messungen und Beobachtungen in den übrigen Becken des Vierwaldstättersees. Zu dem Zwecke wurden, ausser in Luzern, noch in Küssnacht, Hergiswil, Alpnach, Weggis, Buochs, Gersau, Brunnen und Flüelen Mitarbeiter gewonnen und mit folgenden Instrumenten ausgerüstet:

a) Für Messung der Temperatur der Luft und der Seeoberfläche ein *Quecksilberthermometer* in Holzfassung mit Teilung von  $-20$  bis  $+40$  Grad Celsius, eingeteilt in Fünftelgrade. Die Thermometer waren amtlich geprüft und gestempelt von der Grossherzogl. Sächs. Prüfungsanstalt für Glasinstrumente unter mitwirkender Kontrolle der physikal.-techn. Reichsanstalt zu Charlottenburg. Laut bezüglichen Prüfungsscheinen weist bei den meisten der vorzüglich zur Verwendung kommende Teil der Skala entweder gar keine merklichen Fehler oder dann, wenn an einzelnen Stellen solche vorkommen, betragen sie in keinem Falle über  $0,1$  Grad.

b) Für die Messung der Durchsichtigkeit, Transparenz, des Wassers eine weiss emaillierte *Secchische Scheibe*<sup>1)</sup> von 30 cm Durchmesser, nach bezüglichen Angaben geliefert von der Emailfabrik Zug. Dieselbe wurde durch drei Verbindungsschnüre an einer graduierten Schnur befestigt. Da Flachsschnüre, weil zu wenig widerstandsfähig gegen Feuchtigkeit und wegen Veränderungen der Länge beim Durchnässen und Wiedertrocknen, sich nicht bewährten, wurden später dieselben Kupferkordons wie für das Tiefenthermometer verwendet.

c) Zur Bestimmung der Farbe des Seewassers eine *Farbenskala* nach den Angaben von Dr. F. A. Forel in Lausanne<sup>2)</sup>.

Ausserdem erhielten die einzelnen Beobachter das erwähnte gedruckte Programm mit den erforderlichen Anleitungen zum Gebrauch der übergebenen Instrumente, sowie ein mit den bezüglichen Eintragungsrubriken versehenes Notizheft. Diese Rubriken betreffen:

I. Temperaturmessungen:

- a) Lufttemperatur am Ufer (Morgen),
- b) Wassertemperatur: Oberfläche am Ufer,
- c) Wassertemperatur: Oberfläche auf tiefem See,
- d) Temperatur des Eises.

II. Durchsichtigkeitsmessungen: Ort, Datum, Stunde, Sichtbarkeitsgrenze. Zustand des Himmels und des Sees.

III. Farbe des Sees.

Eine Anzahl weiterer Rubriken beziehen sich auf das Gefrieren des Sees und die bezüglichen Erscheinungen, welche infolge der milden Winter bisher fast keine Verwendung gefunden haben.

Leider geriet die mit Eifer an Hand genommene Sache zu bald ins Stocken, da ihr Leiter aus Rücksichten der Gesundheit

---

<sup>1)</sup> Zum ersten Mal, jedoch in grösserem Massstabe, in wissenschaftlicher Weise angewendet von P. A. Secchi von Rom, gelegentlich der von ihm im Jahre 1865 unternommenen Forschungen im Mittelmeer.

<sup>2)</sup> Vergl. F. A. Forel, *Le Leman*, T. II, Lausanne 1895, pag. 462 ff., ferner *Die Temperatur-Verhältnisse des Bodensees*, Heft XXII der Schriften des Vereins für Gesch. des Bodensees und Umgebung, von demselben Verfasser, übersetzt von Eberhard Graf Zeppelin. Lindau 1893.

sich veranlasst und genötigt fand, von der Aufgabe, der er sich bis dahin mit Liebe und Sachkenntnis gewidmet hatte, zurückzutreten. Am Schlusse des erwähnten Berichtes über seine bisherigen Seeuntersuchungen nimmt Prof. Arnet Abschied von seinen Mitarbeitern, diesen die Weiterführung der Arbeit wärmstens empfehlend. Obwohl der Sache bis dahin ferne stehend, wurde ich von der limnologischen Kommission ersucht, in die Lücke zu treten. Noch im Spätherbst des Jahres 1898 machte ich, zum Teil gemeinsam mit Prof. Dr. Bachmann und mit Dr. Alfred Steiger, einige Durchsichtigkeits- und Tiefentemperaturmessungen, letztere mit einem Tiefenthermometer von Negretti & Zambra, London, im tiefern Teil des Luzerner Seebeckens, in der Gegend von Seeburg und Meggenhorn. Doch machte sich bald die leidige Wahrnehmung geltend, dass die vorhandenen Apparate zum Teil ungenügend, zum Teil defekt und unbrauchbar geworden waren. Der vorhandene Haspel für Versenkung des Tiefenthermometers war ein schwerfälliges, windsches, klapperndes Möbel, das beim Gebrauch ganz aus den Fugen kam und seinen Dienst versagte; die Hanfschnüre waren infolge längeren Nichtgebrauchs und unzuweckmässiger Aufbewahrung morsch geworden. Hanfseile haben, abgesehen von ihrer Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit beim Aufbewahren, den Nachteil, dass sie im durchnässten Zustande sich merklich verkürzen und daher ihre Massteilung unzuverlässig wird. Die nächste Aufgabe war daher die Beseitigung dieser Mängel. Eichmeister Baumann in Luzern konstruierte nach unsern Angaben einen sehr praktischen und handlichen, leicht transportablen und trotzdem soliden eisernen Haspel. Ein verstellbarer Krahn mit Laufrolle ermöglichen es, denselben sowohl bei Befestigung auf dem horizontalen Sitzbrett, wie auch an der schrägen und vertikalen Schiffswand zu gebrauchen. Durch die bereitwillige Vermittlung der Direktion des städtischen Elektrizitätswerkes Luzern (Stadtrat Stirnimann) wurde der Apparat mit einem Kordon aus blankem Kupferdraht von zirka 250 m Länge ausgerüstet. Dieser Kordon ist aus vier Teilen von je 20 feinen Kupferfäden geflochten und zeichnet sich in gleicher Weise durch grosse Geschmeidigkeit, Beständigkeit und Tragkraft aus, sofern nur dafür gesorgt wird, dass er mit einiger

Sorgfalt behandelt und besonders beim Aufwinden auf den Haspel keine Schlicke oder Verletzungen durch Reibung etc. entstehen. Nachdem der Kordon einigemal im Gebrauch gewesen und normale Streckung erlitten hatte, wurde die Graduierung vorgenommen und die Meter und Dekameter mit verschiedenfarbigem Seidenfaden markiert, wobei die Marken für fünfzig und hundert Meter besonders gekennzeichnet waren. Die zuerst versuchte Markierung mit kleinen Zinntropfen bewährte sich nicht, weil durch das Aufgiessen eines solchen heissen Tropfens die Kupferfäden geschwächt und brüchig wurden. Ein bezüglicher Versuch verursachte uns den empfindlichen Verlust eines Tiefenthermometers. Die Secchischen Scheiben wurden ebenfalls mit gleichen graduierten Kordons aus Kupferdraht versehen, welche sich auch hier aufs beste bewährten. Um hiebei eine Verschlingung und Verschlickung besonders beim Heraufziehen derselben zu verhüten, wurden die Kordons, auf einem kleinen hölzernen, mit Handhabe versehenen Haspel aufgewunden.

Mit diesen verbesserten Apparaten ausgerüstet, konnte ich im November 1898 meine programmgemässen Messungen der Tiefentemperaturen, verbunden mit Durchsichtigkeits- und Farbenbestimmungen, beginnen, welche sich aber — abgesehen von einer Messung im Alpnersee — auf das Flüeler-, Gersauer- und Luzernerbecken beschränken mussten.

Mittlerweile stellte sich heraus, dass auch bei der Mehrzahl der z. Zt. angeworbenen Mitarbeiter an den Ufern der verschiedenen Seebecken die von ihnen begonnenen Beobachtungen aus diesem oder jenem Grunde wieder ins Stocken geraten waren. Mit Ausnahme von Küssnach (Landschreiber Truttman), Hergiswil (Posthalter Blättler) und Luzern (A. Steiger) wurden im Sommer 1898 so ziemlich alle Seebeobachtungen eingestellt, nachdem im ersten Quartal des Jahres fast durchweg fleissige Messungen verzeichnet worden waren. Persönliche Besuche und Aufmunterung durch ein neues Zirkular waren nur von teilweisem Erfolg. Sekundarlehrer Sidler in Brunnen und Dr. Nienhaus in Gersau waren wegen Wegzuges, andere infolge von beruflichen Verhinderungen zur Einstellung der Beobachtungen genötigt. Stellvertretung war nicht leicht erhältlich.

So musste man sich auf das so reduzierte Mitarbeiterpersonal beschränken. Nachdem mit Beginn des Jahres 1899 auch Präsident Gisler in Flüelen und Direktor Winkler in Alpnach wieder in Reih und Glied getreten, waren die Hauptbecken des Sees wieder besetzt.

Es liegen nun ausser meinen eigenen Messungen von allen diesen Stationen mehr oder weniger vollständige Serien von Beobachtungsmaterialien vor, welche sich über ein oder mehrere Jahre erstrecken und es ermöglichen, von den wichtigeren und interessanteren thermischen und optischen Verhältnissen des so stark gegliederten Vierwaldstättersees ein wenigstens in seinen Hauptzügen zutreffendes Bild vor Augen zu führen, welches zu entwerfen im Folgenden versucht werden soll.





# Erster Teil.

## Oberflächen-Temperaturen des Vierwaldstättersees.

### I. Oberflächen-Temperaturen im Küssnacherbecken.

Wir beginnen mit der vollständigsten und umfangreichsten Serie von Beobachtungen betreffend Wasser- und Lufttemperaturen, welche wir Landschreiber Truttmann in Küssnach verdanken. Dieselben wurden von ihm den 15. Dezember 1897 begonnen und seither bis zur Stunde in sozusagen lückenloser Reihenfolge durchgeführt. Mit Ausnahme von drei Tagen Unterbrechung infolge nötig gewordenen Reparaturen eines Thermometers besitzen wir hier tägliche Aufzeichnungen über die Luft- und Wassertemperatur des Sees am dortigen Ufer. Dazu kommen regelmässig monatlich zwei Bestimmungen der Luft- und Wassertemperatur am Ufer und im tiefen See anlässlich der Durchsichtigkeitsmessungen in der Mitte der Seebucht von Küssnach, zirka 250 bis 300 m vom Ufer entfernt, bei ungefähr 20 m Tiefe des Sees. Um mit demselben Thermometer sowohl Luft- als Wassertemperatur messen zu können, musste jeweilen die Messung der Lufttemperatur vorher vorgenommen werden.

#### 1. Morgentemperaturen der Luft und des Wassers am Ufer.

Wir sehen vorläufig ab von einer Mitteilung des sämtlichen vorliegenden wertvollen Zahlenmaterials betreffend die täglichen Ufertemperaturen des Wassers und der Luft; doch veranschaulichen wir dieselben in beigegebener Tafel I. durch graphische Darstellung in der Weise, dass jeweilen nur die Wendepunkte, d. h. die Punkte des Ueberganges vom Steigen des Thermometers ins Fallen oder umgekehrt, eingezeichnet und diese Punkte durch gerade Linien verbunden sind, wobei die Länge eines halben Millimeters einem Zehntelsgrad der Temperatur entspricht. Zur bessern Auseinanderhaltung der beiden Kurven ist die Nullpunktlinie für die Wassertemperaturen um

50 mm abwärts parallel verschoben. Die Monate sind alle gleichlang, bezw. zu 30 Tagen gerechnet und durch eine Abszissendifferenz von je 15 mm dargestellt, sodass ein Abstand von einem Millimeter einem Zeitabstand von zwei Tagen entspricht.

Es ist selbstverständlich, dass in Wirklichkeit der Uebergang von einer Morgentemperatur zur nächstfolgenden nicht ein gleichförmiger, also die entsprechende Verbindungslinie der betreffenden Punkte keine gerade Linie wäre, da im Laufe des Tages Schwankungen nach oben oder nach unten eintreten, welche wir hier unbeachtet lassen müssen.

Verfolgen wir den Gang dieser beiden Kurven, so ergeben sich folgende Tatsachen:

1. Sowohl die Wasser- als die Lufttemperaturen haben in den Wintermonaten, Januar und Februar, ihre kleinsten Werte, Minima, steigen dann in den folgenden Monaten allmählig an, um in den Sommermonaten, Juli und August, ihre höchsten Werte, Maxima, zu erreichen. Von da an nehmen die Temperaturen wieder ab bis zu den genannten Minima im Winter.

2. Das Aufsteigen beider Kurven im Frühling und Sommer geschieht sprungweise mit sehr starken Vibrationen nach oben und nach unten. Diese Ausschläge sind zwar im allgemeinen stärker bei den Temperaturen der Luft, als denjenigen des Wassers; doch sind dieselben einander ziemlich entsprechend, sodass einem Ausschlag der Lufttemperaturkurve nach oben auch ein solcher der Wassertemperaturkurve in gleichem Sinne entspricht, und umgekehrt.

3. Der Abstieg der Temperaturkurve des Wassers vom August an zeigt im Gegensatz zum Aufstieg sehr geringe Ausschläge und es stehen die kleinen Zickzacke zeitweise in einer ziemlich geraden Flucht.

Die Temperaturkurve der Luft hingegen macht beim Abstieg dieselben starken Elongationen wie beim Aufstieg.

4. Auch in den Wintermonaten, während welchen, wie wir später sehen werden, die Temperatur des Sees von der Oberfläche bis auf den Grund desselben sich ziemlich ausgleicht, macht die Temperaturkurve der Wasseroberfläche nur geringe Ausschläge nach oben und unten, während dagegen diejenige der Lufttemperatur gerade in dieser Jahreszeit die grössten

Amplituden aufweist und oft plötzlich um 12 und mehr Grad in die Höhe oder auch nach unten schnell.

Weitere Aufschlüsse über den Verlauf der Temperaturen der Luft und des Wassers werden uns die aus dem vorhandenen Beobachtungsmaterial sich ergebenden Mittelzahlen bieten. Zu dem Zweck werden zunächst für jeden Monat der vier Beobachtungsjahre <sup>1)</sup> die Monatsmittel und daraus die Mittel für die Jahreszeiten, sowie diejenigen für das ganze betreffende Jahr, und hieraus dann auch die Mittel für dieselben Zeitperioden für alle vier Jahre zusammen abgeleitet. Die Resultate dieser Berechnung sind in nachfolgender Tabelle I. zusammengestellt.

**Tabelle I.**

**Mittelzahlen der Morgentemperaturen der Luft und des Sees am Ufer in Küssnach.**

	1898		1899		1900		1901		Mittel der Jahre 1898–1901	
	Luft	See	Luft	See	Luft	See	Luft	See	Luft	See
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Januar . . . . .	0,66	4,05	1,29	5,05	0,98	4,65	-2,98	3,01	-0,01	4,19
Februar . . . . .	0,22	3,88	-5,56	1,92	1,43	4,36	-6,98	1,56	-1,47	2,93
März . . . . .	2,45	4,46	0,91	4,87	-0,01	4,39	-0,51	2,77	0,71	4,12
April . . . . .	7,00	7,06	6,06	7,40	5,36	6,88	5,39	5,78	5,95	6,78
Mai . . . . .	10,49	10,91	10,42	10,79	9,86	10,60	10,96	11,49	10,43	10,95
Juni . . . . .	13,50	14,79	12,28	13,83	15,04	15,57	14,90	15,34	13,93	14,88
Juli . . . . .	15,15	15,80	16,31	17,38	17,12	18,37	16,60	17,73	16,30	17,32
August . . . . .	16,47	18,90	16,31	18,91	14,97	17,31	14,47	17,22	15,56	18,09
September . . . . .	13,98	17,46	13,07	16,58	13,98	16,55	12,89	15,34	13,48	16,48
Oktober . . . . .	9,97	13,45	7,89	12,54	7,92	13,43	8,20	11,72	8,50	12,79
November . . . . .	5,90	10,10	3,34	9,70	2,83	8,30	1,34	7,99	3,35	9,02
Dezember . . . . .	0,28	6,76	-2,38	5,56	0,42	5,40	-0,45	5,51	-0,53	5,80
Winter (Dez.-Febr.)	0,39	4,90	-2,22	4,18	0,94	4,80	-3,47	3,36	-0,67	4,31
Frühling (März-Mai)	6,65	7,48	5,80	7,69	5,07	7,29	5,28	6,68	5,70	7,28
Sommer (Juni-Aug.)	15,04	16,50	14,97	16,71	15,71	17,08	15,32	16,76	15,26	16,76
Herbst (Sept.-Nov.)	9,95	13,67	8,10	12,93	8,24	12,76	7,48	11,68	8,44	13,78
Jahr . . . . .	8,01	10,64	6,60	10,38	7,49	10,48	6,15	9,62	7,18	10,28

Es kann also schon hier konstatiert werden, dass während des ganzen Jahres die Morgentemperatur des Sees durchschnittlich

<sup>1)</sup> Die Beobachtungen des Jahres 1902, weil z. Zt. noch nicht vollständig vorliegend, sind vorläufig unberücksichtigt gelassen.

höher ist, als diejenige der Luft. Auf die Bedeutung dieser Tatsache in klimatischer Beziehung werden wir später noch zurückkommen. Im allgemeinen steigt die Temperatur naturgemäss mit derjenigen der Luft, doch hält diese Zunahme beim See länger an als bei der Luft. Während diese ihre höchste mittlere Morgentemperatur schon im Juli erreicht, fällt das Maximum der Temperatur des Sees erst in den Monat August. Das Minimum der mittleren Seetemperatur fällt in den Februar, so dass Minimum und Maximum einen Zeitabstand von 6 Monaten haben. Diesem Gang entsprechend wäre das Minimum der Lufttemperatur für den Januar zu erwarten. Statt dessen zeigt die betreffende Temperaturkurve (Beil., Tafel II.) um diese Zeit eine Abstumpfung; an Stelle des zu erwartenden Minimums zeigt sie im Januar ein sekundäres Maximum, und es fällt das absolute Minimum der Lufttemperatur auch in den Februar, d. h. in die Zeit des Minimums der Seetemperatur.

Diese Erscheinung, welche wir sowohl bei der mittleren Morgentemperatur der Luft am Ufer von Küsnach, als bei der mittleren Tagestemperatur der meteorologischen Station Luzern wahrnehmen (siehe Beil., Tafel II.), scheint eine Eigentümlichkeit der in Betracht fallenden vierjährigen Periode (1898—1901) und speziell eine Folge der besonders milden Januare von 1898 bis 1900 zu sein. In der Kurve der aus 30jährigen Beobachtungen ermittelten mittleren Lufttemperatur der meteorologischen Station Luzern findet sich diese Diskontinuität der Krümmung nicht und es fällt ihr tiefster Punkt in der Tat in den Monat Januar.

Die genannte Störung in der Nähe des Minimums der Lufttemperaturkurve macht sich in keiner Weise auch an der Kurve der Seetemperatur geltend. Dagegen werden wir etwas Aehnliches bei der Transparenzkurve des Sees antreffen.

Die mittlere jährliche Amplitude, d. h. der Unterschied von Maximum und Minimum, beträgt nach obstehend ermittelten Mittelzahlen bei der Morgentemperatur des Sees  $18,1^{\circ} - 2,9^{\circ} = 15,2^{\circ}$ , bei der gleichzeitigen Lufttemperatur dagegen  $16,3^{\circ} + 1,5^{\circ} = 17,8^{\circ}$ , also durchschnittlich  $2,6^{\circ}$  mehr als bei der Seetemperatur.

Im Einzelnen zeigen freilich die Zahlen des in Betracht gezogenen vierjährigen Beobachtungsmaterials mehrfache Abweichungen von den vorstehend berechneten Mittelzahlen, sowohl

in Bezug auf den Zeitpunkt des Eintreffens als den Betrag der Maxima und Minima. So finden wir in den Morgentemperaturen der Luft und des Sees am Ufer folgende Extreme:

I. <i>Minima</i> der Lufttemperatur:		der Wassertemperatur:	
1898	den 11. Febr. — 6,6°;	den 9. Febr.	+ 3,0°
	„ 22. Dezbr. — 6,8°;		
1899		„ 25. März	+ 3,3°
1900	„ 5. März — 10,0°;	„ 5. März	+ 3,0°
1901	„ 16. Febr. — 16,3°;	„ 16. Febr.	+ 0,4°

II. *Maxima.*

1898	den 21. Aug.	20,5°;	den 21. Aug.	21,9°
1899	„ 23. Juli	22,3°;	„ 23. Juli	22,3°
1900	„ 26. Juli	20,2°;	„ 27. Juli	23,8°
1901	„ 22. Juli	20,0°;	„ 11. Aug.	20,6°

Die grössten Amplituden in den Morgentemperaturen des Sees betragen somit in den genannten Jahren bis 23,4°, überschreiten also die mittlere Amplitude bis 8,2°.

Ebenso finden wir zeitweise Umkehrungen in dem Verhältnis der Morgentemperaturen des Sees und der Luft und zwar naturgemäss hauptsächlich im Frühling, um die Zeit des Minimums des Abstandes der beiden Temperaturen, wie folgende Uebersicht zeigt.

Morgen mit höherer Luft- als Seetemperatur<sup>1)</sup>:

	1898		1899		1900		1901		Mittel d. 4 J.	
	Zahl	Temp.-Diff.	Zahl	Temp.-Diff.	Zahl	Temp.-Diff.	Zahl	Temp.-Diff.	Zahl	Temp.-Diff.
Januar	—	—	4	1,5°	1	0,2°	2	0,6°	2	1,0°
Februar	1	0,2°	—	—	2	0,6°	—	—	1	1,5°
März	7	1,0°	1	2,0°	1	5,2°	2	0,9°	3	1,5°
April	17	1,7°	7	0,7°	6	0,7°	13	2,0°	11	1,5°
Mai	11	1,5°	10	1,6°	9	1,3°	9	1,4°	10	1,4°
Juni	7	1,2°	16	1,7°	12	1,6°	12	1,3°	12	1,5°
Juli	14	1,2°	8	1,9°	5	0,7°	5	1,3°	8	1,3°
August	1	1,3°	1	2,0°	1	1,6°	2	0,9°	1	1,0°
September	—	—	—	—	—	—	3	0,9°	1	0,9°
Jahresmittel	58	1,4°	47	1,5°	37	1,3°	48	1,4°	48	1,4°

<sup>1)</sup> Die angegebenen Temperaturdifferenzen bedeuten jeweilen das Mittel der betreffenden Zahl von Beobachtungen.

Diese Temperatur-Umkehrungen kommen also fast ausschliesslich nur in den Perioden der steigenden Temperaturen vor, und zwar sowohl nach Zahl der Morgen als nach dem Betrag des Temperaturübertruffes der Luft am ausgeprägtesten vom April bis in den Juli hinein, für welche Monate durchschnittlich an zehn Morgen die Luft um fast  $1\frac{1}{2}$  Grad wärmer ist, als der See.

## 2. Die mittlere Tagestemperatur des Wassers am Ufer.

Naturgemäss steigt und fällt die Lufttemperatur und damit auch die Temperatur des Seewassers während eines Tages. Diese tägliche Aenderung ist beträchtlicher bei der Luft- als bei der Wassertemperatur. Nach Messungen, welche zur Zeit unter der Leitung von Professor Forel im Genfersee ausgeführt wurden, ist die Temperatur des Wassers im Mittel um die Zeit des Sonnenaufganges am niedrigsten, steigt dann bis gegen Abend zum Maximalwerte an, um von da an bis zum folgenden Morgen wieder abzunehmen. Sowohl um die Mitternachtszeit, als um die Mittagszeit ist die Temperatur dem täglichen Mittel entsprechend. Aus diesem Grunde empfiehlt Forel die Seetemperatur-Beobachtungen jeweilen innert der Mittagszeit zwischen 11 und 1 Uhr anzustellen.

Die im vorigen Kapitel besprochenen täglichen Messungen im Küsnacherbecken, welche ausschliesslich zur Morgenzeit gemacht wurden, geben also Zahlen, welche nicht dem Tagesmittel, sondern eher dem Tagesminimum entsprechen. Wir halten dieselben dennoch für nicht minder wertvoll. Denn einerseits sind sie namentlich mehr befreit von den Zufälligkeiten des täglichen Witterungswechsels und den daherigen grösseren und geringeren mehr oder weniger zufälligen Temperaturschwankungen; andererseits entsprechen die Morgentemperaturen des Wassers am Ufer am besten auch der gleichzeitigen Temperatur des offenen Sees, da um die Morgenzeit, abgesehen von den extremen Temperaturen des Winters und Sommers, die Wassertemperatur am besten sich ausgeglichen hat. Aus diesen Gründen und um nicht die Einheitlichkeit in den Messungen zu stören, fand ich mich nicht veranlasst, diesbezüglich auf Aenderungen zu dringen.

Immerhin wollen wir versuchen, auf indirektem Wege wenigstens angenähert die Abweichung der mittleren Tagestemperatur des Sees von der vorstehend ermittelten mittleren Morgentemperatur zu bestimmen, unter Benutzung von vorhandenen Mittags- und Nachmittags-Beobachtungen. Es stehen freilich hiefür nur monatlich zwei Messungen für die drei Jahre 1899 bis 1901 zu Gebote, welche jeweilen anlässlich der Durchsichtigkeitsbestimmungen angestellt wurden. Diejenigen, welche in die Mittagszeit von 11 bis 1 Uhr fallen, können wir nach Forel unverändert in Rechnung stellen. Hingegen sind die Nachmittagsablesungen zu gross, weil in der Regel die Wassertemperatur bis gegen Abend weiter zunimmt. Ihre Abweichungen von der Morgentemperatur des betreffenden Tages können also nur mit einem Bruchteil in Rechnung gebracht werden. Würden die Beobachtungen sich auf die Nachmittagszeit bis zum Moment des Maximums der Seetemperatur gleichmässig verteilen, so wäre dieser Bruchteil, wie eine einfache geometrische Betrachtung lehrt, im Mittel zwei Drittel. Da aber der grössere Teil der Ablesungen auf die Zeit nach 3 Uhr fällt, also dem Temperatur-Maximum näher liegt, so nehmen wir von den Abweichungen dieser späteren Ablesungen von der Morgenablesung nur die Hälfte, welcher Koeffizient eigentlich nur den Maximaltemperaturen des Tages zukäme. Demnach werden die so berechneten Differenzen und damit auch die daraus abgeleitete mittlere Tagestemperatur wahrscheinlich eher etwas zu klein ausfallen. Der Fehler kann in Anbetracht der verhältnissmässig geringen täglichen Temperaturschwankungen des Wassers nicht gross sein.

Die auf diesem Wege ermittelten Zahlen sind folgende:

	<i>Morgentemp.</i>	<i>Differenz</i>	<i>Mittl. Tagestemp.</i>
Januar . . . . .	4,19°	0,44°	4,63°
Februar . . . . .	2,93°	0,87°	3,80°
März . . . . .	4,12°	2,33°	6,45°
April . . . . .	6,78°	1,91°	8,69°
Mai . . . . .	10,95°	1,28°	12,23°
Juni . . . . .	14,88°	1,64°	16,52°
Juli . . . . .	7,32°	1,58°	18,90°
August . . . . .	18,09°	1,51°	19,60°

	<i>Morgentemp.</i>	<i>Differenz</i>	<i>Mittl. Tagestemp.</i>
September . . . .	16,48 <sup>o</sup>	1,17 <sup>o</sup>	17,65 <sup>o</sup>
Oktober . . . . .	12,79 <sup>o</sup>	0,26 <sup>o</sup>	13,05 <sup>o</sup>
November . . . .	9,02 <sup>o</sup>	0,41 <sup>o</sup>	9,43 <sup>o</sup>
Dezember . . . .	5,80 <sup>o</sup>	0,44 <sup>o</sup>	6,24 <sup>o</sup>
Winter (Dez.-Febr.)	4,31 <sup>o</sup>	0,58 <sup>o</sup>	4,89 <sup>o</sup>
Frühling (März-Mai)	7,28 <sup>o</sup>	1,84 <sup>o</sup>	9,12 <sup>o</sup>
Sommer (Juni-Aug.)	16,76 <sup>o</sup>	1,58 <sup>o</sup>	18,34 <sup>o</sup>
Herbst (Sept.-Nov.)	12,76 <sup>o</sup>	0,61 <sup>o</sup>	13,38 <sup>o</sup>
Jahr . . . . .	10,28 <sup>o</sup>	1,15 <sup>o</sup>	11,43 <sup>o</sup>

Wie oben bemerkt, sind die Zahlen der zweiten und also auch der dritten Kolonne nur angenäherte und provisorische, und zwar wahrscheinlich eher etwas zu klein als zu gross. Dass aber auch diese aus einer verhältnismässig kleinen Zahl von Beobachtungen — nämlich 6 auf jeden Monat, verteilt auf drei Jahre -- abgeleiteten Zahlen brauchbar sind, zeigte der angestellte Versuch, auf die gleiche Weise auch die mittleren Morgentemperaturen nur aus je zwei monatlichen Messungen, entsprechend den obigen, abzuleiten. Diesen so erhaltenen Zahlen haften freilich für die einzelnen Monatsmittel Fehler an, welche im Maximum bis auf 17% des Gesamtbetrages, für das Jahresmittel aber nur 3% betragen<sup>1)</sup>. Da es sich aber bei obiger Berechnung nur um die *Korrekturen* handelt, die den Morgentemperaturen zuzufügen sind, so würden sich nach diesem Massstabe an denselben und also auch an den Tagesmitteln Fehler von höchstens einem halben Zehntelsgrad für das Jahresmittel, und bis höchstens vier Zehntelsgrad für einzelne Monate ergeben.

Bei Abrundung auf eine Dezimale dürfen also die obigen indirekt ermittelten mittleren Tagestemperaturen vorläufig brauchbar und annehmbar sein.

### 3. Pelagische Temperatur des Küssnacherbeckens.

Unter der *pelagischen* Temperatur versteht man die Wassertemperatur der Oberfläche des offenen Sees, also im Gegensatz zu derjenigen am Ufer. Zur Bestimmung der mittleren pela-

<sup>1)</sup> Diese Näherungsrechnung ergab nämlich als Jahresmittel der Morgentemperatur 9,96<sup>o</sup>, statt 10,28<sup>o</sup> nach pag. 11.

gischen Temperatur des Küssnacherbeckens müssen wir denselben indirekten Weg einschlagen, wie vorstehend für die Bestimmung der mittleren Ufer-temperatur<sup>1)</sup>. Hiefür besitzen wir ein vierjähriges Beobachtungsmaterial mit monatlich ebenfalls je zwei Mittags- und Nachmittagsmessungen der Oberflächentemperatur in Mitte der Seebucht von Küssnach, zirka 250—300 m vom Ufer entfernt, bei einer Seetiefe von ungefähr 20 m, so dass im ganzen auf jeden Monat acht Messungen kommen. Ermitteln wir an Hand dieses Materials wieder die jeweilige durchschnittliche Abweichung der mittleren pelagischen Temperatur von der Morgentemperatur nach denselben Voraussetzungen, wie vorstehend bei Ermittlung der mittleren Ufer-temperatur, so erhalten wir folgende Resultate:

	<i>Morgentemp. am Ufer</i>	<i>Differenz</i>	<i>Mittl. pelag. Temp.</i>
Januar . . . . .	4,19 °	0,40 °	4,59 °
Februar . . . . .	2,93 °	0,64 °	3,57 °
März . . . . .	4,12 °	0,73 °	4,85 °
April . . . . .	6,78 °	0,83 °	7,61 °
Mai . . . . .	10,95 °	0,81 °	11,76 °
Juni . . . . .	14,88 °	1,27 °	16,15 °
Juli . . . . .	7,32 °	1,26 °	18,58 °
August . . . . .	18,09 °	1,05 °	19,14 °
September . . . . .	16,48 °	0,62 °	17,10 °
Oktober . . . . .	12,79 °	0,18 °	12,97 °
November . . . . .	9,02 °	0,35 °	9,37 °
Dezember . . . . .	5,80 °	0,75 °	6,55 °
Winter (Dez.-Febr.)	4,31 °	0,60 °	4,91 °
Frühling (März-Mai)	7,28 °	0,79 °	8,07 °
Sommer (Juni-Aug.)	16,76 °	1,19 °	17,95 °
Herbst (Sept.-Nov.)	12,76 °	0,38 °	13,14 °
Jahr . . . . .	10,28 °	0,74 °	11,02 °

<sup>1)</sup> Im Programme der limnologischen Kommission war vorgesehen, täglich einmal zwischen 11 und 1 Uhr in den verschiedenen Bassins die Temperatur des Sees durch die Kapitäne der kursierenden Dampfschiffe messen zu lassen, ähnlich wie dies in den Jahren 1889 bis 1891 im Bodensee auf Veranlassung von Forel geschehen war. Dieser Modus war aber aus praktischen Gründen auf dem Vierwaldstättersee mit seiner starken Fremdenfrequenz bei verhältnissmässig viel kürzeren Routen nicht durchführbar.

Diese Zahlen dürfen noch auf einen merklich grösseren Genauigkeitsgrad Anspruch machen, als die im vorstehenden Kapitel indirekt ermittelten Zahlen. Denn einerseits ist die Beobachtungszeit um ein Jahr grösser, andererseits entfernt sich die pelagische Temperatur weniger als die mittlere Ufertemperatur von der Morgentemperatur des Uferwassers.

Statt der Abweichung der pelagischen Temperatur von der Morgentemperatur am Ufer könnten wir auch diejenige der ersteren von der vorher bestimmten mittleren Tagestemperatur bestimmen. Hiefür stehen uns freilich nur dreijährige Beobachtungen zu Gebote, weil erst seit Januar 1899 die Ufertemperaturen zur Mittags- bzw. Nachmittagszeit gleichzeitig mit den pelagischen Temperaturen gemessen wurden. Trotzdem ergibt auch dieser Berechnungsmodus sehr geringe Abweichungen von den obstehend auf Grund vierjähriger Beobachtungen abgeleiteten Zahlen. Zum Vergleich wollen wir auch diese Zahlen mitteilen.

	<i>Mittl. Ufertemp.</i>	<i>Differenz</i>	<i>Mittl. pelag. Temperatur</i>
Januar	4,63 °	— 0,10 °	4,53 ° statt wie oben 4,59 °
Februar	3,80 °	— 0,34 °	3,46 ° „ 3,57 °
März	6,45 °	— 1,27 °	5,18 ° „ 4,85 °
April	8,69 °	— 1,08 °	7,61 ° „ 7,61 °
Mai	12,23 °	— 0,44 °	11,79 ° „ 11,76 °
Juni	16,52 °	— 0,46 °	16,06 ° „ 16,15 °
Juli	18,90 °	— 0,37 °	18,53 ° „ 18,58 °
August	19,60 °	— 0,57 °	19,03 ° „ 19,14 °
September	17,65 °	— 0,48 °	17,17 ° „ 17,10 °
Oktober	13,05 °	— 0,13 °	12,92 ° „ 12,97 °
November	9,43 °	— 0,09 °	9,34 ° „ 9,37 °
Dezember	6,24 °	— 0,05 °	6,19 ° „ 6,55 °

Erhebliche Abweichungen zeigen also in den zwei letzten Kolonnen nur die Zahlen für die Monate Dezember bis März.

#### 4. Uebersicht der sich ergebenden Mitteltemperaturen.

Zum Schlusse dieses Abschnittes wollen wir die im vorstehenden für das Küssnacherbecken erhaltenen Mittelzahlen sowohl für die Luft-, als auch für die Seetemperaturen in

folgender Uebersicht zusammenstellen, um an Hand derselben noch einige Reflexionen anzustellen. Freilich ermangeln wir hiebei der Zahlen für die mittlere Temperaturen der Luft. Wir dürften aber nicht weit fehlgehen, wenn wir in diese Lücke die entsprechenden Zahlen der meteorologischen Station Luzern und zwar für die gleichen vier Jahre 1898 bis 1901 einstellen, welche wir der gefälligen Mitteilung von Professor Arnet verdanken.

**Tabelle II.**

Uebersicht der mittleren Luft- und Seetemperaturen des Küssnacherbeckens für die Jahre 1898--1901.

	Morgentemperaturen (am Ufer)		Tagesmittel der Temperaturen		Mittlere pelagische Temperatur des Sees
	der Luft	des Sees	der Luft (Luzern)	des Sees (am Ufer)	
	0	0	0	0	0
Januar . . . . .	— 0,01	4,19	0,65	4,63	4,59
Februar . . . . .	— 1,47	2,93	0,68	3,80	3,57
März . . . . .	+ 0,71	4,12	3,08	6,45	4,85
April . . . . .	5,95	6,78	8,32	8,69	7,61
Mai . . . . .	10,53	10,95	12,40	12,23	11,76
Juni . . . . .	13,93	14,88	16,50	16,52	16,15
Juli . . . . .	16,30	17,32	18,38	18,90	18,58
August . . . . .	15,56	18,09	17,70	19,60	19,14
September . . . . .	13,48	16,48	14,75	17,65	17,10
Oktober . . . . .	8,50	12,79	9,50	13,05	12,97
November . . . . .	3,35	9,02	4,18	9,43	9,37
Dezember . . . . .	— 0,53	5,80	0,35	6,24	6,55
Winter (Dez.-Febr.)	— 0,61	4,31	0,56	4,89	4,91
Frühling (März-Mai)	+ 5,70	7,28	7,93	9,12	8,07
Sommer (Juni-Aug.)	15,26	16,77	17,53	18,34	17,95
Herbst (Sept.-Nov.)	8,44	12,78	9,48	13,38	13,14
Jahr . . . . .	7,19	10,28	8,87	11,43	11,02

Wir verweisen gleichzeitig nochmals auf die betreffenden graphischen Darstellungen der Tafel II. der Beilage. Wie diese zeigen, sind die Temperaturkurven *Sinuslinien*, deren Axen so ziemlich in die Linien der Jahresmittel fallen.

Ueber die Lage der Maxima und Minima der mittleren Tagestemperaturen, sowie der mittleren pelagischen Temperatur

gilt dasselbe, was oben bezüglich der Morgentemperaturen gesagt worden ist.

Wie schon im vorhergehenden hervorgehoben wurde, ist in der Regel die Ufertemperatur des Sees eine höhere als die pelagische. Nach obstehenden Zahlen beträgt für das Tagesmittel dieser Unterschied, auf eine Dezimale abgerundet, für:

Januar	0,0°	Juli	0,3°
Februar	0,2°	August	0,5°
März	1,6°	September	0,6°
April	1,1°	Oktober	0,1°
Mai	0,5°	November	0,1°
Juni	0,4°	Dezember	— 0,3°

ferner für:

Winter	0,0°	Sommer	0,4°
Frühling	1,2°	Herbst	0,2°

Jahr 0,4°

Verhältnismässig am stärksten erwärmt sich also das Wasser am Ufer des Sees gegenüber demjenigen auf dem offenen See im Frühling, besonders im März und April; am geringsten ist die Abweichung im Winter und kann sich zeitweise (nach obigen Zahlen im Dezember) in eine Umkehrung verwandeln, sodass das Uferwasser kälter wird, als das Wasser des offenen Sees. Ein sekundäres Maximum der Differenz beider Temperaturen finden wir im September und ein sekundäres Minimum derselben im Juli. Demnach fallen also zwei Maxima in die Zeit der Aequinoktien, zwei Minima in die Zeit der Solstitien.

Es scheint dieser Verlauf nicht ganz zufällig zu sein. Derselbe dürfte seinen Grund in der verhältnismässig rascheren Zu- und Abnahme der Tageslänge und damit auch der Luft- und Wassertemperaturen um die Zeit der Aequinoktien haben. Bei der Ufertemperatur kommt dieser Einfluss besonders im Frühjahr bei steigender Temperatur rascher zur Geltung als bei der pelagischen Temperatur.

Ueber das Mass der Zu- bzw. Abnahme der mittleren See- und Lufttemperatur zu den verschiedenen Zeiten des Jahres geben nachfolgende Zahlen nähere Auskunft. Es beträgt im Durchschnitt die

Temperaturzunahme bezw. Abnahme  
*der Luft:* *des Sees:*

	<i>per Monat</i>	<i>pr. 24 Stdn.</i>	<i>per Monat</i>	<i>pr. 24 Stdn.</i>
Januar bis Februar	+ 0,0 <sup>0</sup>	+ 0,00 <sup>0</sup>	— 1,0 <sup>0</sup>	+ 0,03 <sup>0</sup>
Februar bis März	+ 2,4 <sup>0</sup>	+ 0,08 <sup>0</sup>	+ 1,3 <sup>0</sup>	+ 0,04 <sup>0</sup>
März bis April	+ 5,2 <sup>0</sup>	+ 0,17 <sup>0</sup>	+ 2,8 <sup>0</sup>	+ 0,09 <sup>0</sup>
April bis Mai	+ 4,1 <sup>0</sup>	+ 0,14 <sup>0</sup>	+ 4,2 <sup>0</sup>	+ 0,14 <sup>0</sup>
Mai bis Juni	+ 4,1 <sup>0</sup>	+ 0,14 <sup>0</sup>	+ 4,4 <sup>0</sup>	+ 0,14 <sup>0</sup>
Juni bis Juli	+ 1,9 <sup>0</sup>	+ 0,06 <sup>0</sup>	+ 2,4 <sup>0</sup>	+ 0,08 <sup>0</sup>
Juli bis August	— 0,7 <sup>0</sup>	— 0,02 <sup>0</sup>	+ 0,6 <sup>0</sup>	+ 0,02 <sup>0</sup>
August bis September	— 2,9 <sup>0</sup>	— 0,10 <sup>0</sup>	— 2,0 <sup>0</sup>	— 0,07 <sup>0</sup>
September bis Oktober	— 5,3 <sup>0</sup>	— 0,18 <sup>0</sup>	— 4,1 <sup>0</sup>	— 0,14 <sup>0</sup>
Oktober bis November	— 5,3 <sup>0</sup>	— 0,18 <sup>0</sup>	— 3,6 <sup>0</sup>	— 0,12 <sup>0</sup>
November bis Dezember	— 3,8 <sup>0</sup>	— 0,13 <sup>0</sup>	— 2,8 <sup>0</sup>	— 0,09 <sup>0</sup>
Dezember bis Januar	+ 0,3 <sup>0</sup>	+ 0,01 <sup>0</sup>	— 2,0 <sup>0</sup>	— 0,07 <sup>0</sup>

Die Zunahme der Lufttemperatur ist also am stärksten von März bis April, während das Maximum der Zunahme der Seetemperatur erst ein bis zwei Monate später eintritt. Im Herbst hingegen fallen die Maxima der Temperaturabnahme der Luft und des Sees so ziemlich zusammen.

Zieht man sodann die Temperatur des Sees und diejenige der Luft in Vergleich, so ergeben sich folgende mittlere Differenzen:

*Uebertruff der Seetemperatur über die Lufttemperatur  
 am Morgen am Ufer, im tiefen See*

Januar . . . . .	4,2 <sup>0</sup>	3,9 <sup>0</sup>
Februar . . . . .	4,4 <sup>0</sup>	2,9 <sup>0</sup>
März . . . . .	3,4 <sup>0</sup>	1,8 <sup>0</sup>
April . . . . .	0,8 <sup>0</sup>	— 0,7 <sup>0</sup>
Mai . . . . .	0,5 <sup>0</sup>	— 0,6 <sup>0</sup>
Juni . . . . .	1,0 <sup>0</sup>	— 0,4 <sup>0</sup>
Juli . . . . .	1,0 <sup>0</sup>	+ 0,2 <sup>0</sup>
August . . . . .	2,5 <sup>0</sup>	1,4 <sup>0</sup>
September . . . . .	3,0 <sup>0</sup>	2,4 <sup>0</sup>
Oktober . . . . .	4,3 <sup>0</sup>	3,5 <sup>0</sup>
November . . . . .	5,7 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>
Dezember . . . . .	6,3 <sup>0</sup>	6,2 <sup>0</sup>

*Uebertruff der Seetemperatur über die Lufttemperatur  
am Morgen am Ufer, im tiefen See*

Winter (Dez.-Febr.) . . . . .	5,0 <sup>0</sup>	4,4 <sup>0</sup>
Frühling (März-Mai) . . . . .	1,6 <sup>0</sup>	0,1 <sup>0</sup>
Sommer (Juni-August) . . . . .	1,5 <sup>0</sup>	0,4 <sup>0</sup>
Herbst (Sept.-Nov.) . . . . .	4,3 <sup>0</sup>	3,7 <sup>0</sup>
Jahr . . . . .	3,1 <sup>0</sup>	2,1 <sup>0</sup>

Es ist also nicht nur am Morgen der See durchschnittlich das ganze Jahr wärmer als die Luft, wie gelegentlich bereits konstatiert worden ist, sondern es steht auch, mit Ausnahme der drei Monate April bis Juni, also während vollen drei Vierteln des Jahres, das Tagesmittel der Seetemperatur *über* demjenigen der Lufttemperatur, so dass das Jahresmittel der Seetemperatur immer noch um gut zwei Grad grösser ist, als dasjenige der Lufttemperatur.

Am grössten ist die Wärmedifferenz im Dezember, in welchem Monat der See im Mittel um etwas zu 6 Grad wärmer ist, als die Luft. Von da an nähern sich diese beiden Temperaturen bis in den März immer mehr. Im April sinkt die Seetemperatur etwas unter die Lufttemperatur; doch beträgt diese Depression im Mittel nur zirka 0,5 Grad. Vom Juni an übersteigt die Temperatur des Sees wieder diejenige der Luft und zwar in beschleunigt wachsendem Masse bis zum angegebenen Maximalbetrage im Dezember.

Teilt man das Jahr in zwei Hälften, von denen die eine die Jahreszeiten Herbst und Winter, d. h. die Monate September bis Februar, die andere Frühling und Sommer oder die Monate März bis August umfasst, so ist während der ersten, kälteren Jahreshälfte der See im Mittel 4 Grad wärmer als die Luft, hingegen während der zweiten, wärmeren Jahreshälfte steht die mittlere Seetemperatur unwesentlich (in den Beobachtungsjahren durchschnittlich um  $\frac{1}{4}$  Grad) höher als die Lufttemperatur. Es erfolgt aber die Aufspeicherung der Wärme im See nur während der warmen Jahreszeit. Also können wir aus Obigem, zusammengehalten mit dem schon früher betreffend die Morgentemperaturen Gesagten, die Schlussfolgerung ziehen:

*Der See ist ein Reservoir sowohl für die im Laufe eines Tages angesammelte Wärme, zur Abgabe an die kühlere Zeit der Nacht, als auch für die im Laufe der zwei warmen Jahreszeiten Frühling und Sommer angesammelte Wärme, behufs Abgabe derselben an die Luft in den folgenden beiden kälteren Jahreszeiten Herbst und Winter.*

Bei der bedeutenden Flächenausdehnung und Wassermasse des Sees ist dieser temperatenausgleichende Faktor für die klimatischen Verhältnisse der Uferzonen desselben von ganz erheblicher Bedeutung, und zwar im günstigen Sinne für die Vegetation, weil dieser Einfluss dahin tendiert, raschen Temperaturdepressionen entgegen zu wirken und dieselben auszugleichen <sup>1)</sup>.

Weitere interessante Aufschlüsse in dieser Hinsicht wird uns der dritte Teil unserer Untersuchungen, die Tiefentemperaturen betreffend, bieten.

## **II. Oberflächen-Temperaturen im Luzerner Seebecken.**

### **1. Mittlere Ufertemperatur in Luzern.**

Wir besitzen für das Luzerner Seebecken freilich nicht gleich umfangreiches Beobachtungsmaterial, wie für das Küssnacherbecken. Nachdem ich seit Dezember 1898, soweit möglich, die Gelegenheiten benutzt hatte, Messungen der Ufertemperaturen vorzunehmen, übernahm seit Anfangs April des folgenden Jahres Student Ed. Stirnimann die Aufgabe, regelmässig um die Mittagszeit die Wassertemperaturen zu messen und zwar an zwei Stellen des Seeufers, nämlich am Schwanen- und am Kurhausquai. Diese Beobachtungen wurden, mit einigen zeitweisen Unterbrechungen infolge von Kränklichkeit des Beobachters, etwas über ein Jahr fortgesetzt. Füllen wir die Lücken durch gleichmässige Interpolation aus, so erhalten wir an Hand dieses Materials folgende Mittelzahlen (Tabelle III.) Die Zahl der Tage eines Monats mit direkten Messungen sind darin jeweilen in Parenthesen beigesetzt.

---

<sup>1)</sup> Man vergl. diesbezüglich auch die betreffenden Nachweise für den Genfersee von Forel in „Leman“ II, p. 322 ff.

**Tabelle III.**

Übersicht der mittleren Ufertemperaturen des Sees in Luzern.

Erstes Beobachtungs-Jahr		Schwanen- quai <sup>1)</sup>	Kurhaus- quai	Zweites Beobachtungs-Jahr		Schwanen- quai	Kurhaus- quai
1898	Dezember (11) . .	0	0	1899	Dezember (28) . .	0	0
1899	Januar (15) . . .	7,11	—	1900	Januar (29) . . .	5,62	5,51
	Februar (17) . . .	5,19*	—		Februar (14) . . .	4,98	4,83
	März (11) . . . .	4,82*	—		März (19) . . . .	5,21	5,34
	April (28) . . . .	6,23	6,23		April (7) . . . . .	4,92	4,92
	Mai (20) . . . . .	7,08	7,62		Mai (12) . . . . .	6,76	6,26
	Juni (19) . . . . .	11,77	11,91		Juni (15) . . . . .	11,29	11,28
	Juli (26) . . . . .	16,47	16,56		—	17,21	17,29
	August (26) . . . .	17,38	17,78		—	—	—
	September (28) . .	19,44	19,66		—	—	—
	Oktober (31) . . .	16,66	16,92		—	—	—
	November (30) . .	12,07	12,88		—	—	—
	Winter (Dez.-Febr.)	9,69	9,67		—	—	—
	Frühling (März-Mai)	5,71	—		Winter (Dez.-Febr.)	5,27	5,23
	Sommer (Juni-Aug.)	8,36	8,59		Frühling (März-Mai)	7,66	8,49
	Herbst (Sept.-Nov.)	17,76	18,00		—	—	—
1898—99	Jahr . . . . .	12,81	13,16	1899—1900	Jahr (IV—III) . .	—	—
		11,16	—			10,94	11,14

Mit Ausnahme der der kalten Jahreszeit angehörenden Monate November bis Januar ist die Seetemperatur an dem mehr geschützten Ufer beim Kurhaus etwas höher als am Schwanenquai; im Winter kehrt sich das Verhältnis um.

Ein Vergleich mit der Ufertemperatur für Küsnach wird dadurch erschwert, dass dort Morgen- und hier Mittagsbeobachtungen vorliegen. Immerhin genügt das beiderseits vorhandene Beobachtungsmaterial, um konstatieren zu können, dass zwischen den Ufertemperaturen des Sees bei Küsnach und bei Luzern keine grössere Abweichungen bestehen, als zwischen verschiedenen Stellen des Ufers von Luzern selber. Zieht man z. B. für den Zeitraum des Jahres: April 1899 bis März 1900, für den das Inzernische Beobachtungsmaterial am

<sup>1)</sup> Die beiden mit \* bezeichneten Zahlen betreffen Messungen beim Du-Lac. Laut vereinzelter Kontrollmessungen stimmen die Temperaturen für die betreffenden zwei Monate ziemlich mit denjenigen am Schwanenquai.

vollständigsten ist, dieses in Vergleich mit den Küssnacher Messungen derselben Periode (letztere auf die oben angegebene Weise auch auf die Mittagszeit reduziert), so ergeben sich kaum nennenswerte Differenzen. Es beträgt nämlich die

mittlere Ufertemperatur des Sees am Mittag  
*in Luzern:* *in Küssnach:*<sup>1)</sup>

	<i>Schwanenquai</i>	<i>Kurhausquai</i>	<i>Schiffslände</i>
1899 April	7,08 <sup>0</sup>	7,62 <sup>0</sup>	8,65 <sup>0</sup>
Mai	11,77 <sup>0</sup>	11,91 <sup>0</sup>	11,49 <sup>0</sup>
Juni	16,47 <sup>0</sup>	16,56 <sup>0</sup>	15,56 <sup>0</sup>
Juli	17,38 <sup>0</sup>	17,78 <sup>0</sup>	17,98 <sup>0</sup>
August	19,44 <sup>0</sup>	19,66 <sup>0</sup>	19,29 <sup>0</sup>
September	16,66 <sup>0</sup>	16,92 <sup>0</sup>	18,18 <sup>0</sup>
Oktober	12,07 <sup>0</sup>	12,88 <sup>0</sup>	12,56 <sup>0</sup>
November	9,69 <sup>0</sup>	9,67 <sup>0</sup>	10,05 <sup>0</sup>
Dezember	5,62 <sup>0</sup>	5,51 <sup>0</sup>	6,14 <sup>0</sup>
1900 Januar	4,98 <sup>0</sup>	4,83 <sup>0</sup>	4,96 <sup>0</sup>
Februar	5,21 <sup>0</sup>	5,34 <sup>0</sup>	4,81 <sup>0</sup>
März	4,92 <sup>0</sup>	4,92 <sup>0</sup>	5,92 <sup>0</sup>
Jahr	10,94 <sup>0</sup>	11,14 <sup>0</sup>	11,30 <sup>0</sup>

Da die Küssnacher Mittagstemperaturen nur indirekt aus den Morgentemperaturen an Hand von monatlich zwei Beobachtungen desselben Jahres hergeleitet sind, so können dieselben besonders für die Zeit mit steigender Temperatur und grösseren Tagesschwankungen nur auf angenäherte Richtigkeit Anspruch machen; auch die grössere Abweichung vom September (1,26<sup>0</sup>) dürfte hierin ihren Grund haben, also eine zufällige sein.

## 2. Pelagische Temperatur des Luzerner Seebeckens.

Für die pelagische Temperatur stehen uns nur vereinzelte und zwar monatlich zwei- bis höchstens viermalige Messungen für die Jahre 1898 und 1899 zu Gebote, teils eigene, teils von

<sup>1)</sup> Diese Zahlen beziehen sich nur auf das angeführte Jahr 1898/99, während die oben p. 15/16 angeführten die Mittelzahlen einer vierjährigen Periode sind.

Dr. A. Steiger jeweilen anlässlich der Durchsichtigkeitsmessungen, und zwar in der Regel zwischen ein und zwei Uhr nachmittags ausgeführt. Im Jahre 1898 wurden damit auch die Ufer-temperaturmessungen verbunden. Diese Zahlen habe ich in der Weise verwendet, dass ich für jeden Monat zwischen die einzelnen durch direkte Beobachtung erhaltenen Zahlen noch so viele gleichmässig interpolierte, dass auf jeden Monat wenigstens vier Zahlen in annähernd gleichen Zeitabständen kamen. Die arithmetischen Mittel der so erhaltenen Zahlen sind folgende:

	Mittl. Ufertemperatur		Mittl. pelag. Temperatur		
	1898	1899	1897	1898	1899
Januar . . . . .	—	4,7 <sup>0</sup>	—	4,3 <sup>0</sup>	4,9 <sup>0</sup>
Februar . . . . .	—	5,3 <sup>0</sup>	—	3,6 <sup>0</sup>	5,3 <sup>0</sup>
März . . . . .	—	6,7 <sup>0</sup>	—	4,3 <sup>0</sup>	6,7 <sup>0</sup>
April . . . . .	—	9,6 <sup>0</sup>	—	7,2 <sup>0</sup>	9,6 <sup>0</sup>
Mai . . . . .	—	11,6 <sup>0</sup>	—	11,4 <sup>0</sup>	11,6 <sup>0</sup>
Juni . . . . .	—	18,5 <sup>0</sup>	—	13,0 <sup>0</sup>	18,5 <sup>0</sup>
Juli . . . . .	—	20,6 <sup>0</sup>	—	16,7 <sup>0</sup>	20,9 <sup>0</sup>
August . . . . .	—	21,3 <sup>0</sup>	—	20,2 <sup>0</sup>	21,3 <sup>0</sup>
September . . . . .	—	16,7 <sup>0</sup>	—	17,8 <sup>0</sup>	17,0 <sup>0</sup>
Oktober . . . . .	—	14,7 <sup>0</sup>	—	14,3 <sup>0</sup>	13,6 <sup>0</sup>
November . . . . .	—	8,6 <sup>0</sup>	—	10,6 <sup>0</sup>	10,0 <sup>0</sup>
Dezember . . . . .	6,9 <sup>0</sup>	6,0 <sup>0</sup>	5,5 <sup>0</sup>	8,1 <sup>0</sup>	5,9 <sup>0</sup>
Winter (XII.-II.) . . . . .	—	5,6 <sup>0</sup>	—	4,5 <sup>0</sup>	6,1 <sup>0</sup>
Frühling (III.-V.) . . . . .	—	9,3 <sup>0</sup>	—	7,6 <sup>0</sup>	9,3 <sup>0</sup>
Sommer (VI.-VIII.) . . . . .	—	20,1 <sup>0</sup>	—	16,6 <sup>0</sup>	20,2 <sup>0</sup>
Herbst (IX.-XI.) . . . . .	—	13,3 <sup>0</sup>	—	14,2 <sup>0</sup>	13,5 <sup>0</sup>
Jahr . . . . .	—	12,1 <sup>0</sup>	—	10,7 <sup>0</sup>	12,3 <sup>0</sup>

Diese Zahlen sind, weil auf zu beschränktem Beobachtungsmaterial fussend, nur provisorische und angenäherte. Ferner sind dieselben deswegen etwas zu hoch zu taxieren, weil nur Nachmittagsbeobachtungen in Betracht fallen, während die mittlere Tagestemperatur um die Mittagszeit erreicht wird. Bemerkenswert hiebei ist immerhin der geringe Unterschied der pelagischen und der Ufertemperatur.

Letztere Erscheinung ist wohl nicht eine zufällige und scheint ihren Grund darin zu haben, dass infolge des überaus regen Dampfschiffverkehrs auf diesem Teil des Sees das Wasser fast fortwährend in Bewegung gehalten wird, so dass allfällige Differenzen der Ufer- und der pelagischen Temperatur sich rasch ausgleichen. In Küsnach ist dies weit weniger der Fall <sup>1)</sup>.

Es darf daher die mittlere pelagische Temperatur des Luzerner Seebeckens so ziemlich als übereinstimmend mit der mittleren dortigen Ufer-temperatur angenommen werden.

### III. Ufer- und pelagische Temperaturen der übrigen Becken des Vierwaldstättersees.

Das Beobachtungsmaterial für die übrigen Becken des Sees ist leider sehr dürftig und lückenhaft ausgefallen und genügt nur zum Teil zur Ableitung brauchbarer Mittelzahlen. Einerseits aus diesem Grunde und andererseits, weil die betreffenden Ablesungen zu summarisch gehalten sind, behalten wir die Beobachtungen von Weggis und Buochs vorläufig in der Mappe. In Brunnen und Gersau wurden infolge Weggangs der Beobachter die Messungen schon nach kurzer Zeit wieder eingestellt; ebenso wegen verschiedener Verumständungen auch in Flüelen, wo sie dann im Winter 1900 wieder aufgenommen und bis Ende Mai fortgeführt wurden. Wir geben im folgenden eine Uebersicht der aus diesen Beobachtungen abgeleiteten Monatsmittel unter Beifügung der Zahl der jeweiligen Messungen während eines Monats. Die Messungen wurden durchweg am Vormittag, in der Regel am Morgen um 8 Uhr herum, vorgenommen. Als Vergleichszahlen setzen wir die Mittelzahlen der Morgentemperaturen von Küsnach bei <sup>2)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Im Sommer kursieren im Luzernerbecken täglich grössere Schiff regelmässig über 50, im Winter zirka 30 mal, wozu noch die vielen Zwischenfahrten von einem Ufer zum andern und zur Werfte etc. kommen. Im Küsnacherbecken dagegen kursieren die Schiffe regelmässig nur 6 bis 8 mal.

<sup>2)</sup> Vergl. Tab. I, pag. 11.

**Tabelle IV.**  
Mittlere Wasser-Temperaturen verschiedener Seebecken.

Jahr	Monat	Küssnach	Hergiswil		Gersau			Brunnen		Flüelen		
		Ufertemp.	Zahl	Ufer-Tp.	Zahl	Ufer-Tp.	Pel. Tp.	Zahl	Ufer-Tp.	Zahl	Ufer-Tp.	Pel. Tp.
		0		0		0	0		0		0	0
1897	XII.	—	8	4,7	—	—	—	3	6,7	22	5,4	5,8
1898	I.	4,1	28	4,5	10	5,4	5,5	3	5,1	31	4,6	5,1
	II.	3,9	20	4,6	5	5,1	5,1	2	3,8	14	4,3	4,8
	III.	4,5	—	—	4	6,1	5,7	2	6,0	19	4,8	4,9
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	VI.	14,8	16	16,3	—	—	—	—	—	—	—	—
	VII.	15,8	17	18,2	—	—	—	—	—	—	—	—
	VIII.	18,9	15	19,9	—	—	—	—	—	—	—	—
	IX.	17,5	15	17,7	—	—	—	—	—	—	—	—
	X.	13,5	15	13,9	—	—	—	—	—	—	—	—
	XI.	10,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	XII.	6,8	8	7,3	—	—	—	—	—	—	—	—
	1899	I.	5,1	11	5,5	—	—	—	—	—	—	—
II.		1,9	8	5,1	—	—	—	—	—	—	—	—
III.		4,9	9	5,4	—	—	—	—	—	—	—	—
IV.		7,4	13	7,2	—	—	—	—	—	—	—	—
V.		10,8	9	12,5	—	—	—	—	—	—	—	—
VI.		13,8	11	17,1	—	—	—	—	—	—	—	—
VII.		17,4	10	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—
VIII.		18,9	10	20,9	—	—	—	—	—	—	—	—
IX.		16,6	9	17,4	—	—	—	—	—	—	—	—
X.		12,5	10	12,7	—	—	—	—	—	—	—	—
XI.		9,7	10	9,9	—	—	—	—	—	—	—	—
XII.		5,6	10	6,4	—	—	—	—	—	—	—	—
1900	I.	4,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	II.	4,4	—	—	—	—	—	—	—	20	5,1	5,3
	III.	4,4	—	—	—	—	—	—	—	24	4,8	5,2
	IV.	6,9	—	—	—	—	—	—	—	28	6,4	6,5
	V.	10,6	—	—	—	—	—	—	—	22	9,4	9,4

Ausser diesen Zahlen dürften auch die der nachfolgenden Tabelle V. geeignet sein, speziell über die gleichzeitigen pelagischen Temperaturen der einzelnen Seebecken einige Anhaltspunkte für den Vergleich zu bieten. Zu verschiedenen Malen wurden nämlich im Jahre 1898 und 1899 von Prof. Dr. Bachmann und mir auf der Route Luzern-Brunnen Oberflächen-temperaturen vom Dampfschiffe aus vorgenommen und zwar mit dem Mittags-Kursschiff, so dass die Messungen in die Zeit

Tabelle V.

Gleichzeitige Oberflächen-Temperaturen verschiedener Seebecken.

		1898	1899				1900			
		27. X.	23. II.	24. III.	27. II.	29. XI.	21. II.	23. V.	25. VIII.	3. XII.
		10-2	11-1	11-1	2-4	11-1	8-4	8-4	8-4	8-4
Luzernerbecken	Bahnhof Luzern	0 12,5	0 5,2	0 5,7	0 4,8	0 7,1	0 —	0 11,5	0 —	0 —
	Seefeld . . .	—	—	—	—	—	—	12,6	—	8,4
	Tribschen . .	—	—	5,4	—	—	—	13,2	—	8,8
	Meggenhorn .	12,8	5,3	—	—	8,6	—	12,6	—	8,8
Trichter	. . . . .	13,0	5,2	5,4	—	8,7	—	13,5	19,0	8,9
Weggiserbecken	Weggis . . .	13,0	5,4	5,2	—	8,8	5,2	12,8	18,8	8,8
	Viznau . . .	—	5,4	5,4	5,4	—	—	13,6	—	—
	Nase . . . .	13,1	5,6	—	—	8,9	—	—	—	—
Gersauerbecken	Rotschuh . .	—	5,4	5,4	—	8,5	—	—	—	—
	Buochs . . .	12,9	5,4	—	—	—	—	12,5	—	—
	Beckenried .	—	5,5	—	5,4	8,8	—	12,9	18,4	—
	Gersau . . .	13,2	5,6	—	5,4	8,9	5,4	13,2	—	8,8
	Treib . . . .	12,8	5,6	—	—	8,7	—	12,5	—	—
Flüelerbecken	Brunnen . . .	—	5,6	—	5,3	8,8	—	12,0	—	—
	Sisikon . . .	—	5,6 <sup>1)</sup>	—	—	—	—	—	—	—
	Rütli . . . .	—	6,4	—	—	—	5,5	—	17,1	8,6
	Tellsplatte .	13,3	—	—	—	—	—	—	—	—
	Bauen . . . .	—	5,6	—	—	—	—	—	—	—
	Isleten . . .	—	5,6	—	—	—	—	—	—	—
Flüelen . . .	12,8	5,5	—	5,4	—	—	—	—	—	
Witterungs- charakter	Lufttemperatur	11-13	3,2-3,5	4,3-1,8	—	1,7-3,0	3,9-3,4	12,3-20,0	15,1-22,0	4,6-5,3
	Himmel, anfgl.	Nebel	hell	l. bed.	—	st. Nbl.	bed.	hell	tlw. bed.	g. bed.
	„ gegen Ende	Sonne	„	Schnee- gestöb.	—	„	Schnee- gestöb.	Wind	tlw. Sonne	„

zwischen 10 bzw. 11 und 1 Uhr fallen. Die so erhaltenen Temperaturen können also als Tagesmittel angesehen werden. Es wurde an verschiedenen Stellen des Sees jeweilen durch einen Schiffsmatrosen mit einem vorher mit Seewasser ausgespülten hölzernen Eimer von der Vorderseite des Schiffes Oberflächenwasser auf das Verdeck gehoben und dann sofort dessen Temperatur sorgfältig bestimmt. Im Jahre 1900 wurden

<sup>1)</sup> Messungen von Sisikon bis Flüelen den 23. II., ebenso von Luzern bis Flüelen den 27. II. 1899 von Kapitän K. Segesser. Derselbe bestimmte auch am 25. II. 1899 folgende Temperaturen der Zuflüsse des Flüelersees: Dorfbach Flüelen 2,5°, Giessen 6,6°, Reuss 1,4°.

ähnliche Messungen auf unseren Expeditionen mit dem „Schwan“ vorgenommen, da aber diese Expeditionen je einen vollen Tag in Anspruch nahmen, so verteilen sich die letzteren Messungen auch über eine entsprechend längere Zeit des Vor- und Nachmittags.

Aus allen diesen Beobachtungen ergeben sich keine sehr erheblichen Differenzen zwischen den pelagischen Temperaturen der verschiedenen Seebecken. In den Wintermonaten scheinen die inneren Teile des Sees: Flüeler- und besonders das sehr vom Nordwind geschützte Gersauerbecken um einige Zehntelsgrade wärmer zu sein, als das Küssnacher- und Luzernerbecken, wogegen in den wärmeren Jahreszeiten das Verhältnis eher das umgekehrte ist.

Damit soll natürlich nicht gesagt sein, dass auf dem See, besonders aber an den seichteren und geschützteren Ufern desselben, je nach der mehr oder weniger sonnigen Lage zeitweise erhebliche Differenzen sich einstellen können, wie schon der Vergleich zwischen Hergiswil und Küssnach zeigt. Es ist auch ein wesentlicher Unterschied, ob man das Thermometer vom Ufer oder von einer leichten Schaluppe aus ins Wassers eintaucht, oder ob man von einem Dampfschiffe aus mit dem Eimer Wasser schöpft, welcher in die vom Schiffskiel aufgewühlte Oberfläche des Sees eintaucht. Denn es zeigen sich, namentlich bei starker Insolation, oft Unterschiede von mehreren Graden zwischen der Temperatur an der von der Luft berührten Oberfläche und der unmittelbar untenliegenden Wasserschicht. So ergab z. B. eine Temperaturmessung am 4. Juni 1899 auf dem Trichter, bei ruhigem, sonnigem Wetter von einem kleineren Schiffe aus, an der Oberfläche  $19,2^{\circ}$ , hingegen in einer Tiefe von zirka 2 Meter nur  $14,2^{\circ}$  (Lufttemperatur  $17,5^{\circ}$ ); ebenso eine solche im Gersauerbecken den 26. Mai gleichen Jahres, obwohl der Himmel bedeckt war, bei einer Lufttemperatur von  $13,5^{\circ}$ , an der Oberfläche  $12,5^{\circ}$ , hingegen schon bei zirka 1 Meter Tiefe nur  $10,1^{\circ}$ .

#### IV. Oberflächen-Temperaturen des Alpnachersees.

Der Alpnachersee ist nicht als ein Becken, sondern vielmehr als ein Annex des Vierwaldstättersees zu betrachten. Die Tiefe beträgt im Maximum 33 Meter. Das Wasser ist durch das zufließende Gebirgswasser der Aa vielfach sehr getrübt und die Fischer behaupten, die Tiefe habe infolge Schlammablagerung seit Mannsgedenken bei zwei Meter abgenommen. Dieser See zeigt daher in seinem ganzen physikalischen Verhalten vielfache Abweichungen von dem Vierwaldstättersee, mit dem er durch die zirka 200 m breite und 9 Meter tiefe überbrückte Einschnürung bei Stansstad verbunden ist.

**Tabelle VI.**

Mittlere Oberflächen-Temperaturen des Alpnachersees nebst Vergleichszahlen von Küsnach.

	1899				1900			
	Alpnach am Ufer	i. tief. See	Küsnach am Ufer	Differenz der Ufer- Tempera- turen	Alpnach am Ufer	i. tief. See	Küsnach am Ufer	Differenz der Ufer- Tempera- turen
Januar . . . . .	4,0	4,6	5,1	-1,1	3,2	3,3	4,7	- 1,5
Februar . . . . .	3,9	4,0	1,9	+2,0	3,9	3,8	4,4	-0,5
März . . . . .	6,6	6,6	4,9	1,7	4,9	4,9	4,4	+0,5
April . . . . .	8,2	8,4	7,4	0,8	7,0	7,0	6,9	0,1
Mai . . . . .	12,6	12,5	10,8	1,8	12,7	12,6	10,6	2,1
Juni . . . . .	16,7	16,4	13,8	2,9	17,7	17,7	15,6	2,1
Juli . . . . .	19,8	19,6	17,4	2,4	19,1	19,1	18,4	0,7
August . . . . .	20,7	20,8	18,9	1,8	19,9	19,9	17,3	2,6
September . . . . .	17,1	17,1	16,6	0,5	18,2	18,2	16,6	1,6
Oktober . . . . .	12,2	12,2	12,5	-0,3	15,7	15,7	13,4	2,3
November . . . . .	8,4	8,4	9,7	-1,3	9,4	9,4	8,3	1,1
Dezember . . . . .	5,5	5,5	5,6	-0,1	6,4	6,4	5,4	1,0
Winter (XII.—II.) . . . . .	4,47	4,70	4,18	+0,29	4,50	4,50	4,50	-0,30
Frühling (III.—V.) . . . . .	9,13	9,17	7,69	1,44	8,20	8,20	7,29	+0,91
Sommer (VI.—VIII.) . . . . .	19,07	18,93	16,71	2,36	18,90	18,90	17,08	1,82
Herbst (IX. XI.) . . . . .	12,57	12,57	12,93	-0,36	14,43	14,43	12,76	1,67
Jahr . . . . .	11,31	11,34	10,38	0,93	11,51	11,51	10,48	1,03

Hr. Rob. Winkler, damals Direktor der Pilatusbahn, hatte die Freundlichkeit, während der zwei Jahre 1899 und 1900 neben den Durchsichtigkeits- und Farbestimmungen monatlich

regelmässig zwei Messungen der Oberflächen-Temperaturen, am Ufer bei Alpnach sowie im tiefen See bei Wolfertsbach, vorzunehmen und zwar in der Regel morgens 9 Uhr oder kurz nachher, in ziemlich gleichen Zeitabständen, je eine um die Mitte, die andere gegen Ende eines Monates. Aus diesen Messungen wurden durch gleichmässige Interpolation noch einige Zwischentemperaturen und daraus die mittleren Monatstemperaturen bestimmt, die selbst für die Zeit der grössten Veränderlichkeit der Temperaturen bis auf wenige Zehntelsgrad zuverlässig sein dürften. Die Ergebnisse sind in Tabelle VI. in Uebersicht zusammengestellt, wobei wieder behufs Vergleiches mit der Temperatur des Hauptsees für die betreffenden Jahre die Mittelzahlen der Morgentemperaturen von Küssnach beigesetzt werden.

Der Alpnachersee erzeigt sich in den Sommermonaten erheblich wärmer, dagegen in der kälteren Jahreszeit etwas kälter als der Vierwaldstättersee. Der Ausgleich scheint im Oktober und März stattzufinden; dieser Zeitpunkt, ebenso auch die Maximalbeträge der Temperatur-Abweichungen nach oben und nach unten, variieren naturgemäss mit dem Charakter der Jahrgänge.

Die pelagische Temperatur des Alpnachersees weicht wenig oder nichts von der Ufertemperatur bei Alpnachstad ab, wie obige Zahlen zeigen.



## Zweiter Teil.

---

### Die Transparenzverhältnisse des Vierwaldstättersees.

Nach der Untersuchung über die Oberflächen-Temperaturen wenden wir uns zu denjenigen der physikalischen Erscheinungen der innern Wassermasse, und zwar zunächst der Transparenz oder Durchsichtigkeit des Wassers der verschiedenen Becken des Sees.

Die Klarheit des Wassers wird naturgemäss bestimmt durch die Grenze der Sichtbarkeit eines eingetauchten hellen Körpers. Diese Methode wurde aber erst durch den Jesuiten-Pater A. Secchi in Rom in einer wissenschaftlichen Weise angewendet bei Anlass der Meeresforschungen, welche derselbe im Jahre 1865 an Bord der päpstlichen Corvette „l'Immacolata Concezione“ im Mittelmeer unternahm. Forel hat dieselbe sodann auch für seine Landsee-Untersuchungen verwendet, doch, da hier die Bedingungen andere sind, mit wesentlich reduzierten und vereinfachten Apparaten. Diese wurden dann auch von der limnologischen Kommission des Vierwaldstättersees akzeptiert. Bezüglich der Modifikationen des von uns verwendeten Apparates haben wir bereits einleitend berichtet.

Man könnte gegen die Massbestimmung der Grenze der Transparenz mittels der Secchischen Scheibe die Einwendung erheben, dass dabei das Licht die gemessene Dicke der Wasserschicht zweimal durchläuft, das eine Mal von oben nach unten, das andere Mal, von der Scheibe reflektiert, von unten nach oben, und dass daher die gefundene Masszahl nur die Hälfte oder einen andern Bruchteil der fraglichen Sichtbarkeitsgrenze bedeute.

Es wurden daher von der im Jahre 1884 von der Genfer Physikalischen Gesellschaft mit den Transparenz-Untersuchungen im Genfersee beauftragten Kommission auch Versuche mittelst Untertauchung elektrischer Lampen angestellt und dabei erheblich höhere Masszahlen der Transparenz erzielt (Leman II, p. 431 ff.).

Doch waren die Differenzen keineswegs proportional der Zunahme der Lichtstärke und ist nach der dortigen Erfahrung von dieser Methode wenigstens bei Seeuntersuchungen kein wesentlich anderes Resultat zu erwarten, als mit der Secchischen Scheibe <sup>1)</sup>. Zudem ist das Verfahren zu umständlich und kostspielig.

Während ferner Secchi bei den erwähnten Forschungen im Mittelländischen Meer, das sich durch seine ausserordentliche Durchsichtigkeit besonders auszeichnet, konstatierte, dass der Grad der Beleuchtung der eingetauchten Scheibe von wesentlichem Einfluss auf die Grenze der Sichtbarkeit war, hat Forel bei seinen Durchsichtigkeits-Bestimmungen im Genfer- und Bodensee gefunden, dass die wechselnde Stärke der Beleuchtung durch die Sonne bei klarem und weniger hellem Himmel und die verschiedene Höhe des Sonnenstandes über dem Horizonte, d. h. die grössere oder geringere Beleuchtung der eingetauchten Scheibe, sehr unerheblichen Einfluss auf die Sichtbarkeitsgrenze ausüben.

Der Grund dieser widersprechenden Erfahrungen liegt in der grossen Verschiedenheit der Trübung durch Fremdkörper. Im Meerwasser fehlen diese Beimischungen fast gänzlich; dagegen unsere Landseen sozusagen immer, besonders aber im Sommer, mehr oder weniger Beimischungen durch Zuflüsse erhalten. Es ist also bei letzteren weniger die Lichtabsorption durch das Wasser, als vielmehr das Vorhandensein einer in ihrer Dichtigkeit variierenden, im Wasser schwebenden Wolke von Stäubchen Ursache der geringeren oder grösseren Durchsichtigkeit. Die weisse Secchische Scheibe verschwindet daher nicht mit successiver Abnahme ihrer Helligkeit nach und nach, so dass der Moment des Verschwindens ein unsicherer wäre; vielmehr ist

---

<sup>1)</sup> Den 22. März 1904 machten Prof. Arnet und ich mit einem von Dr. A. Steiger in sehr zweckmässiger Weise arrangierten Apparat (Batterie von 6 Akkumulatoren und 11 Volt Strom) versuchsweise Transparenzmessungen in der Seeburgtiefe durch Versenken einer kleinen Glühlampe, verbunden mit einem versilberten Reflektor von 8 cm Durchmesser. Dieselben ergaben das gleiche Resultat, wie die Secchische Scheibe, nämlich 17 m. Seitherige Versuche bei Kehrsiten mit einem Reflektor aus blank verzinnem Eisenblech von 25 cm Durchmesser sollen 21,9 m Durchsichtigkeit (statt 17,7 m mit der Secchischen Scheibe) ergeben haben, wobei an der Grenze des Verschwindens nur noch diffuses Licht wahrnehmbar war. Seitherige Messungen ergaben für die Lichtstärke der verwendeten Glühlampe ohne Reflektor freilich nur eine Hefnerkerze, dagegen mit dem kleinen Reflektor 23, mit dem grossen 33 Kerzen.

dieses Verschwinden beim Versenken, sowie das Wiedererscheinen beim Hinaufziehen im betreffenden Moment ein fast plötzliches, ähnlich dem Verschwinden und Wiederauftauchen eines Gegenstandes in einer Nebelschicht. Am auffälligsten zeigte sich diese Tatsache bei der Messung am 10. Februar 1899 im stark getrübbten Alpnersee. Bei kaum 1,2 Meter Tiefe verschwand auf einmal die Scheibe mit einer fast verblüffenden Plötzlichkeit.

Bei der grösseren Klarheit des Sees im Winter ist freilich der Beleuchtungsgrad von einigem Einfluss; doch genügt auch für diesen Fall für die Transparenz-Messungen eine gute mittlere Tagesbeleuchtung.

Die von uns gemachten Erfahrungen bestätigen das Urteil Forels, dass die Secchische Methode für die Untersuchungen im Laboratorium der freien Natur eine ziemlich genügende und zweckmässige ist, abgesehen von der grossen Einfachheit des Apparates und dessen Handhabung. Aus denselben Gründen darf auch die Dimension der bei Seeuntersuchungen verwendeten Scheibe eine verhältnismässig sehr reduzierte sein. Während Secchi bei seinen Meeresuntersuchungen Scheiben von 2,4 m verwendete, fand Forel für seine Messungen im Léman solche von bloss 20 cm Durchmesser als vollkommen hinreichend. Unsere Scheibe misst 30 cm.

Notwendig und wichtig ist nur, dass dabei Lichtreflexe der Oberfläche des Wassers vom Auge abgehalten werden. Die Messungen sollen daher entweder im Schatten des Schiffes oder eines aufgespannten Schirmes und bei möglichst ruhigem See ausgeführt werden.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen geben wir in folgendem zunächst in übersichtlicher Zusammenstellung die Ergebnisse der in den verschiedenen Becken des Vierwaldstättersees vorgenommenen Transparenz-Messungen.

## **I. Transparenzmessungen im Küssnach-Luzerner Seebecken.**

Die nachfolgende Uebersichtstabelle VII. enthält die sehr lückenlose Beobachtungsserie Truttmanns im *Küssnachersee* vom Januar 1898 bis August 1902, nebst den daraus abgeleiteten Mittelzahlen, wobei zugleich auf deren graphische Darstellung auf Tafel II. und III. der Beilagen verwiesen wird.



In der *Luzerner Bucht* unternahm im Jahre 1898 Dr. Alfred Steiger regelmässig monatlich zwei Durchsichtigkeits-Messungen in der Würzenbachtiefe bei Seeburg jeweilen mittags kurz nach 1 Uhr. Zwischen hinein machte ich vereinzelt Messungen an

**Tabelle VIII.**  
Transparenzmessungen im Luzerner Seebecken.

Monate	1898								1899								1900					
	Seeburg		Meggenhorn		Weggis		Hergiswil		Seeburg		Meggenhorn		Trichter		Weggis		Hergiswil		Trichter <sup>1)</sup>		Matt	
	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m
I.	1.	9,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.	13,0	—	—	—	—	—	—
	15.	8,5	—	—	—	—	13.	15,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	29.	8,0	—	—	21.	15,0	—	—	29.	17,3	29.	17,3	—	—	28.	11,5	27.	12,0	—	—	—	—
II.	13.	13,5	—	—	—	—	11.	11,0	—	—	—	—	10.	14,5	17.	12,5	—	—	—	—	—	—
	27.	12,0	—	—	—	—	—	—	27.	14,7	27.	15,2	—	—	—	—	—	—	21.	(19,2)	21.	19,2
III.	13.	10,0	—	—	—	—	21.	9,5	—	—	—	—	—	—	10.	11,0	—	—	—	—	—	—
	27.	10,5	—	—	—	—	26.	12,0	—	—	—	—	—	—	—	—	27.	14,0	—	—	—	—
IV.	10.	13,5	—	—	—	—	—	—	18.	11,0	—	—	—	—	15.	12,0	—	—	—	—	—	—
	24.	13,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24.	12,0	30.	7,0	—	—	—	—
V.	7.	7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	21.	10,0	—	—	—	—	—	—	30.	11,6	—	—	30.	10,5	—	—	26.	9,0	23.	7,6	23.	7,4
VI.	5.	12,0	—	—	—	—	2.	5,5	—	—	5.	8,5	5.	8,5	—	—	—	—	—	—	—	—
	19.	6,0	—	—	—	—	21.	4,5	30.	8,5	—	—	—	—	—	—	27.	8,0	—	—	—	—
VII.	3.	7,5	—	—	—	—	12.	7,0	19.	8,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	24.	7,0	—	—	—	—	28.	6,5	30.	9,0	—	—	—	—	—	—	20.	8,0	—	—	—	—
VIII.	7.	8,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	21.	9,5	—	—	—	—	15.	8,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	29.	6,5	—	—	—	—	29.	7,0	—	—	30.	9,5	30.	9,5	—	—	23.	4,5	25.	7,0	25.	6,6
	31.	6,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
IX.	3.	8,9	3.	7,9	10.	9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10.	8,5	10.	7,5	17.	8,5	—	—	17.	8,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	30.	8,2	—	—	24.	7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
X.	16.	7,0	18.	10,9	22.	12,0	11.	11,0	—	—	18.	11,0	18.	11,0	—	—	—	—	—	—	—	—
	31.	8,0	—	—	28.	10,4	—	—	25.	10,0	—	—	—	—	—	—	25.	9,0	—	—	—	—
XI.	—	—	—	—	—	—	1.	9,0	1.	15,0	—	—	—	—	—	—	1.	8,4	—	—	—	—
	27.	10,5	27.	10,5	17.	10,0	—	—	12.	8,0	23.	14,5	23.	14,5	—	—	—	—	—	—	—	—
XII.	—	—	—	—	—	—	—	—	30.	15,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4.	12,8	4.	12,8	—	—	—	—	19.	17,0	—	—	—	—	—	—	15.	8,5	3.	(14,2)	3.	14,2
	28.	14,5	28.	14,5	—	—	—	—	31.	17,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

<sup>1)</sup> Die unter zu ungünstigen Verhältnissen erhaltenen Messungsergebnisse vom 21. Februar und 3. Dezember 1900 im Trichter wurden kassiert und dafür diejenigen der nicht sehr weit abliegenden Stelle bei Matt vom gleichen Datum substituiert.

verschiedenen Stellen der Seebucht und im folgenden Jahre 1899 in der Höhe von Meggenhorn-Stutz, sowie im westlichen Teil des Trichters.

Eine gute, wenn auch nicht lückenlose Beobachtungsreihe für die *Hergiswiler Bucht* lieferte Posthalter Blättler in Hergiswil. Dieselbe umfasst die Jahre 1898 und 1899. Dagegen brachte es der für das Weggiserbecken bezeichnete Beobachter, Sekundarlehrer Herzog in Weggis, nur auf drei Messungen im Spätherbst 1898, und sechs Messungen im Winter und Frühjahr 1899.

Dazu kommen drei gelegentliche Messungen, mehr gegen Vitznau, im September 1898 und vier Quartalmessungen, anlässlich

**Tabelle IX.**

Mittlere Durchsichtigkeit im Luzernerbecken, 1898—99.

Monate	Hergiswil	Seeburg	Seeburg 1894—97 (Arnet)	Kreuz- trichter	Ganzes Luzerner- becken
	m	m	m	m	m
Januar . . . . .	13,5	13,0	13,0	13,9	13,5
Februar . . . . .	12,0	13,8	11,8	16,7	14,2
März . . . . .	12,4	11,6	9,0	11,0	11,7
April . . . . .	8,0	12,2	7,0	12,0	10,7
Mai . . . . .	8,0	10,2	6,9	8,6	8,9
Juni . . . . .	6,5	8,8	5,6	8,5	7,9
Juli . . . . .	7,4	7,4	7,2	9,0	7,9
August . . . . .	6,0	8,0	9,7	8,6	7,5
September . . . . .	(8,1)	8,3	12,3	9,1	8,5
Oktober . . . . .	10,0	8,8	14,0	11,1	10,0
November . . . . .	8,7	11,6	16,0	12,4	10,9
Dezember . . . . .	9,5	15,3	15,1	15,8	13,5
<b>Jahreszeiten :</b>					
Winter (Dez.-Febr.)	11,67	14,00	11,3	15,47	13,73
Frühling (März-Mai)	9,45	11,33	6,5	10,53	10,43
Sommer (Juni-Aug.)	6,63	8,05	9,7	8,72	7,77
Herbst (Sept.-Nov.)	8,92	9,53	15,0	10,87	9,80
<b>Jahr . . . . .</b>	<b>9,17</b>	<b>10,73</b>	<b>10,6</b>	<b>11,40</b>	<b>10,43</b>
<b>Extreme :</b>					
Maxima . . . . .	14,5	15,9	16,6	16,8	16,8
Minima . . . . .	4,5	7,0	2,5	7,7	4,5
Schwankung . . . . .	10,0	8,9	14,1	9,1	12,3

der „Schwan“-Expedition im Jahre 1900 in der Nähe von Matt ausgeführt.

Alle diese Messungen sind in nebenstehender Tabelle VIII. in Uebersicht zusammengestellt.

Indem wir die benachbarten Stationen Meggenhorn, Trichter und Weggis, inklusive Matt, unter die Bezeichnung *Kreuztrichter* zusammenziehen und jeweilen aus den dem gleichen Monate angehörigen Messungen das arithmetische Mittel nehmen, erhalten wir nebenstehende Durchschnittszahlen (Tabelle IX.), denen wir zum Vergleich auch die von Professor Arnet aus den Beobachtungen der Jahre 1894—97 für die Gegend von Seeburg abgeleiteten Mittelzahlen beifügen.

## II. Transparenzmessungen im Gersauer und Flüeler Seebecken.

Im Jahre 1899 verband ich mit den monatlichen Tiefentemperatur-Messungen bei Rotschuh im Gersauerbecken auch Durchsichtigkeits-Bestimmungen. Diese Messungen haben nahezu gleiche Monatsabstände. Im mittleren Teil desselben Beckens bei Gersau machte mit zeitweisem Unterbruch Dr. Nienhaus eine Zahl Messungen, ebenso begann im gleichen Jahre am östlichen Ende des Sees, bei Treib, Sekundarlehrer Sidler in Brunnen eine Beobachtungsserie, die aber zu bald wieder abgebrochen werden musste.

Desgleichen wurde auch die von Verwalter Gisler in Flüelen im Winter 1897 auf 1898 begonnene Serie von Durchsichtigkeits-Messungen im Flüelerbecken schon im März wieder eingestellt. Dagegen besitzen wir von ihm für das Jahr 1900 eine ziemlich zusammenhängende Beobachtungsreihe. Standort: Gegend des Urnerhofes bei Flüelen. In den nördlichen Teil des Flüelerbeckens machte ich im Jahre 1899 in Quartalabständen auf einem kleinen Nauen von Brunnen aus vier Expeditionen, bei denen jeweilen in der Gegend Ortegg-Rütli auch Durchsichtigkeits-Bestimmungen vorgenommen wurden. Ferner kommen hinzu die Bestimmungen anlässlich der vier „Schwan“-Expeditionen im Jahre 1900, in derselben Gegend.

Die Ergebnisse all dieser Messungen sind in folgender Tabelle X. zusammengestellt.

**Tabelle X.**  
**Transparenzbestimmungen im Flüeler- und Gersauerbecken.**

Monate	1898						1899				1900					
	Gersauerbecken		Grenz-scheide		Flüelerbecken		Gersauerbecken		Flüelerbecken		Gersauerbecken		Flüelerbecken			
	bei Gersau		bei Treib		bei Flüelen		bei Rot-schuh		bei Ortegg		bei Gersau		bei Ortegg		bei Flüelen	
	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m	Tg.	m
I.	6.	15,5	4.	8,5	7.	13,0	27.	8,8	—	—	—	—	—	—	—	—
	8.-26.	11,5 <sup>1)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23.	17,5
II.	5.-26.	12,2 <sup>2)</sup>	12.	8,0	7.	12,0	—	—	—	—	—	—	—	—	3.	17,0
	—	—	—	—	10.-12.	12,0	—	—	—	—	—	—	—	—	9.	16,5
	—	—	—	—	15.-16.	13,0	—	—	—	—	—	—	—	—	22.	12,0
	—	—	—	—	25.	7,0	23.	11,8	24.	8,75	21.	13,0	21.	16,0	27.	6,0
III.	4.	10,5	4.	11,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.	12,5
	9.	12,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16.	12,0
	12.	17,0	—	—	12.	10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	16.	15,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17.	15,8 <sup>3)</sup>	17.	10,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	19.	13,8	—	—	—	—	25.	11,0	—	—	—	—	—	—	—	—
IV.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.	13,0
	—	—	—	—	—	—	28.	11,0	—	—	—	—	—	—	11.	10,0
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16.-23.	4,0
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27.	5,0
V.	9.	5,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18.	4,5
	14.-15.	5,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	21.	6,5	—	—	—	—	26.	7,2	25.	1,75	23.	6,7	23.	(4,0) <sup>5)</sup>	29.	3,0
VI.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.	2,2
	—	—	—	—	—	—	23.	7,8	—	—	—	—	—	—	21.	3,0
VII.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.	2,5
	—	—	—	—	—	—	25.	5,8	—	—	—	—	—	—	26.	2,5
VIII.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.	4,5
	—	—	21.	3,0	—	—	25.	6,0	—	—	19.	4,6	19.	2,7	28.	2,5
IX.	—	—	12.	3,8	—	—	—	—	4.	4,6	—	—	—	—	9.	4,0
	—	—	25.	5,5	—	—	28.	7,8	—	—	—	—	—	—	22.	6,0
X.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.	4,0
	—	—	29.	6,0	—	—	26.	11,0	—	—	—	—	—	—	—	—
XI.	—	—	15.	8,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.	7,0
	24.	9,5 <sup>4)</sup>	30.	9,0	—	—	24.	15,6	—	—	—	—	—	—	—	—
XII.	12.	11,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.	12,7	—	—
	—	—	29.	12,5	—	—	29.	15,6	29.	16,1	3.	13,0	—	—	—	—

1) Mittel aus neun ziemlich gleichen Messungen. — 2) Mittel aus fünf nahen gleichen Messungen. —

3) Am 18. März in der Nähe des Gersauerbaches nur 7,5 m. — 4) Einzelbeobachtung bei Buochs. —

5) Interpoliert zwischen Gersauer und Flüeler Messung.

Nehmen wir, soweit mehrere Beobachtungen für einen Monat vorliegen, daraus das Mittel, und lassen wir die zeitlich ziemlich genau gleichweit abstehenden Beobachtungen bei Rotschuh als Monatsmittel gelten, so ergeben sich nachfolgende Resultate, die natürlich keine grössere Genauigkeit beanspruchen, als ihnen auf Grund des vorhandenen Beobachtungsmaterials zukommt.

**Tabelle XI.**

**Mittelzahlen der Transparenz des Wassers im Gersauer- und Flüelerbecken <sup>1)</sup>.**

Monate	Gersauerbecken			Flüelerbecken, bei Flüelen		
	1898 bei Gersau	1899 bei Rotschuh	Beide Jahre	1898	1900	Beide Jahre
	m	m	m	m	m	m
Januar . .	11,9	8,8	10,3	13,0	17,5	15,2
Februar . .	12,2	11,8	12,0	11,6	12,9	12,2
März . . .	14,1	11,0	12,5	10,0	12,3	11,1
April . . .	(9,8)	11,0	10,4	—	8,1	8,1
Mai . . .	5,6	7,2	6,4	—	3,0	3,0
Juni . . .	—	7,8	7,8	—	2,6	2,6
Juli . . .	—	5,8	5,8	—	2,5	2,5
August . .	4,6 <sup>2)</sup>	6,0	5,3	—	3,5	3,5
September .	—	7,8	7,8	—	5,0	5,0
Oktober . .	—	11,0	11,0	—	4,0	4,0
November .	9,5	15,6	12,5	—	7,0	7,0
Dezember .	11,5	15,6	13,5	—	(12,7)	(12,7)
<b>Jahreszeiten :</b>						
Winter . .	11,87	12,07	11,93	(12,37)	14,37	13,37
Frühling . .	9,83	9,73	9,77	(7,00)	7,80	7,40
Sommer . .	(6,07)	6,53	6,30	—	2,87	2,87
Herbst . .	(9,36)	11,47	10,43	—	5,33	5,33
<b>Jahr .</b>	<b>(9,27)</b>	<b>9,95</b>	<b>9,61</b>	<b>(6,89)</b>	<b>7,59</b>	<b>7,24</b>
<b>Extreme:</b>				<b>Ortegg 1899</b>		
Maximum .	15,50	15,60	15,55	16,10	17,50	16,80
Minimum . .	5,30	5,80	5,55	2,70	2,20	2,45
Schwankung .	10,20	9,80	10,00	13,40	15,30	14,35

<sup>1)</sup> Die Zahlen in ( ) sind ganz oder, wenn Mittelzahlen, zum Teil interpoliert.

<sup>2)</sup> Beobachtung vom 19. August 1898 bei Gersau auf „Schwan“.

### III. Transparenzbestimmungen im Alpnachersee.

Für den *Alpnachersee* verdanken wir dem früheren Direktor der Pilatusbahn, R. Winkler, eine sehr vollständige zweijährige Beobachtungsreihe, umfassend die Zeit von Anfang des Jahres 1899 bis Ende des Jahres 1900. Dazu kommen noch eine Zahl von Messungen im Sommer 1898.

Direktor Winkler nahm regelmässig in ziemlich gleichen Zeitabständen monatlich zwei Messungen vor, und zwar jeweilen

**Tabelle XII.**  
Transparenz-Bestimmungen im Alpnachersee.

Monat	1898			1899			1900		
	Tg.	a	b	Tg.	a	b	Tg.	a	b
Januar . .	19.	6,5	—	16.	0,5	1,2	15.	5,1	—
	28.	6,5	—	30.	1,2	1,2	31.	2,75	2,8
Februar . .	8.	5,5	—	13.	1,1	1,3	15.	0,6	0,9
	—	—	—	27.	1,95	2,1	28.	1,05	1,05
März . . .	—	—	—	13.	2,4	2,5	14.	2,4	2,45
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
April . . .	—	—	—	—	—	—	2.	3,9	3,95
	—	—	—	6.	0,7	0,9	11.	1,05	1,5
Mai . . .	—	—	—	17.	1,7	1,9	25.	1,2	1,25
	—	—	—	3.	1,9	2,1	18.	1,8	—
Juni . . .	—	—	—	17.	1,9	1,95	—	—	—
	9.	2,5	—	3.	2,4	2,4	6.	2,45	2,6
Juli . . .	—	—	—	15.	3,1	3,2	15.	3,2	3,4
	15.	1,4	2,6	28.	3,7	3,8	28.	3,6	3,6
August . .	—	—	—	12.	2,6	2,8	11.	1,4	1,5
	2.	1,25	1,55	27.	2,8	2,95	30.	2,2	2,8
September .	17.	2,20	2,2	16.	1,4	1,6	21.	4,4	4,4
	6.	3,75	4,25	30.	2,2	2,3	29.	1,3	1,6
Oktober . .	—	—	—	20.	1,45	—	15.	4,5	4,7
	5.	5,40	5,9	30.	1,9	1,95	26.	4,8	4,8
November .	27.	1,65	1,8	15.	1,9	1,9	18.	6,7	6,7
	—	—	—	28.	2,4	2,4	31.	6,8	6,8
Dezember .	—	—	—	11.	3,8	3,85	16.	5,2	5,2
	—	—	—	29.	5,1	5,15	28.	5,6	—
	—	—	—	14.	4,0	4,5	12.	1,8	1,9
	—	—	—	30.	5,5	5,5	26.	3,1	—

vormittags nach 9 Uhr an zwei verschiedenen Stellen des Sees: *a)* in der Höhe der Ziegelhütte bei Wolfort, im Bereich des Schlieren und des Aawassers; *b)* mehr seeabwärts in der Gegend der Einmündung des sog. Widibaches, in der Richtung gegen die Lopper-Egg, zirka 1 Kilometer von der Mündung der Aa entfernt. Letztere Stelle fällt in das Gebiet der grössten Seetiefe von 33 m.

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle XII. in Uebersicht zusammengestellt, worin die zwei genannten Beobachtungsstellen mit a und b bezeichnet sind.

Hieraus resultieren folgende Mittelzahlen, wobei die fehlende zweite März- und Maibeobachtung des Jahres 1900 durch die erste Messung des folgenden Monats ersetzt ist.

**Tabelle XIII.**  
Mittelzahlen der Transparenz im Alpachersee.

Monat	1898		1899		1900		1898—1900		
	a	b	a	b	a	b	a	b	a b
	Tg	Tg.	m	m	m	m	m	m	m.
Januar . .	6,50	—	0,85	1,20	3,93	3,95	3,76	3,88	3,82
Februar . .	6,50	—	1,53	1,53	0,83	0,98	2,95	3,00	2,98
März . . .	5,50	—	2,40	2,50	3,15	3,20	3,68	3,73	3,71
April . . .	—	—	1,20	1,40	1,13	1,38	1,16	1,39	1,28
Mai . . . .	—	—	1,90	2,03	2,13	2,20	2,02	2,12	2,07
Juni . . . .	2,50	—	3,07	3,13	3,40	3,50	3,24	3,32	3,28
Juli . . . .	1,40	2,60	2,70	2,88	1,80	2,15	1,97	2,54	2,26
August . .	1,43	1,88	1,80	1,95	2,85	3,00	2,03	2,28	2,16
September .	3,75	4,25	1,68	1,70	4,65	4,75	3,36	3,57	3,47
Oktober . .	3,53	3,85	2,15	2,15	6,75	6,75	4,14	4,25	4,20
November .	—	—	4,45	4,50	5,40	5,40	4,93	4,95	4,94
Dezember .	—	—	4,75	5,00	2,45	2,50	3,60	3,75	3,68
Winter . .	—	—	2,54	2,58	2,40	2,48	3,44	3,54	3,49
Frühling .	—	—	1,83	1,98	2,14	2,26	2,29	2,41	2,35
Sommer . .	1,74	2,33	2,52	2,65	2,68	2,88	2,41	2,71	2,56
Herbst . .	—	—	2,76	2,78	5,60	5,63	4,14	4,26	4,20
Jahr . . . .	—	—	2,41	2,49	3,21	3,31	3,07	3,23	3,15

#### IV. Diskussion der Ergebnisse betreffend Transparenz.

Zur Orientierung und bequemern Uebersicht resumieren wir in nachfolgender Tabelle die Ergebnisse der Transparenzmessungen in den verschiedenen Becken des Sees, mit Einschluss des Alpnachersees.

**Tabelle XIV.**

Mittelwerte der Transparenz der verschiedenen Seebecken.

Monat	Küssnacherbecken		Ganzes Luzernerbecken	Gersauerbecken	Flüelerbecken	Ganzer Vierwaldstättersee	Alpnachersee
	1898 bis 1901	1898 99	1898 99	1898 99	1898 und 1900	1898 99	1898 bis 1900
	m	m	m	m	m	m	m
Januar . . .	12,3	11,0	13,5	10,3	15,2	12,3	3,8
Februar . . .	13,4	12,0	14,2	12,0	12,2	12,6	3,0
März . . . .	13,2	14,0	11,7	12,5	11,1	12,3	3,7
April . . . .	9,1	9,6	10,7	10,4	8,1	9,7	1,3
Mai . . . . .	8,8	9,8	8,9	6,4	3,0	7,0	2,1
Juni . . . . .	7,8	8,3	7,9	7,8	2,6	6,7	3,3
Juli . . . . .	6,3	6,3	7,9	5,8	2,5	5,6	2,3
August . . . .	7,2	7,6	7,5	5,3	3,5	6,0	2,2
September . .	7,4	9,2	8,5	7,8	5,0	7,6	3,5
Oktober . . .	9,2	10,4	10,0	11,0	4,0	8,9	4,2
November . .	11,3	12,1	10,9	12,5	7,0	10,6	4,9
Dezember . .	13,5	15,0	13,5	13,5	12,7	13,7	3,7
<b>Jahreszeiten:</b>							
Winter . . . .	13,14	12,67	13,73	11,93	13,37	12,93	3,49
Frühling . . .	10,38	11,13	10,43	9,77	7,40	9,67	2,35
Sommer . . . .	7,10	7,40	7,77	6,30	2,87	6,10	2,56
Herbst . . . .	9,55	10,57	9,80	10,43	5,33	9,03	4,20
<b>Jahr . . . .</b>	<b>10,04</b>	<b>10,44</b>	<b>10,43</b>	<b>9,61</b>	<b>7,24</b>	<b>9,43</b>	<b>3,15</b>
<b>Extreme:</b>							
Maximum . . .	15,7	17,0	16,8	15,6	16,8	16,6	6,8
Minimum . . .	5,3	5,1	4,5	5,6	2,5	4,4	0,5
Schwankung . .	10,4	11,9	12,3	10,0	14,3	12,2	6,3

Das gesonderte Verhalten des Alpnachersees ist sofort in die Augen springend. Bei der Diskussion wollen wir daher diesen Seeannex für sich behandeln, und wenden wir daher unsere Aufmerksamkeit zunächst denjenigen Zahlen zu, welche die Becken des eigentlichen Vierwaldstättersees betreffen.

## 1. Diskussion der Ergebnisse betreffend Transparenz der Hauptbecken des Vierwaldstättersees.

### a) *Allgemeiner Verlauf.*

Bei allen Unregelmässigkeiten im einzelnen zeigen doch die Zahlenreihen vorstehender Tabelle im allgemeinen einen ähnlichen Verlauf. Am deutlichsten kommt dieser zum Ausdruck bei denjenigen, welche das mittlere und äussere Seebecken betreffen, die weniger unter dem Einfluss der Reuss, des Hauptzuflusses des Sees, stehen, und ganz besonders in der graphischen Darstellung der vierjährigen Mittelzahlen der Küssnacher Station auf Tafel II. der Beilagen. Daneben verweisen wir auch auf die Darstellung der Spezialbeobachtungen auf Tafel III. bis VIII.

Wir erkennen hieraus, dass im allgemeinen die Durchsichtigkeit und Klarheit des Wassers in allen Seebecken im Winter ganz beträchtlich grösser ist, als im Sommer.

Das Maximum der Transparenz des Sees muss in die Zeit zwischen Ende Dezember bis anfangs März verlegt werden. Dasselbe verschiebt sich innerhalb dieses Zeitraumes je nach dem besonderen Witterungscharakter des Jahres. Auf die vorübergehende Anomalie des Januars, wie sie auf Beilage II. zum Ausdruck gelangt, und welche eine Eigentümlichkeit der Beobachtungsjahre zu sein scheint, werden wir noch speziell zurückkommen.

Vom März an beginnt die allgemeine Trübung des Sees und nimmt von da an sehr rasch zu bis in April, um dann in etwas langsamerem Tempo im Juli ihr Maximum, entsprechend dem Minimum der Durchsichtigkeit, zu erreichen. Von da an folgt dann ein anfänglich etwas verzögerter, vom September an mehr beschleunigter Abstieg der Durchsichtigkeitskurve bis in den Dezember. Der Abstieg der Kurve, d. h. die Abklärung des Sees umfasst also im allgemeinen zirka vier, dagegen der Aufstieg oder die Trübung desselben ungefähr fünf Monate; es vollzieht sich somit letztere durchschnittlich in etwas langsamerem Tempo, als erstere.

*b) Betrag der Durchsichtigkeits-Schwankungen.*

Nach den Zahlen am Fusse der obstehenden Tabelle XIV. betreffend die Extreme der Durchsichtigkeiten bewegen sich letztere zwischen dem höchsten beobachteten Werte von 17,0 Meter im Küsnacherbecken, und dem niedrigsten im Flüelerbecken von bloss 2,5 Meter, so dass im ganzen See Schwankungen bis auf 14,5 Meter konstatiert werden können. Von Becken zu Becken variieren diese Durchsichtigkeits-Aenderungen zwischen 10 und 14,3 Meter. Der Durchschnittswert beträgt 12,2 Meter.

Nimmt man die Mittel nach den Jahreszeiten, so ist für den ganzen See die Durchsichtigkeit im Winterquartal um 6,8 Meter grösser als im Sommerquartal; ferner ist dieselbe im Frühlingsquartal annähernd gleich dem Jahresmittel und um 0,6 Meter grösser als im Herbstquartal. In den einzelnen Seebecken variieren die Mittelzahlen, doch weniger in den äussern Seebecken als im Flüelerbecken. In letzterem sind die Unterschiede am grössten; dieselben betragen für das Winter- und Sommerquartal sogar 10,5, und für Frühlings- und Herbstquartal 4,5 Meter.

Das mittlere oder Gersauerbecken hat insoweit noch eine Besonderheit gegenüber den anderen Seebecken, dass sich hier das Verhältnis zwischen Frühlings- und Herbstquartal umkehrt, indem daselbst der See im Herbst um durchschnittlich 0,6 Meter durchsichtiger erscheint, als im Frühling.

Alle diese Zahlen sind natürlich nicht definitive, da die denselben zu Grunde liegenden Beobachtungen sich über einen verhältnismässig kleinen Zeitraum erstrecken; doch werden die durch dieselben zum Ausdruck kommenden allgemeinen Gesetze voraussichtlich keine wesentlichen Aenderungen erleiden.

Als Vergleichsmaterial aus früheren Jahren stehen uns bezüglich der Luzernerbucht die gelegentlich schon erwähnten Transparenz-Beobachtungen von Arnet aus den Jahren 1894—97, und für das Gersauerbecken diejenigen von G. Burckhardt <sup>1)</sup> vom Dezember 1896 bis September 1898, zu Gebote. Indem

---

<sup>1)</sup> Dr. G. Burckhardt, Zooplankton des Vierwaldstättersees. III. Heft der „Mitteilungen“, pag. 145 ff.

auf die betreffenden Publikationen verwiesen wird, beschränken wir uns hier auf Anführung der folgenden daraus abgeleiteten Mittelzahlen der Jahreszeiten.

	<i>Luzernerbecken</i> (1894—97)	<i>Gersauerbecken</i> (1897—98)
Winter . . . . .	15,0 m	13,0 m
Frühling . . . . .	11,3 „	8,1 „
Sommer . . . . .	6,5 „	3,5 „
Herbst . . . . .	9,7 „	7,0 „
Jahr . . . . .	10,6 „	7,9 „

Diese Zahlen stimmen in ihrem relativen Verhalten mit den oben gefundenen Ergebnissen überein; die angeführte Besonderheit des Gersauerbeckens im Verhalten der Frühlings- und Herbst-Durchsichtigkeiten wird durch dieselben wieder aufgehoben. Dagegen sind die Gersauerzahlen durchweg kleiner als diejenigen nach unseren Beobachtungen und nähern sich eher denjenigen des Flüelerbeckens. Dies rührt aber, abgesehen von dem nassen Witterungscharakter des Jahres 1897, auch daher, dass Burkhardt seine Beobachtungen vor Gersau, also im Bereich des dortigen Dorfbaches anstellte, welcher zeitweise sehr mächtig werden kann. Namentlich war dies im Beobachtungsjahre 1897 öfters der Fall. In den Notizen Burckhardts finden sich vom 24. Juli bis 18. September sechs Tage mit Niederschlagsmengen von 40 bis 97 mm, mit entsprechend niedrigen Durchsichtigkeitsmassen, verzeichnet. Letztere sinken an drei dieser Tage sogar auf 1,6 bis 1,9 m herab<sup>1)</sup>.

*c) Beziehungen zwischen Transparenz und Temperatur des Wassers.*

Ein Blick auf die beiliegenden graphischen Tafeln II. bis VIII. zeigt sofort eine auffallende Parallelität zwischen den Transparenz- und Temperaturkurven des Wassers. Dem Aufsteigen und Fallen der einen entspricht im allgemeinen, abgesehen von etwelcher Verschiebung der Maximalpunkte, auch

<sup>1)</sup> Es wurde am 17. März 1898 von Dr. Nienhaus im See bei Gersau 15,8 m und den 18. März näher beim Bache nur 7,5 m Transparenz gemessen. (S. Anmerkung zu Tabelle X.)

ein Steigen und Fallen der andern. Dabei darf aber nicht übersehen werden, dass die Nullpunktlinie der ersteren Kurve *oben*, dagegen diejenige der andern *unten* angenommen ist, ein Ansteigen der Durchsichtigkeitskurve, der Anschauung entsprechend, also eine Abnahme der Tiefe der Durchsichtigkeit bedeutet, während die Temperaturkurven mit den Temperaturen steigen und fallen. Mit andern Worten:

*Die Zu- und Abnahme der Durchsichtigkeit des Seewassers steht zur Zu- und Abnahme der Temperatur desselben in einem verkehrten Verhältnis; d. h. einer Zunahme der Temperatur entspricht im allgemeinen eine Abnahme der Durchsichtigkeit des Sees.*

Dabei haben wir vorläufig nur die Oberfläche-Temperatur in Betracht gezogen. Das Verhalten der Tiefentemperatur zu der Oberflächen-Temperatur wird im vierten Teil unserer Untersuchungen ermittelt werden.

#### **d) Anomalien im zeitlichen und örtlichen Verlauf der Transparenz-Verhältnisse des Sees.**

Aehnlich wie die Temperaturkurven der Luft und des Wassers zeigen auch die Transparenzkurven des Sees gewisse Zickzackbewegungen oder Störungen ihres normalen Verlaufes. Es ist also auch die Zu- und Abnahme der Durchsichtigkeit des Sees keine kontinuierliche, sondern geschieht öfters sprunghaft, mit nachfolgenden grössern oder geringern Rückschlägen. Diese Unregelmässigkeiten oder Anomalien sind, wie ein Blick auf die betreffenden Tafeln der Beilagen, speziell Tafel III. zeigt, — ähnlich, wie dies auch bezüglich der Oberflächen-Temperatur konstatiert wurde, — ausgeprägter und energischer in der Periode des Aufstieges der Kurve, d. h. der zunehmenden Trübung, als in derjenigen des Abstieges derselben, d. h. in der Zeit zunehmender Klärung des Sees.

Nur in der Flüelerkurve (Tafel V.) sowie auch in derjenigen des Alpnacherbeckens (Tafel VI.) finden wir noch in den Monaten August und Oktober, im Alpnachersee sogar noch im Dezember, starke Zickzackbewegungen, welche alle ebenfalls Folgen von anormalen Trübungen sind.

Eine besonders auffällige Erscheinung sind die plötzlichen starken und spitzen Ausschläge der Küssnacher Transparenz-

kurve im Januar, welche sich in allen drei Jahren 1899, 1900 und 1902 regelmässig in grösserem oder geringerem Masse einstellen. In den zwei Jahren 1898 und 1901 finden sich ähnliche Ausschläge, d. h. momentane Trübungen, im Monat Februar.

Nennen wir die Differenz der jeweiligen benachbarten Durchsichtigkeiten des Wassers das *Mass* einer solchen vorübergehenden Trübung, so ergeben sich für dasselbe an Hand der betreffenden Beobachtungs-Protokolle folgende Zahlen:

1898, 21. Februar, Mass der Trübung	=	5,8 m
1899, 19. Januar,       "       "       "	=	8,1 "
1900, 19.       "       "       "	=	5,5 "
1901, 5. Februar,       "       "       "	=	3,0 "
1902, 31. Januar       "       "       "	=	4,5 "

Als mittleres Datum resultiert hieraus der 30. Januar, mit einer durchschnittlichen, vorübergehenden Trübung von 5,4 m. Wir können also diese die *Januartrübung* der fünf Beobachtungsjahre nennen. Dieselbe kommt auch in der Kurve der Mittelzahlen auf Tafel II. zum Ausdruck und hat ihre Parallele in einer entsprechenden Anomalie der mittleren Lufttemperaturkurve desselben Jahres; dagegen ist auf dieser Tafel etwas Analoges in der Kurve der Oberflächentemperatur des Sees nicht bemerkbar.

Auffälligerweise findet sich in der Temperaturkurve des Luzernerbeckens (D\* der Tafel III.) an entsprechenden Stellen keine analoge Störung. Vom Januar bis Mai 1898 ist der Zickzackverlauf dieser letztern geradezu entgegengesetzt demjenigen der Küssnacher Kurve, und zwar beträgt in dieser Periode der zeitliche Abstand der aufeinanderfolgenden Ausschläge in beiden Kurven ungefähr je einen Monat.

Vom Mai an stellt sich die Parallelität beider Kurven wieder ein und behauptet sich so ziemlich bis Ende des Jahres. Im Januar des folgenden Jahres finden wir an Stelle der ungemein hohen Zacke der Küssnacher Kurve sogar eine Depression der Luzerner Kurve, entsprechend einer ziemlichen Durchsichtigkeitszunahme; dabei muss jedoch bemerkt werden, dass in dem längern Zeitraum zwischen den beiden Messungen von Anfang Dezember und Ende Januar an letzterer Stelle eine

vorübergehende Trübung möglicherweise unbemerkt geblieben sein konnte.

Der weitere Verlauf der letzteren Kurve von da bis zum höchsten Punkte im Juni ist sehr gleichmässig, im Gegensatz zu demjenigen der Küssnacher Kurve, mit ihren starken Zickzackbewegungen vom August bis Juli. Ende Oktober und im November ist das Verhältnis umgekehrt, indem hier erstere Kurve auffällig starke Ausschläge macht. Eine hohe Zinke findet sich Ende Februar 1900 in der Flüeler Kurve, während in derjenigen des Küssnacherbeckens nichts solches wahrnehmbar ist.

Indem bezüglich weiterer Unregelmässigkeiten auf die betreffenden Tafeln der Beilagen verwiesen wird, sei nur noch auf den starken Riss zu anfangs Juni 1900 in der Küssnacher Kurve aufmerksam gemacht, welcher als eine sehr auffällig starke vorübergehende Aufhellung des Sees aufzufassen ist.

Es lässt sich aus allen diesen Wahrnehmungen die Schlussfolgerung ziehen :

*Im zeitlichen Verlauf des allgemeinen Prozesses der sommerlichen Trübung und winterlichen Aufhellung des Sees können zeitweise vorübergehende grössere oder geringere Anomalien eintreten, im Sinne plötzlicher Zunahme und nachfolgender rascher Wiederabnahme der Trübung, oder unter Umständen auch im Sinne einer zeitweise vorübergehenden Aufhellung des Sees. Diese Störungen des normalen Verlaufes der Transparenzveränderungen können gleichzeitig in verschiedenen Becken auftreten; in der Regel aber sind sie mehr lokaler Natur. Dieselben erscheinen häufiger und ausgesprochener in der Periode zunehmender Seetrübung, weniger in derjenigen der Seeklärung.*

#### **e) Vergleich der Transparenz der verschiedenen Hauptbecken des Sees.**

Um zwischen den verschiedenen Seebecken einen Vergleich bezüglich des Durchsichtigkeitsgrades anzustellen, kann man entweder die Messungen gleichen oder nahe gleichen Datums, soweit solche zur Verfügung stehen, oder dann die Mittelzahlen, wie sie sich aus Tabelle XI. ergeben, in Betracht ziehen.

Für die erstere Vergleichsmethode finden sich in den Protokollen der beiden Beobachtungsjahre 1899 und 1900 für jedes Seebecken neun brauchbare, zeitlich ziemlich gleichweit voneinander abstehende Messungen verzeichnet, welche auf der Tafel VII. der Beilagen graphisch dargestellt sind. Diese Tafel enthält zunächst für beide genannten Jahre drei, mit F, G und T bezeichnete, ausgezogene Durchsichtigkeitskurven für das Flüelerbecken, das Gersauerbecken und die Gegend Kreuztrichter-Meggenhorn des Luzernerbeckens. Daneben ist für einen weitergehenden Vergleich die entsprechende Kurve K des Küssnacherbeckens punktiert eingezeichnet. Ferner sind für 1899 die Durchsichtigkeiten in der Seeburg-Tiefe und für 1900 diejenige des Weggiserbeckens aufgetragen und beziehlich mit S und W bezeichnet.

So beschränkt die Zahl der Beobachtungspunkte dieser Durchsichtigkeitskurven ist, genügen sie doch vollständig, um auf den ersten Blick die wesentlichen Aenderungen der Transparenz von Seebecken zu Seebecken im Laufe des Jahres zur Anschauung zu bringen. In unzweideutigster Weise erkennen wir namentlich in der Periode der grössten Seetrübung, vom Mai bis August, eine ausgesprochene Abstufung der Transparenz des Sees im Sinne einer Zunahme der Durchsichtigkeit mit der Entfernung von der Einmündung der Reuss. Um die Zeit der Schneeschmelze ist diese Abstufung vom ersten zum zweiten, d. h. vom Flüeler- zum Gersauerbecken, erheblich grösser, als vom zweiten zum dritten, oder vom Gersauer- zum Luzernerbecken. Mit beginnender Seeaufhellung scheint sich das Verhältnis eher umzukehren, und zur Zeit der grössten Durchsichtigkeit kann das Flüelerbecken zeitweise klarer werden als das Gersauerbecken.

Zwischen den verschiedenen Teilen des Luzern-Küssnacherbeckens sind die Abweichungen keine sehr ausgesprochene. In den Sommermonaten mit stärkster Trübung lässt sich zwar noch eine geringe Zunahme der Durchsichtigkeit in der Richtung des Wasserlaufes konstatieren, d. h. es folgen sich nach dem Grad der Transparenz: Weggiserbecken, Kreuztrichter, Luzernerbucht. Dagegen ist die Durchsichtigkeit im Küssnacherbecken in einem Jahr geringer, im andern grösser als diejenige im Trichter.

Zu den gleichen Ergebnissen führt auch ein Vergleich der monatlichen Mittelzahlen der Transparenz der verschiedenen Seebecken, welche auf Tafel VIII. der Beilagen graphisch dargestellt sind. Dieselben betreffen die Messungen im Jahre 1899. Da aber für das Flüelerbecken nur vereinzelte Beobachtungen aus diesem Jahre herkommen, so wurde nebst diesen auch die vollständige Serie des Jahres 1900 aufgetragen. Erstere entfernen sich nicht sehr weit von diesen letzteren.

Einen ziffermässigen Aufschluss über das gegenseitige Verhalten betreffend die Transparenz erhalten wir an Hand der Tabelle XI. Der Vergleich der Jahresmittel ergibt zunächst folgendes:

<i>Hauptbecken seeaufwärts:</i>	<i>Durchsichtigkeit:</i>	<i>Abnahme:</i>
Luzernerbecken	10,4 m	0,8 m
Gersauerbecken	9,6 „	2,4 „
Flüelerbecken	7,2 „	

Es ist also die Durchsichtigkeitsabnahme vom Flüeler zum Gersauerbecken das Dreifache derjenigen von letzterem zum Luzernerbecken.

Wie aus den betreffenden Zahlen der Tabelle XI. hervorgeht, beginnt die Trübung des Sees nach der grössten winterlichen Abklärung am frühesten im Flüelerbecken, nämlich im Februar, einen Monat nachher, d. h. im März, im Luzernerbecken, und noch später im mittleren oder Gersauerbecken, wo erst mit April eine entschiedene Durchsichtigkeitsabnahme sich einstellt. Von letzterem Zeitpunkte an macht sich das angegebene normale Verhältnis der fortschreitenden Seeklärung seeabwärts von Becken zu Becken immer ausgesprochener geltend.

Das Maximum der Trübung erreicht das Flüelerbecken im *Juni* und *Juli*, mit rund 2,5 m Durchsichtigkeit; dagegen die zwei folgenden Becken erst im Monat *August*, mit beziehlich 5,3 und 7,5 m Durchsichtigkeit.

Nennt man das Verhältnis oder den Quotienten der Durchsichtigkeit je zweier seeaufwärts aufeinanderfolgenden Seebecken die *Abstufung der Transparenz* der beiden Becken, so ergeben sich an Hand der Zahlen der Tabelle XI. für diese zeitlichen und örtlichen Transparenzabstufungen folgende Werte:

*Abstufung der Transparenz zwischen*

<i>Monat:</i>	<i>Flüeler- u. Gersauerbecken:</i>	<i>Gersauer- u. Luzernerbecken:</i>
Januar . . .	0,58	1,31
Februar . . .	0,98	1,19
März . . . .	1,13	0,94
April . . . .	1,28	1,03
Mai . . . . .	2,13	1,39
Juni . . . . .	3,00	1,01
Juli . . . . .	2,32	1,36
August . . . .	1,51	1,41
September . .	1,56	1,09
Oktober . . .	2,75	0,91
November . .	1,79	0,87
Dezember . . .	1,06	1,00
 <i>Jahreszeit:</i>		
Winter . . . .	0,89	1,15
Frühling . . .	1,32	1,07
Sommer . . . .	2,20	1,23
Herbst . . . .	1,96	0,94
<i>Fahr</i> . . . . .	1,32	1,09

Hier bedeuten also die Zahlen *über* 1 eine Transparenzzunahme, diejenigen *unter* 1 aber eine Transparenzabnahme in der Richtung seeabwärts, somit der Quotient 1 eine Ausglei- chung der Durchsichtigkeit.

Es ergeben sich aus obigen Zahlen in etwas präziserer Form wieder die bereits konstatierten Tatsachen: In den Wintermonaten Dezember bis Februar ist die Klärung des Sees nahezu durchweg ausgeglichen, oder sie kehrt sich in geringem Masse zeitweise sogar in eine inverse, d. h. von unten nach oben zunehmende, um. Mit Beginn des Frühlings wird sie immer mehr eine normale, d. h. die Trübung wächst seeaufwärts in einem von Becken zu Becken wachsenden Grade. Während die höchste Abstufung zwischen dem Luzerner- und Gersauerbecken nur 1,4 beträgt, erreicht diejenige vom Gersauer- zum Flüelerbecken den Wert 3. Mit Ende des Sommer- quartals beginnt im allgemeinen wieder die Ausglei- chung über den ganzen See.

Das Ergebnis lässt sich dahin zusammenfassen:

*Die Transparenz des Wassers nimmt im allgemeinen seeabwärts zu. Der Grad der Abstufung derselben wächst mit der Zunahme der Seetrübung einerseits zeitlich von Beginn des Frühlings bis zum Maximum im Sommer, um von da bis im Winter wieder abzunehmen und sich auszugleichen, andererseits aber auch örtlich und zwar seeaufwärts von Becken zu Becken bis zur Einmündung der Reuss.*

Eine fernere Eigentümlichkeit der Transparenzkurven der oberen trüberen Seebecken ist die starke Verbreiterung der sömmerlichen Trübungswelle. Während diejenige des Luzern-Küssnacherbeckens, wie besonders die Kurve der Mittelzahlen auf Tafel II. zeigt, vom Kulminationspunkt nach vor- und rückwärts mehr oder weniger gleichmässig abfällt, hält sich z. B. die Flüeler Kurve auf Tafel V. vom April bis Oktober, also über ein halbes Jahr, abgesehen von geringeren Schwankungen, auf sehr hohem Niveau, auf das es sich schon im April in fast senkrechtem Aufstieg erhob, um von Juni bis August nur noch um 1,5 bis 2 m bis zum Maximum der Trübung höher zu steigen. Im fernern Gegensatz zur Küssnacher Kurve macht dieselbe auch in dem hierauf folgenden langsamen Abstieg bis zum Oktober sehr energische Zickzackbewegungen.

Hiemit verwandt ist freilich auch die vierte Welle der Küssnacher Kurve auf Tafel III., welche dem Jahre 1901, mit den ganz ausnahmsweisen geringen mittleren Sommer- und Herbsttransparenzen (vergl. Tabelle VII.), angehört. Auch diese Welle hält sich von April bis sogar in den November auffallend hoch.

Im Gersauerbecken ist, wenn auch nicht im gleichen Masse wie im Flüelerbecken, auch in normalen Jahren eine mehr oder weniger starke Verbreiterung der Trübungswelle zu konstatieren. Nach Tafel IV. ändert sich die Durchsichtigkeit des Juli 1899 von 5,8 m bis Ende August nur um ein Geringes; und im Jahre 1900 mindert sich schon im Mai die Transparenz auf 6,7 m, und noch am 19. August beträgt sie bloss 4,6 m.

Weil für letzteres Jahr nur quartale Beobachtungen angestellt wurden, lässt sich der nähere Verlauf der Kurve nicht verfolgen. Dagegen hat zur Zeit Burckhardt (Heft III der Mitt., p. 144) eine Serie von Messungen vom Jahre 1897 mitgeteilt, auf die

wir gelegentlich bereits hingewiesen haben. Nach denselben fällt auf den 30. Juli ein Minimum der Transparenz von nur 1,6 m; und noch am 26. August und 16. September werden nahezu gleich niedrige Werte von 1,9 m und 1,7 m notiert.

Noch ausgedehnter und unregelmässiger gestaltet sich die sömmerliche Welle der Transparenzkurve für den Alpachersee.

## 2. Ergebnisse betreffend die Transparenz des Alpachersees.

Der Alpachersee zeichnet sich gegenüber allen Becken des eigentlichen Vierwaldstättersees durch einen dauernd viel höheren Trübungsgrad aus. Nach den betreffenden Mittelzahlen der Tabelle XIV. ist das Jahresmittel nur 3,15 m, und die mittlere jährliche Schwankung der Durchsichtigkeit 3,6 m. Die höchste beobachtete Durchsichtigkeit betrug 6,8 m und die niedrigste nur 0,5 m, also die grösste absolute Schwankung etwa 6 m.

Auf bezüglicher Tafel VI. der Beilagen fällt sofort der sehr abweichende Verlauf der Transparenzkurve gegenüber der Kurve der Oberflächen-Temperatur ins Auge.

Während die Kurve der Oberflächen-Temperatur, besonders vom Januar 1899 bis Juni 1900, fast noch regelmässiger und gleichmässiger verläuft, als auf den andern Tafeln, ist in derjenigen der Transparenz eine Gesetzmässigkeit nicht leicht erkennbar. Bei näherem Zusehen lässt sich immerhin für alle drei Jahre in den Sommermonaten, vom Juni bis in den Oktober oder November hinein eine gewisse Parallelität mit ersterer konstatieren, welche im Sommer 1900 zum Teil sogar noch in den beiden Hauptzacken verfolgt werden kann. Während den übrigen Monaten jedoch ist jede Regelmässigkeit vollständig aufgehoben.

Nach den Mittelzahlen der drei Beobachtungsjahre ergibt sich für das Sommerhalbjahr die mittlere Durchsichtigkeit 2,45 m, für das Winterhalbjahr 3,85 m; und zwar dauert die hohe Trübung volle fünf Monate, von April bis August, in welche beide Grenzmonate zwei Durchsichtigkeits-Minima, betragend 1,3 und 2,2 m, fallen. Die höchste Durchsichtigkeit in dieser Zeit beträgt 3,3 m und fällt auf den Juni. Die übrigen 7 Monate des Jahres, also das Winterhalbjahr nebst März, variiert die

Transparenz zwischen 3,0 und 4,8 m; der höchste Wert, 4,9 m, fällt in den November. Diese Lage des Durchsichtigkeits-Maximums ist jedoch sehr wahrscheinlich eine zufällige Eigenschaft der Beobachtungsjahre, die sich durch ihre besonders milden Winter auszeichneten. In normalen Jahrgängen dürfte dasselbe auch hier besser in den Winter hineinrücken.

Die *Transparenzabstufung* zwischen den beiden Beobachtungs-Stationen a und b, von denen der letztere einen halben Kilometer mehr seeabwärts gelegen ist, macht sich zwar bei allen in Tabelle XIII. zusammengestellten Messungen in unzweideutiger Weise geltend, im Sinne etwelcher Aufhellung des Sees mit der Entfernung von der Einmündung der Sarner Aa. Der mittlere Unterschied beträgt jedoch nur 1,6 dm, von dem die einzelnen Messungen in der Regel wenig abweichen. Die grössten Differenzen ergaben lt. Tabelle XII. folgende vereinzelte Fälle: 1898, Juli 1,2 m; September 0,5 m; 1899, Januar 0,7 m; 1900, Juli 0,6 m.

Die mittlere *relative* Abstufung aller drei Beobachtungsjahre beträgt für: Winter 1,03; Frühling 1,05; Sommer 1,12; Herbst 1,03; für das ganze Jahr 1,03.

Am grössten ist also auch hier der Grad der Abstufung seeabwärts im Sommer, d. h. zur Zeit der grössten Trübung des Sees.

## V. Ursachen der Durchsichtigkeits-Änderungen des Sees.

Es erübrigt uns noch, an Hand der Beobachtungsergebnisse den Ursachen der verschiedenen regelmässigen und unregelmässigen zeitlichen und örtlichen Änderungen der Durchsichtigkeit des Sees etwas nachzugehen.

### a) *Ursachen der Durchsichtigkeitsabnahme im allgemeinen.*

Die Ursachen der verschiedenen Lichtabsorption des Wassers und der daherigen Veränderungen der Durchsichtigkeit desselben sind bekanntlich sehr mannigfache. Der Umstand, dass im allgemeinen die Transparenz des Sees im Sommer erheblich grösser ist, als im Winter, lässt vermuten, dass der

Wärmegehalt des Wassers ein wesentlicher Faktor bedeute. Andererseits verursachen naturgemäss die gewöhnlichen und aussergewöhnlichen Niederschläge infolge der durch dieselben veranlassten Anschwellungen der Zuflüsse mehr oder weniger starke Zuschwemmung von trübenden, organischen und unorganischen Materialien Verunreinigungen und Durchsichtigkeitsverminderungen des Sees. Ebenso können heftige Winde am Ufer und an seichteren Stellen des Sees Trübungen bewirken durch Auflockern des Grundes und Aufwirbeln von Erde und Schlammablagerungen.

Es entsteht somit die Frage, welcher Anteil jedem dieser Faktoren bei den beobachteten Transparenzverhältnissen des Sees zukomme und wie weit der eine durch den anderen mitbedingt ist.

Auch das reinste Wasser ist nicht absolut durchsichtig; dasselbe absorbiert ebenfalls einen Teil der eindringenden Lichtstrahlen, und zwar speziell die am wenigsten brechbaren und besonders leuchtkräftigen Strahlen des Rot und Orange. Das Wasser des Meeres zeichnet sich vor allem durch seine vorzügliche Klarheit aus; die grösste Durchsichtigkeit desselben, gemessen im Stillen Ozean, beträgt aber nur 59 m. Forel hält nach seinen Wahrnehmungen dafür, dass auch im klarsten Wasser die Grenze der Durchsichtigkeit 100 m nicht übersteigen könne.

Es ist ferner durch physikalische Untersuchungen nachgewiesen, dass warmes Wasser mehr Licht absorbiert, als kaltes. Doch kommt Forel bei Prüfung der diesbezüglichen Versuche von H. Wild<sup>1)</sup> zu dem Schlusse, dass deren Ergebnisse nicht ohne weiteres auf die thermischen Verhältnisse eines Sees anwendbar sind, und dass der Einfluss der Wärme auf dessen Transparenz nur von untergeordneter Bedeutung sein könne. Nach meinen im Nachfolgenden noch zu erörternden Wahrnehmungen komme ich zu demselben Resultat.

Von grösserem Belang sind dagegen verschiedene indirekte Wirkungen der Wärme.

Einmal befördert die Temperaturzunahme des Sees die Vermehrung und Entwicklung des Planktons, d. h. die in dem-

---

<sup>1)</sup> Leman II, p. 425.

selben vegetierenden mikroskopischen Lebewesen, ebenso die kleinen pflanzlichen Organismen, Algen etc., wodurch grössere oder geringere Trübungen verursacht werden können. Sodann entstehen im Wasser bei lokaler Erwärmung durch Insolation oder auch infolge Vermengung von wärmern und kältern Schichten bei starkem Wellenschlag sogenannte Konvektionsströmungen, d. h. Umlagerungen der Wasserschichten infolge veränderten spezifischen Gewichtes. Diese Konvektionsströmungen vermindern ebenfalls die Durchsichtigkeit des Wassers, wie durch Versuche des belgischen Physikers Spring dargetan worden ist<sup>1)</sup>.

Infolge der sömmerlichen Erwärmung nimmt ferner das Wasser des Sees, wie wir bei Untersuchung der Tiefentemperatur sehen werden, eine besonders in der oberen Schichte ausgebildete thermische Schichtung an, wobei die Wasserschichten in der Reihenfolge ihres Temperaturgrades übereinander lagern. Dieser Umstand der Entstehung von optisch dünnern und optisch dichtern Medien verursacht an sich schon Lichtabsorption.

Die Hauptbedeutung für die Durchsichtigkeitsminderung erhält jedoch die thermische Schichtung erst in Verbindung mit den im Wasser suspendierten Staubteilchen, die durch die Zuflüsse zeitweise in grösserer oder geringerer Menge zugeführt werden.

Dass nämlich alle die bisher angeführten direkten und indirekten Wirkungen der Temperaturveränderungen des Sees für sich nicht genügen, den konstatierten Verlauf der Abnahme der Durchsichtigkeit während der wärmeren Jahreszeiten zu erklären, beweisen folgende durch die Beobachtungen festgestellten Tatsachen.

1. Der zeitliche Abstand des Maximums der Temperatur und des Minimums der Transparenz. Trotz der wahrgenommenen Parallelität der Durchsichtigkeits- und Wassertemperaturkurve fallen deren Wendepunkte nicht auf denselben Zeitpunkt; es verspätet sich z. B. im Küssnacherbecken das Maximum der Oberflächentemperatur gegenüber dem Minimum der Durch-

---

<sup>1)</sup> Vergl. X. Arnet, Durchsichtigkeit des Wassers, II. Heft der Mittlgn.

sichtigkeit um zirka einen Monat. Noch grösser ist, wie wir später sehen werden, die Verspätung des Maximums der Temperatur der innern Schichten des Sees, welche für die Transparenz wesentlich in Betracht fallen. Würde der Wärmegehalt des Wassers den Hauptanteil an der Durchsichtigkeitsabnahme haben, so müsste das Maximum der letzteren in die Zeit des grössten Wärmegehaltes, also in den August oder September fallen. (Vergl. Vierter Teil, Tiefentemperatur.)

2. Die zeitweise plötzlich auftretenden und mehr oder weniger rasch wieder verschwindenden starken Seetrübungen, ohne dass damit erhebliche Temperaturveränderungen verbunden wären.

3. Die einleitend beschriebene Art des Verschwindens der Secchischen Scheibe an der Grenze ihrer Sichtbarkeit, die ähnlich ist dem plötzlichen Unsichtbarwerden eines Gegenstandes in einer Nebel- oder Wolkenschicht.

Es scheint also die Hauptursache der wahrgenommenen Durchsichtigkeitsveränderungen des Sees nicht in den direkten oder indirekten Wirkungen des zu- und abnehmenden Wärmegehaltes des Sees, als vielmehr in den durch grössere Niederschläge veranlassten mechanischen Trübungen durch Verunreinigungen gesucht werden zu müssen. Doch ist diese zwar naheliegende und der Anschauung durchaus entsprechende Annahme bei näherer Prüfung nicht so einfach und selbstverständlich, als sie auf den ersten Blick zu sein scheint.

Sehr oft ist nämlich das durch Niederschläge oder Schneeschmelze stark mit mineralischem Schlamm, Gesteinsdetrit, beladene Wasser der Zuflüsse infolge dieser Verunreinigung, sowie wegen Temperaturdifferenzen spezifisch schwerer, als dasjenige des Sees. Es wird daher bei seinem Einfluss in den See in seiner ganzen Masse in die Tiefe sinken, ohne erhebliche Trübungen des Sees auf weitere Strecken hin zu verursachen. Dieses Verhalten ist beim Einfluss der Reuss in den Urnersee öfters zu beobachten<sup>1)</sup>. Bei Einmündung der Rhone in den Genfer-

---

<sup>1)</sup> Betreffend diesbezüglicher Beobachtungen von Heim berichtet Arnet a. a. O. Heft II. der Mittlgn.

see und besonders bei derjenigen des fast immerwährend trüben Rheines in den Bodensee ist dies nach Forel die Regel. Letzterer fällt sozusagen das ganze Jahr gleich einem unterseeischen Wasserfall in die Tiefe und hat infolgedessen auf dem Grund des Sees eine auf grössere Strecke verfolgbare Rinne gegraben<sup>1)</sup>.

Im Vierwaldstättersee kann man zeitweise auch bei den kleineren durch Gewitter oder Schneeschmelze angeschwollenen Zuflüssen ein ähnliches rasches Versinken des trüben Wassers beobachten, so der Muota bei Brunnen und der Engelberger Aa bei Buochs, und namentlich auch beim Einfluss des Wassers des Alpnersees in den Vierwaldstättersee bei Stansstad. Bei meinen Messungen am 10. Februar 1899 hatte der Alpnersee bei Rotzloch eine Oberflächentemperatur von 4 Grad und eine Durchsichtigkeit von nur 1,2 m. Von da bis zur Einschnürung bei der Achereggbrücke stieg die Temperatur nach und nach bis 5 Grad. In dem anstossenden Becken des Vierwaldstättersees zwischen Stansstad und Hergiswil war die Oberflächentemperatur 5,3 und die Durchsichtigkeit des Wassers 12 m. Die Aenderung der Farbe und Zunahme der Durchsichtigkeit vom ersteren zum letzteren Seebecken war keine successive, sondern sozusagen eine unmittelbare. Dem Auge eines Beobachters auf einem passenden Aussichtspunkte des Pilatus macht sich diese Erscheinung oft sehr auffällig bemerkbar, indem der Alpnersee über die durch die Brücke gebildete Begrenzung hinaus in Form eines scharf begrenzten gelblichen Deltas in den bläulichen Vierwaldstättersee hineinragt.

Die Verhältnisse verändern sich natürlich etwas, wenn der See mehr oder weniger stark durch Winde bewegt ist. In diesem Fall werden von dem einflussenden trüben Wasser, trotz dessen grösserer Dichtigkeit, Teile abgerissen und mit dem Oberflächenwasser vermennt, wodurch in diesem grössere oder geringere Trübungen entstehen.

Bei ruhigem See jedoch vermag der durch Niederschläge oder Schneeschmelze getrübe Zufluss im See nur dann auf eine grössere Strecke hin erhebliche Trübung zu erzeugen, wenn er hier eine obere Schicht von angenähert gleichem

---

<sup>1)</sup> Forel, Transparenz und Farbe des Bodensees; ferner Leman, II., p. 430.

spezifischen Gewicht antrifft. Die Wahrscheinlichkeit dieses Erfolges ist aber um so grösser, je grösser der Temperaturunterschied der einzelnen Wasserschichten, d. h. je ausgesprochener die sogenannte thermische Schichtung des Sees ist. Wie wir sehen werden, ist dieselbe besonders zur hohen Sommerszeit stark ausgebildet. Ist zudem der See noch mehr oder weniger bewegt, wie dies im Sommer oft der Fall ist, so wird dadurch die Vermengung des trüben Wassers mit dem See noch mehr gefördert.

Innert welchen Grenzen sich die Dichtigkeitsänderungen des reinen Wassers infolge von Temperaturänderungen bewegen, zeigen folgende Zahlen:

<i>Temperatur</i> ° C.	<i>Gewicht von 1 l Wasser</i> gr	<i>Differenz</i> mg
0	999.871	
1	928	57
2	969	41
3	991	22
4	1000.000	9
5	999.990	10
6	970	20
7	933	37
8	886	47
9	824	62
10	747	77

Von 10° bis 20° wachsen die Gewichts-differenzen von 92 bis 212 mg.

Um nun einigermaßen den *Einfluss der Niederschläge* auf die Seetrübung zu bemessen und die Erklärung der durch die Beobachtungen ermittelten Veränderungen der letzteren im Laufe des Jahres zu suchen, wollen wir die *Niederschlagsmessungen* der meteorologischen Station Luzern in Vergleich ziehen mit den Durchsichtigkeitsmessungen in dem dieser Station nahe-  
liegenden Küsnacherbecken, für welches eine vierjährige Serie solcher Messungen vorliegt. Die Mittelzahlen betreffend Niederschlagsmengen und Durchsichtigkeit dieser vier Jahre sind in folgender Uebersicht zusammengestellt:

<i>Monat:</i>	<i>Niederschläge:</i>		<i>Mittlere Transparenz:</i>
	<i>Tage</i>	<i>mm</i>	<i>m</i>
Januar . . . . .	10	60	12,3
Februar . . . . .	10	52	13,4
März . . . . .	9	61	13,2
April . . . . .	15	133	9,1
Mai . . . . .	14	132	8,8
Juni . . . . .	15	139	7,8
Juli . . . . .	12	153	6,3
August . . . . .	10	116	7,2
September . . . . .	11	107	7,4
Oktober . . . . .	10	95	9,2
November . . . . .	6	85	11,3
Dezember . . . . .	10	58	13,5
<i>Jahreszeiten:</i>			
Winter (XII.—II.) . . . . .	39	170	13,1
Frühling (III.—V.) . . . . .	38	326	10,4
Sommer (VI.—VIII.) . . . . .	37	408	7,1
Herbst (IX.—XI.) . . . . .	27	237	9,6
<i>Fahr</i> . . . . .	132	1141	10,0

Teilt man das Jahr in zwei gleiche Teile, in das Sommerhalbjahr, von März bis August, und das Winterhalbjahr, von September bis Februar, so ergeben sich folgende Zahlen:

	<i>Sommerhalbjahr</i>	<i>Winterhalbjahr</i>
Zahl der Niederschlagstage . . . . .	75	57
Menge der Niederschläge . . . . .	734 mm	407 mm
Mittlere Durchsichtigkeit des Sees . . . . .	8,8 m	11,4 m

Aus diesem Vergleich ergeben sich unverkennbar folgende Tatsachen:

1. Den Wintermonaten, Dezember bis Februar, und dem ersten Frühlingsmonat, März, mit den kleinsten, ziemlich gleichen Niederschlagszahlen, kommen die grössten, ebenfalls wenig von einander verschiedenen Durchsichtigkeitszahlen zu.

2. Mit Zunahme der Niederschläge vom April an vermindert sich die Durchsichtigkeit des Sees; das Maximum der Niederschlagsmenge, sowie das Minimum der Durchsichtigkeit fallen beide in denselben Monat (Juli).

3. Mit der Abnahme der Niederschlagsmenge vom August an steigt die Durchsichtigkeit wieder.

Es ist damit die ausgesprochene Abhängigkeit der Transparenz von der Menge der Niederschläge in unzweideutiger Weise dargetan.

Wir resümieren dieses Ergebnis dahin:

*Die Abnahme der Durchsichtigkeit des Sees vom März bis Juli und die nachfolgende Zunahme derselben vom Juli bis in die Wintermonate hinein ist vorwiegend bedingt durch die Zunahme der Niederschläge im ersten und die Abnahme derselben im zweiten Halbjahr.*

*Die Trübung des Sees wird dabei durch die thermische Schichtung des Sees im Sommer gefördert, weil dann die trüben Wasser der Zuflüsse eher eine Wasserschicht von gleichem spezifischem Gewicht antreffen, um sich mit derselben zu vermischen.*

#### **b) Ursachen der Verzögerungen in der Wiederaufhellung des Sees bei der Wiederabnahme der Niederschläge.**

Wie wir im vorigen Abschnitt gesehen, geschieht die Klärung des Sees nach Ueberschreitung des Minimums der Transparenz in etwas langsamerem Tempo, als die vorherige Trübung desselben. Stellen wir uns nun die Frage: In welchem Verhältnis steht der Wiederaufhellungsprozess des Sees zu der Abnahme der Niederschläge?

Forel fand auf experimentellem Weg, durch Beimengung mehr oder weniger feinen mineralischen Staubes, folgende entsprechende Durchsichtigkeiten des Wassers<sup>1)</sup>:

Suspendierter Staub	10 mg per Liter;	Sichtbarkeitsgrenze	1 m		
”	”	5 ”	”	”	2 ”
”	”	2 ”	”	”	5 ”
”	”	1 ”	”	”	10 ”
”	”	0,5 ”	”	”	20 ”

Demnach ist das Mass der Transparenz umgekehrt proportional der Menge der suspendierten Stoffe. Nehmen wir nun an, im Seewasser sei letztere im Mittel proportional der Niederschlags-

<sup>1)</sup> Leman II, p. 428.

menge, was bis zu einem gewissen Grade zutreffen wird, so müsste die Transparenz auch umgekehrt proportional der Niederschlagsmenge sein, oder die Produkte dieser beiden Masszahlen müssten, wenigstens angenähert, gleich gross ausfallen. Die Berechnung gibt hiefür an Hand der oben angeführten Mittelzahlen des Küssnacherbeckens, wenn wir zur Vermeidung grösserer Zahlen jedes Produkt durch 100 dividieren, folgende Werte:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
7,4	7,0	8,0	12,1	11,6	10,8
Juli	August	Septemb.	Oktober	Novemb.	Dezemb.
9,6	8,4	7,9	8,7	9,6	7,8

Es ist gewiss nicht zufällig, dass alle diejenigen Produkte, welche den Monaten mit zunehmender Seetrübung angehören, merklich grösser sind, als alle anderen, und dass diese letzteren vom Juli an bis in den Februar successive abnehmen. Es scheint mir dies die Bedeutung zu haben, dass den Monaten mit abnehmenden Niederschlagsmengen eine geringere Durchsichtigkeit des Sees entspricht, als ihnen gemäss ihrer Niederschlagszahlen zukommen sollte.

Diese Beobachtung hat an sich nichts Auffälliges. Vielmehr wäre zu erwarten, dass diese Seeaufhellung in noch langsamerem Tempo erfolgen sollte, weil die einmal vorhandene Trübung eine gewisse Zeit braucht, um wieder zu verschwinden; dass also infolge neu hinzukommender Niederschläge und Trübungen eine Art Aufspeicherung der suspendierten Stäubchen erfolgen sollte, ähnlich wie dies auch beim Wärmegehalt des Wassers der Fall ist. Es erscheint daher eher auffällig, dass das Maximum der Seetrübung nicht merklich später eintritt, als dasjenige der Niederschläge. Dass dem nicht so ist, beweist, dass die Wiederaufhellung des Sees nach eingetretenen Trübungen faktisch sehr rasch erfolgt und daher die Aufspeicherung der im Wasser suspendierten Stäubchen, wenigstens im äusseren, weniger unter der Einwirkung grösserer Zuflüsse stehenden Teil des Sees, nur eine verhältnismässig geringe ist. Dieselbe vermag das Maximum der Seetrübung nicht bedeutend über die Zeit desjenigen der Niederschläge hinaus zu verzögern.

Es ist dem gegenüber z. B. die Aufspeicherung des Wärmegehaltes des Sees eine viel nachhaltigere und tritt daher auch das Maximum derselben bedeutend später ein, als dasjenige der Lufttemperatur. Wir resümieren also:

*Die wahrgenommene Verlangsamung der Wiederaufhellung des Sees im Vergleich zur Abnahme der Niederschläge ist als Nachwirkung früherer Trübungen des Sees, wozu dann noch die vorher erörterten lichtabsorbierenden Wirkungen des vorhandenen Wärmegehaltes des Wassers kommen, hinreichend begründet. Faktisch erfolgt die Seeklärung, wenigstens bis zu einem mittleren Grad der Durchsichtigkeit, verhältnismässig viel rascher als die Seeabkühlung.*

### **c) Ursachen der Anomalien im Verlaufe der Transparenzveränderungen.**

Die vorstehenden Betrachtungen über den allgemeinen Verlauf und die Ursachen des Prozesses der Seetrübung und der Seeklärung stützen sich hauptsächlich auf die Mittelzahlen aus den mehrjährigen Beobachtungen im Küssnacherbecken. Um auch im einzelnen die Abhängigkeit der Transparenz des Sees von den Niederschlägen verfolgen und beurteilen zu können, sind auf der betreffenden Tafel III. der Beilagen für jeden einzelnen Monat aller Beobachtungsjahre die Niederschlagsmessungen im Verhältnis zur Normalen des Monats nach den Messungen der Meteorologischen Station Luzern in Form eines Bruches beigesezt. Strenggenommen sollten die lokalen Niederschlagsmengen von einer Durchsichtigkeitsmessung zur nächstfolgenden in Vergleich gezogen werden.

Ein Vergleich der angeführten Niederschlagszahlen mit dem Verlauf der betreffenden Transparenzkurve ergibt die unverkennbare Abhängigkeit der Durchsichtigkeit des Sees von der Menge der Niederschläge, so dass eine nähere Hervorhebung der Details unnötig scheint. Eher scheint es angezeigt, auf vereinzelte Abweichungen und scheinbar widersprechende Erscheinungen besonders aufmerksam zu machen.

In erster Linie ist der schon im vorigen Abschnitt erwähnte entgegengesetzte Verlauf der Zickzackbewegungen in der Durch-

sichtigkeitskurven des Küssnacher- und des Luzernerbeckens im Frühjahr 1898 anzuführen. Vergleicht man die Zacken mit den Niederschlagszahlen, so findet man, dass vom Januar bis in Mai die Küssnacherkurve sich den Schwankungen der Niederschläge im angegebenen Sinne besser anschmiegt, als diejenigen der Luzerner Kurve. Die Zacken der letzteren scheinen gegen diejenigen der ersteren eine Verspätung von fast einem Monat zu haben.

Das Verhalten der Küssnacher Transparenzkurve ist leicht erklärlich, da an der betreffenden Beobachtungsstelle mit bloss 20 m Seetiefe das Wasser schneller von den durch die Niederschläge verursachten Trübungen beeinflusst wird, als dies in der viel tieferen Luzernerbucht der Fall ist.

Die Verspätung der Zacken der Luzerner Kurve ist meines Erachtens nur eine zufällige Erscheinung. In Wirklichkeit haben wohl die betreffenden Zacken der letzteren Kurve andere Entstehungsursachen. Es ergibt sich diese Tatsache, wenn man den gleichzeitigen Verlauf der Lufttemperatur in Betracht zieht. Den starken Trübungen des Luzernersees im März und anfangs Mai geht nach den Aufzeichnungen der Meteorologischen Station Luzern mildes, trockenes Wetter voraus. In der zweiten Hälfte April werden Lufttemperaturen von  $8^{\circ}$  bis  $20^{\circ}$  verzeichnet. Die betreffenden zwei Zacken sind daher die Folge der Schneeschmelze und der daherigen Anschwellungen der kleineren und grösseren Zuflüsse. Auch die auffällige Trübung von Ende Januar, im Gegensatz zu der grossen Durchsichtigkeit des Küssnacherbeckens, hat ihre Ursache in dem ausserordentlich warmen und trockenen Witterungscharakter dieses Monats, mit einer Mitteltemperatur von  $+10,8^{\circ}$ . Arnet charakterisiert denselben in seiner Witterungsübersicht über das Jahr 1898 (Seite 491 des III. Heftes der Mitteilgn.) als ganz *ungebührend warm* mit der ausserordentlich grossen positiven Abweichung von  $2,2^{\circ}$  von seiner normalen Temperatur. Der Umstand, dass das Maximum dieser Januartrübung erst auf Ende des Monats fällt, und dass dieselbe im Küssnacherbecken überhaupt sich nicht bemerkbar macht, beweist, dass das durch die grösseren Zuflüsse zugeführte Schmelzwasser aus den höheren Regionen des Einzugsgebietes des mittleren und inneren Teiles des Sees, mit späterer Schneeschmelze, herstammte.

Umgekehrt macht die Wirkung des wiederum aussergewöhnlich warmen Januars des folgenden Jahres sich in sehr starkem Grade im Küssnacherbecken geltend, während sich im Luzernerbecken eher eine Durchsichtigkeitszunahme einstellte. Wie aber schon gelegentlich bemerkt worden ist, besteht für letztere Station um diese Zeit in den Beobachtungen eine grössere Lücke, so dass eine eventuelle, dazwischen gelegene zeitweise Trübung unbeachtet bleiben konnte. Ferner ist ein erheblicher Anteil an erwähnter aussergewöhnlicher Trübung dem sehr stürmischen Wetter dieses Monates, wodurch das seichtere Küssnacherbecken stark aufgewühlt wurde, zuzuschreiben. So wird von der meteorologischen Station am 14. des Monats ein starker Sturm und Regen verzeichnet, wodurch an vielen Orten Wasserschaden, Ueberschwemmungen und Lawinen entstanden. Am 17. wieder stürmisches Wetter und am 16. und 17. bis 12 und 13<sup>o</sup> Wärme, welche jedenfalls tüchtige Schneeschmelze in der Höhe zur Folge hatte. Das nachher folgende schöne und kühle Wetter zu Ende des Monates bewirkte dann wieder die sehr rasche Aufhellung des Sees von 5 auf 14 m Durchsichtigkeit.

Eine ähnliche, wenn auch weniger starke Januartrübung ist ebenfalls im Jahre 1900 und zwar sowohl im Küssnacher als im Luzerner Seebecken zu konstatieren, welche wiederum ihre Ursache in zeitweiser besonders milder Witterung hat. Die Mitteltemperatur des Januars war  $+ 1,9^{\circ}$ , statt normal  $-- 1,4^{\circ}$ . Am Nachmittag des 17. dieses Monates notiert die meteorologische Station sogar eine Lufttemperatur von 12<sup>o</sup>.

Eine fernere analoge Erscheinung ist der starke Ausschlag der Luzerner Kurve von 15 m auf 8 m Durchsichtigkeit im ausserordentlich trockenen November 1899. Auch diese erklärt sich aus den besondern Temperatur-Verhältnissen dieses Monates. Der ganze November war sehr mild; am 4. hatte Luzern eine Nachmittagstemperatur von 18<sup>o</sup>. Auf den Höhen war die Witterung ebenfalls lange Zeit hell und warm. (Arnet, a. a. O.) Es müssen daher in jenen Regionen wieder starke Schneeschmelzen und infolgedessen Anschwellung der grösseren Zuflüsse des Sees eingetreten sein. Daher erklärt sich auch hier die Erscheinung, dass dabei die Durchsichtigkeit im Küssnacherbecken nicht im

gleichen Masse wie diejenige im Luzernerbecken beeinträchtigt wurde.

Sehr eigentümlich ist die aussergewöhnlich starke Durchsichtigkeitszunahme von zirka 5 m nach wenigen schönen Tagen zu Anfang des Juni 1900 und nach vorheriger starker Trübung infolge des regnerischen Mai. Man wäre fast versucht, einen Irrtum in der Ablesung anzunehmen, wenn nicht die Zuverlässigkeit des Beobachters dies verbieten würde. Noch auffälliger ist der frühe Eintritt des unmittelbar darauf folgenden Maximums der Seetrübung dieses Sommers, das schon auf Ende des Monats Juni fällt, trotz des sehr trockenen Charakters dieses Monats, mit bloss 83 (statt normal 153) mm Niederschlagsmenge; während im darauffolgenden überaus nassen Juli, mit 302 (statt normal 155) mm Regenmenge, der Abstieg der Transparenzkurve beginnt. Die genannte Junizinke muss daher anderswo ihre Ursache haben; vielleicht in Schneeschmelze im Hochgebirge oder lokalen Planktonschwärmen, was wir dahingestellt sein lassen müssen.

#### *d) Ursachen der lokalen Veränderungen und Abstufungen der Transparenz.*

Wie wir gesehen, ist im allgemeinen die Abklärung des Sees nach einer vorausgehenden Trübung durch Schneeschmelze oder Niederschläge eine verhältnismässig sehr rasche, wenigstens bis zu einem gewissen mittleren Grade der Durchsichtigkeit. Daher vermögen im Küsnach-Luzernerbecken Schneeschmelze und zunehmende Niederschläge die Transparenzkurve wohl auf einen gewissen Punkt grösster Trübung zu bringen; jedoch sind die nach diesem Zeitpunkt erfolgenden, immer noch erheblichen Niederschläge nicht mehr imstande, die Trübung länger auf diesem Niveau zu erhalten, so dass sofort eine ziemlich rasche Transparenzzunahme eintritt. Die Aufspeicherung der trübenden Schwemmstoffe geschieht also nur in einem ganz geringen Masse.

Die Sache verändert sich aber, sobald das Quantum der zugeschwemmten trübenden Stoffe zeitlich infolge aussergewöhnlichen Niederschlagsmengen oder aber lokal durch verhältnismässig grössere Zuflussmengen eine grössere wird, und dabei

zudem der thermische Zustand des Sees der Vermengung der trüben Zuflusswasser mit den oberen Wasserschichten derselben förderlich ist.

So erklärt sich die ausserordentliche Verbreiterung des Wellenberges des Jahres 1901 in der Küssnacher Tranzparenzkurve beim Vergleich derselben mit den ausserordentlichen Niederschlagszahlen dieses Sommers. Im Verlauf dieser Kurve (Tafel III.) machen sich sowohl die anormalen starken Niederschlagsmengen des April als die schönen Tage des Mai durch entsprechende Bewegungen geltend. Auch einige schöne Tage Ende Juni und im August kommen durch eine Senkung der Kurve zum Ausdruck. Allein der darauffolgende nasse September schnellt diese wieder über die vorigen Kulminationspunkte hinauf und verspätet so das Maximum der Trübung bis in diesen Monat hinein.

Was hier die anormalen Niederschläge eines Jahres, das bewirken in den seeaufwärts gelegenen Seebecken auch in normalen Witterungsjahrgängen die verhältnismässig grösseren Mengen des infolge von Niederschlägen und Schneeschmelze mit Gesteinsdetrit und organischen Stoffen beladenen Wassers der Zuflüsse, wie folgende Zahlen beweisen.

Nach Burckhardt (Mittlgn., Heft III., p. 141) beträgt das durch fliessende Gewässer dem ganzen Vierwaldstättersee, incl. Alpnachersee, zugeführte Wasserquantum im Mittel  $\frac{2}{3}$  zirka  $91,1 \text{ m}^3 \text{ sec}$ . Davon entfallen auf die Zuflüsse des Urner- oder Flüelerbeckens (Reuss etc.)  $52,2$ , auf diejenige des Gersauerbeckens (Muota, Engelberger Aa etc.)  $28,1$ , auf diejenigen des vordern oder äusseren Sees dagegen bloss  $5,2$  und auf die des Alpnachersees  $5,6 \text{ m}^3 \text{ sec}$ .

Der Vergleich dieser Zuflussmengen mit dem Kubikinhalte des betreffenden Seebeckens ergibt folgendes:

<i>Seebecken:</i>	<i>Kubikinhalte</i> in $\text{km}^3$	<i>Debit der Zuflüsse</i>	
		im Ganzen in $\text{m}^3 \text{ sec}$ .	auf $1 \text{ km}^3$ in $\text{m}^3 \text{ sec}$ .
Flüelerbecken . . .	3,18	52,2	16,4
Gersauerbecken . . .	4,48	28,1	6,3
Äusserer See . . .	4,25	5,2	1,2
Alpnachersee . . .	0,09	5,6	62,2
Ganzer See . . . .	12,00	91,1	7,6

Nicht in Berechnung gezogen ist hierbei das einem unteren Seebecken durch das nächst obere zufließende, bereits geläuterte Wasserquantum. Dieses ist jedoch für den Trübungsgrad des ersteren ohne grosse Bedeutung; beträgt doch die mittlere Durchlaufzeit des Wassers durch die Hauptbecken nach Burckhardt rund ein bis zwei Jahre, und für den ganzen See sogar  $3\frac{1}{4}$  Jahre.

*Es ist somit die lokale Abstufung der Transparenz hauptsächlich bedingt durch das Verhältnis des Quantums der dem Wasser durch die Zuflüsse zugeführten und beigemengten mineralischen und organischen Schwemmstoffe zu der Wassermasse des betreffenden Seebeckens.*

Schliesslich wollen wir noch auf einige unverkennbare Koincidenzen einzelner Zacken der Flüeler und Alpnacher Transparenzkurve des Jahres 1900 (Tafel V. und VI.) aufmerksam machen, welche auf eine gemeinsame, in den Witterungsverhältnissen zu suchende Ursache hindeuten. So findet sich an Stelle der hohen spitzen Zinke der Flüeler Kurve zu Ende Februar in der Alpnacher Kurve eine ziemlich starke, freilich viel breitere und abgestumpfte Welle. Im April, Juni, Juli, August und September entspricht fast jeder Hebung und Senkung der einen zeitlich an gleicher Stelle auch eine solche der andern Kurve.

Diese ausgesprochenen Parallelitäten der Transparenzkurven zweier nicht miteinander kommunizierender, vielmehr sehr weit voneinander abliegender Seebecken lassen sich nur aus ungefähr gleichzeitige Trübungen infolge der durch ähnliche Witterungsverhältnisse im Quellgebiete verursachten Anschwellungen der Zuflüsse erklären.

## **VI. Absolute Grenze für das Eindringen des Lichtes.**

(Vergleich mit anderen Schweizerseen.)

Zur Bestimmung der Grenze, bis zu welcher überhaupt noch Lichtstrahlen in das Wasser eines Sees eindringen, oder der Grenze der vollständigen Dunkelheit des Sees, bedient man sich der photographischen Methode, d. h. man bestimmt die Tiefe, bis zu der eine untergetauchte lichtempfindliche Substanz vom Tageslicht überhaupt noch beeinflusst wird. Solche

Substanzen gibt es bekanntlich von sehr verschiedener Empfindlichkeit. Forel fand es aus praktischen Gründen für vorteilhafter, bei seinen Untersuchungen im Genfer- und im Bodensee (1887—89), eine Substanz von mittlerer Empfindlichkeit, nämlich Chlorsilber, mit möglichst langer Expositionsdauer anzuwenden (Methode Forel). Zu dem Zwecke versenkte er eine Anzahl, in Distanzen von 10 m, in passenden Rahmen an einem Kordon befestigte Albuminsalz-Papierblätter, welche zuvor in einem Bad von salpetersaurem Silber empfindlich gemacht worden waren, bei Nachtzeit an betreffender Stelle in den See. Nach einer Expositionsdauer von einem oder mehreren Tagen, je nach der Witterung, wurden dieselben wiederum bei Nachtzeit heraufgeholt und nachher die Tiefe bestimmt, bis zu welcher noch Lichteinwirkungen auf die betreffenden Blätter nachweisbar waren.

Ueber das Ergebnis dieser Untersuchungen wurde zur Zeit an dieser Stelle (Arnet, Mittlg. II.) bereits berichtet. Forel fand für den Genfersee die Grenze der vollständigen Dunkelheit im Sommer ungefähr bei 45 und im Winter bei ca. 110 m Tiefe; als Jahresmittel ergibt sich rund 80 m. Ferner konstatierte er, dass die Jahreskurve der Grenzpunkte der vollständigen Dunkelheit ziemlich parallel verlaufe zu derjenigen der Transparenz. Aus den betreffenden Beobachtungszahlen (Leman II., p. 438) ergibt sich, dass die Grenze der Einwirkung des Lichtes auf Chlorsilber im Mittel 7,6 mal so tief liegt, als diejenige der Durchsichtigkeit oder Transparenz. Im Winter, d. h. zur Zeit des Maximums der Seeklarheit, ist dieses Verhältnis etwas geringer und beträgt ca.  $6\frac{2}{3} : 1$ , dagegen im Sommer oder zur Zeit der grössten Trübung etwas grösser, nämlich ungefähr 8 : 1.

Im Vierwaldstättersee wurden bis jetzt keine derartigen photographische Messungen der Lichteinwirkungsgrenze angestellt. Wir sind daher vorläufig angewiesen, auf indirektem Wege, durch Anwendung der obstehenden Verhältniszahlen Näherungswerte für diese Grenze herzuleiten. Auf dieselbe Weise erhielt zur Zeit Arnet aus seinen Transparenzbestimmungen als Grenze des Lichteindringens in der Luzernerbucht im Minimum 20, im Maximum 110 und im Mittel zirka 52 m. (Heft II der Mittlg.)

Nach den Ergebnissen unserer Transparenzbestimmungen in den verschiedenen Seebecken erhält man auf demselben indirekten Wege die folgenden abgerundeten Zahlenwerte.

Seebecken:	Grenze der Lichteinwirkung auf Chromsilber:		
	Maximum: (Winter)	Minimum: (Sommer)	Jahresmittel:
Luzernerbucht	105 m	55 m	80 m
Küssnacherbecken	110 m	40 m	75 m
Hergiswilerbecken	95 m	35 m	70 m
Ganzer äusserer See	110 m	35 m	80 m
Gersauerbecken	105 m	45 m	75 m
Flüelerbecken	110 m	20 m	55 m
Ganzer Vierwaldst.-See	110 m	35 m	70 m
Alpnachersee (gr. Tiefe 33 m)	45 m	15 m	25 m

Zur Zeit der grössten Klarheit des Sees sind daher im ganzen die Grenzen des Lichteindringens oder der vollständigen Dunkelheit im hiesigen See ziemlich die gleichen, wie im Genfersee; dagegen sind dieselben im Sommer im Vierwaldstättersee entsprechend der grössern Seetrübung um 10 m kleiner, als im Genfersee; infolge dessen wird auch das Gesamtmittel für den ganzen See (70 m) etwas niedriger, als dasjenige des Lemans (80 m).

Im *Alpnachersee* ist diese Grenze wesentlich geringer; sie beträgt hier im Mittel nur etwas mehr als ein *Drittel* derjenigen des Hauptsees.

Im *Bodensee* liegt nach Forel sowohl die Grenze der Transparenz als der vollständigen Dunkelheit im Mittel ungefähr halb so tief, als im Lemans. (Transparenz und Farbe des Bodensees, a. a. O.)

In den Jahren 1884—86 machten zwei Mitglieder der Genferkommission, H. Fol und E. Sarasin, ebenfalls photographische Bestimmungen der Grenze der vollständigen Dunkelheit im Genfersee, und zwar mit Apparaten, welche es erlaubten, statt des Chlorsilbers das viel lichtempfindlichere Jodbromsilber anzuwenden und die Experimente im See am Tag vorzunehmen, wobei eine Expositionsdauer von blos etwa 10 Minuten erforderlich war. Nach dieser Methode konnten bei

grösster Seeklarheit noch Lichteinwirkungen bis in Tiefen von rund 200 m, in einem Fall sogar bis auf 240 m konstatiert werden.

*Es beträgt somit die Tiefe der Grenze der absoluten Dunkelheit für das sehr lichtempfindliche Jodbromsilber im Mittel ungefähr das Doppelte derjenigen für Chlorsilber, oder also etwa das Fünfzehnfache der mittleren Transparenz.*

Zum Schlusse dieses Abschnittes geben wir in folgender Uebersicht für die obgenannten Seen resümierend einige Vergleichszahlen betreffend die Extreme und die Jahresmittel der Transparenz, sowie der vollständigen Dunkelheitsgrenzen für das Jodbromsilber, also für das Lichtreagens von mittlerer Empfindlichkeit, und zwar jeweilen bei den grösseren Seen auch in ihrem oberen, mittleren und unteren Teil.

**Tabelle XV.**

Vergleichstabelle über die Grenzen der Transparenz und vollständigen Dunkelheit.

	Tiefe der Grenze für die					
	Transparenz (Secchische Methode)			Vollst. Dunkelheit (Reaktion a. Chlorsilb.)		
	Minimum	Maximum	Jahresmttl.	Minimum	Maximum	Jahresmttl.
<b>I. Genfersee.</b>	m	m	m	m	m	m
Bei Meillerie . . . . .	5,6	13,1	9,0	45	85	70
„ Morges . . . . .	5,3	15,4	10,1	45	110	80
„ Nernier . . . . .	6,7	17,2	11,0	55	115	85
Ganzer See, Mittel . . . . .	6,2	15,5	10,2	50	110	80
<b>II. Bodensee.</b>						
Bei Bregenz . . . . .	2,2	5,1	3,3	20	35	25
„ Friedrichshafen . . . . .	4,5	7,9	5,2	30	45	35
„ Konstanz . . . . .	7,6	10,6	8,7	60	70	65
Ganzer See, Mittel . . . . .	4,3	6,7	5,4	35	45	40
<b>III. Vierwaldstättersee.</b>						
Im Flüelerbecken . . . . .	2,5	15,2	7,2	20	110	55
„ Gersauerbecken . . . . .	5,3	12,5	9,6	40	105	75
„ Luzernerbecken . . . . .	7,5	14,2	10,4	60	110	80
Ganzer See, Mittel . . . . .	5,6	13,7	9,4	45	110	70
<b>IV. Alpachersee</b> . . . . .	2,1	3,8	3,2	15	30	25

Dabei wiederholen wir die folgenden Bemerkungen:

- a) Für die Lichteinwirkung auf das besonders lichtempfindliche Jodbromsilber verschiebt sich die Grenze der vollständigen Dunkelheit auf zirka die doppelte Tiefe derjenigen der Einwirkung auf das weniger empfindliche Chlorsilber.
- b) Nur für die Station Morges des Genfersees beruhen die Zahlen der zweiten Rubrik (Vollst. Dunkelheit) auf direkten Beobachtungen; die übrigen Zahlen dieser Rubrik sind auf indirektem Wege bestimmt worden.



# Dritter Teil.

---

## Die Farbe des Vierwaldstättersees.

---

### I. Beobachtungen in den verschiedenen Seebecken.

Unter der *Farbe* des Sees verstehen wir hier nicht das optische Verhalten seiner Oberfläche im reflektierten Lichte, sondern die sogenannte Eigenfarbe seines Wassers, wie sie sich bei genügender Dicke der Wasserschicht im durchscheinenden Lichte dem Auge wahrnehmbar macht. Bei Beobachtung der Farbe des Sees muss daher die Wassermasse desselben vom Tageslicht gut durchleuchtet sein und durch Blendungen dafür gesorgt werden, dass die Reflexlichter der Oberfläche möglichst vom Auge fern gehalten werden.

Für die exakte Bestimmung der Farbe des Wassers der Seen zu wissenschaftlichen Zwecken hat Forel eine jetzt allgemein bei Seeuntersuchungen angenommene Farbenskala konstruiert, welche wie folgt hergestellt wird. Es werden zwei verschiedene Lösungen hergestellt, nämlich eine *blaue*, bestehend aus 1 Teil schwefelsaurem Kupfer, 5 Teilen Ammoniak und 194 Teilen destilliertem Wasser, und eine *gelbe*, bestehend aus 1 Teil neutralem chromsaurem Kali und 199 Teilen destilliertem Wasser. Diese beiden Flüssigkeiten werden nach dem Gesetz einer arithmetischen Reihe zweiter Ordnung gemischt, indem zu je 0, 2, 5, 9 . . . . . 65 Teilen der gelben beziehlich 100, 98, 95, 91 . . . . . 35 Teile der blauen hinzugesetzt werden. (Bei mehr als 50% gelber Flüssigkeit sind einige Tropfen Ammoniak zur Klärung zuzusetzen.) Dadurch erhält man Mischungen von 11 verschiedenen Farbennuancen vom Blau bis Gelb, welche vom Blau angefangen beziehlich mit I, II . . . . . XI bezeichnet werden. Für den Gebrauch werden mit den so hergestellten Flüssigkeiten kleine Glas-Tuben von ca. 8 mm Dicke und 13 cm Länge gefüllt und diese dann durch Zu-

schmelzen hermetisch verschlossen. Elf solcher verschiedenfarbiger Glas-Tuben in der Reihenfolge I—XI in einen hölzernen Rahmen gefasst, bilden eine für den Vergleich der Farbe mit der des Wassers und der Nummerbestimmung der letzteren sehr praktische Skala.

Bei unserer Seeuntersuchung wurden solche Farbbestimmungen mit den von Kantonschemiker Dr. Schumacher nach obigen Vorschriften hergestellten Skalen jeweilen anlässlich der übrigen Beobachtungen betreffend Temperatur und Transparenz vorgenommen; dieselben sind daher von ähnlicher Vollständigkeit wie letztere, und datieren hauptsächlich aus den Jahren 1898 bis 1900. Im Küssnacherbecken wurden sie auch seither noch fortgesetzt; doch machte ich leider zu spät die Entdeckung, dass in den letzten Jahren, d. h. seit 1900 die verwendeten Farbskalen etwelche Veränderung im Sinne einer Verblässung besonders des blauen Teils, wahrscheinlich infolge Desoxydation der Farbstoffe, erlitten hatten. Zur grösseren Sicherheit wurden daher alle Beobachtungen seit 1900 eliminiert und nur diejenigen der ersten Jahre 1898 und 1899 berücksichtigt.

Die Ergebnisse dieser Beobachtungszeit sind in folgender Tabelle in XVI. Uebersicht zusammengestellt, wobei der Bequemlichkeit halber die römischen Ziffern durch arabische ersetzt sind.

**Tabelle XVI.**

**Farbe des Wassers der verschiedenen Seebecken.**

Monat	Küssnacherbecken		Luzernerbecken (Trichter)		Gersauerbecken	Flüelerbecken		Alpnachersee	
	1898	1899	1898	1899	1899	1898	1899	1898	1899
Januar . . .	4; 4	7; 5	4	5; 4 <sup>1/2</sup> ; 4	5; 4 <sup>1/2</sup>	4 <sup>1/2</sup> ; 5; 5	5 <sup>1/2</sup>	9	10 <sup>1/2</sup> ; 10 <sup>1/2</sup>
Februar . .	5	5; 6	5; 5	5; 5	5 <sup>1/2</sup> ; 6; 6 (milchig)	7; 5	—	9	9; 10
März . . . .	6; 4	5; 6	—	—	5	6	—	9	8 <sup>1/2</sup> ; 8 <sup>1/2</sup>
April . . . .	6; 5	5; 5	—	5	5	—	—	—	11; 10
Mai . . . . .	5	4; 4	—	5; 5	—	—	5 <sup>1/2</sup>	—	10; 10
Juni . . . . .	5; 7	4; 6	—	4	4 <sup>1/2</sup>	—	—	8 <sup>1/2</sup>	11; 11
Juli . . . . .	6; 7	6; 6	—	—	—	—	—	—	11; 9; 10
August . . .	6; 6	5; 4	—	4; 4	5	—	—	—	9; 10
September .	5; 4; 5	5; 4	—	4 <sup>1/2</sup> ; 4 <sup>1/2</sup>	5	—	4 <sup>1/2</sup>	—	10 <sup>1/2</sup> ; 10
Oktober . .	4; 5	4; 4	—	4 <sup>1/2</sup> ; 5	4 <sup>1/2</sup>	6 <sup>1/2</sup>	—	—	10; 10 <sup>1/2</sup>
November .	5; 5	5; 4	5; 5	4 <sup>1/2</sup>	5 <sup>1/2</sup>	—	4 <sup>1/2</sup>	—	10; 10
Dezember .	5; 5	4; 4	5; 5	—	—	—	—	11	10; 9
<b>Jahr:</b>									
Mittelzahl .	5	4,9	—	4,6	5,1	—	5	—	10
Nr. der Skala	V	V	—	IV—V	V	—	V	—	X

Es stellt sich hiebei die Tatsache heraus, dass sämtliche Becken des eigentlichen Vierwaldstättersees, bei aller Verschiedenheit der Transparenz, bezüglich der Farbennuancierung sehr geringe örtliche und zeitliche Veränderungen zeigen, und dass die Grundfarbe des Sees mit der Nummer V der Forelschen Skala oder als *blaugrün* bezeichnet werden kann. Die dunkelste Nuance kommt dem tiefsten Teil des Luzernerbeckens, d. h. der Gegend vom Trichter bis gegen Matt (gegenüber Weggis) zu; dieselbe ist im Mittel mit IV—V zu taxieren. Mit obigem Ergebnis stimmt auch dasjenige der von Burckhardt zur Zeit bei seinen Planktonforschungen gelegentlich angestellten Farbestimmungen überein (Heft III der Mittlg., pag. 154).

Der *Alpnachersee* behauptet auch bezüglich der Farbe seines Wassers seinen ausnahmsweisen Charakter. Aus der ziemlich vollständigen Beobachtungsserie des Jahres 1896 ergibt sich Stufe X als mittlere Färbung desselben. Für das Jahr 1898 liegen nur fünf vereinzelte Bestimmungen vor, von denen zwei (Januar und Juni) kleiner, dagegen zwei (März und Dezember) grösser sind als X. Der Mittelwert dürfte sich also ebenfalls nicht weit vom obigen Wert X entfernen.

Die Farbe des Wassers des Alpnachersees ist also durchschnittlich eine ausgesprochen *gelbliche*, entsprechend der Forelschen Stufe X.

Nach den oben angegebenen Mischungsverhältnissen für die Forelsche Farbenskala entsprechen die erhaltenen Mittelwerte den Farbennummern des Vierwaldstätter- und Alpnachersees Lösungen von folgender Zusammensetzung:

<i>Seebecken:</i>	<i>Trichter</i>	<i>Ganser See</i>	<i>Alpnachersee</i>
<i>Mittlere Farbennummer:</i>	IV—V	V	X
<i>Lösung:</i>			
Neutrales chroms. Kali	6 Teile	7 Teile	27 Teile
Schwefelsaures Kupfer	44 "	43 "	23 "
Ammoniak	221 "	215 "	115 "
Destill. Wasser	9729 "	9735 "	9835 "
	10000 Teile	10000 Teile	10000 Teile

Die *zeitliche Veränderung der Farbe* des Wassers im Laufe eines Jahres ist eine verhältnismässig geringe und zwar sowohl

im Hauptsee als im Alpnachersee, wie dies aus obstehender Uebersichtstabelle XVI. deutlich hervorgeht. Im allgemeinen lässt sich mit Abnahme der Transparenz etwelche Erhöhung der Farbnummer, d. h. Vermehrung der gelben Bestandteile des Wassers, konstatieren. Für das Küssnacherbecken ergeben sich z. B. aus den Beobachtungen der genannten zwei Jahre nach den Jahreszeiten folgende Vergleichszahlen.

	<i>Mittlere Farbenstufe</i>	<i>Mittlere Transparenz</i>
Winter . . . . .	4,9	13,0 m
Frühling . . . . .	5,0	11,2 m
Sommer . . . . .	5,7	7,4 m
Herbst . . . . .	4,5	10,5 m

Der höchste Wert der Farbnummer 5,7, oder nach der Forelschen Bezeichnung V—VI, fällt also in das Sommerquartal, d. h. in die Zeit der grössten Trübung des Sees; dagegen fällt eigentümlicherweise die tiefste Farbnummer 4,5, bzw. IV—V nicht in den Winter, d. h. in das Quartal mit der geringsten Seetrübung, sondern in das Herbstquartal, dessen Transparenz eine mittlere ist.

Auch im einzelnen lassen sich ähnliche Verhältnisse konstatieren. So entspricht der starken zeitweisen Trübung im Januar 1899 die hohe Farbnummer VII; dagegen wird im Mai und zu Anfang Juni gleichen Jahres trotz abnehmender Durchsichtigkeit dreimal die auffallend niedrige Farbnummer IV notiert.

Ganz besonders bemerkenswert ist das Verhalten der Farbe des Wassers im *Flüelerbecken*, speziell im Vergleich zum *Alpnachersee*. Trotz den grossen Schwankungen der Transparenz im Flüelerbecken, welche im Winter derjenigen der klarsten Stellen des ganzen Sees gleichkommt, dagegen im Sommer oft während längerer Zeit sich zu derjenigen des Alpnachersees herabmindert, ist die Variation der Farbe, soweit die etwas lückenhaften Beobachtungen reichen, nicht viel grösser als in den andern Becken des Sees und entfernt sich wenig von der mittleren Stufe V. Ein einziges Mal, und zwar am 10. Februar 1898, wird von Gisler Nummer VII verzeichnet, bei einer Transparenz von 12 m, also bei ziemlich

klarem Wasser; schon am folgenden Tage wird bei derselben Transparenz wieder Farbe V notiert. Falls erstere Notierung nicht auf einem Irrtum beruht, liesse sie sich nur durch eine zufällige lokale Ursache erklären.

Nach meinen eigenen Erfahrungen hält es sowohl im Flüeler- als im Gersauerbecken oft schwer, die Farbnummer genau zu bestimmen, indem das Wasser manchmal ein milchig-weisses Aussehen hat und es einige Uebung braucht, um dabei den trotzdem noch vorhandenen bläulich-grünen Grundton der Färbung zu erkennen. Diese Erfahrung mag auch Burckhardt veranlasst haben, eine *bidimensionale* Farbenskala, d. h. eine Skala mit Nuancierungen der elf Forelschen Stufen vorzuschlagen (Mittlg. III., p. 155). Immerhin konstatierte auch er aus seinen Beobachtungen im Gersauerbecken, trotzdem er zeitweise Trübungen mit nur ein bis zwei Meter Transparenz beobachtete, meistens einen *blau-grünen* Farbenton, der bei allen Nuancen sich eng der Forelschen Stufe V oder einem benachbarten Punkte der Skala anschloss.

Im Alpnachersee sind die Schwankungen in der Farbestufe des Wassers ebenfalls nicht gross; eine Abhängigkeit von der Durchsichtigkeit ist nur in geringem Grade erkennbar, wie aus folgenden Mittelzahlen des Jahres 1899 hervorgeht.

	Mittlere Farbestufe	Mittlere Transparenz
Winter . . . . .	9,9	3,5 m
Frühling . . . . .	9,7	2,4 „
Sommer . . . . .	10,1	2,6 „
Herbst . . . . .	10,2	4,2 „

Alle diese Ergebnisse bestätigen die auch von Forel konstatierte Tatsache:

*Die Farbe des Wassers eines Sees ist eine ziemlich konstante und für denselben charakteristische; dieselbe nuanciert sich nur wenig nach dem Grad der Transparenzveränderungen im Laufe des Jahres.*

Speziell für den Vierwaldstättersee kann das Resultat der Untersuchung dahin präzisiert werden:

*Die charakteristische Farbe des Wassers des Vierwaldstättersees, mit Ausschluss des Alpnachersees, ist eine blaugrüne, entsprechend der Stufe V, im äusseren oder untern Teil des Sees*

*IV—V, diejenige des Alpnachersees dagegen eine gelbliche, entsprechend der Stufe X der Forelschen Skala.*

Als Grundfarbe des *Genfersees* fand Forel Stufe IV, also *Blau*, und als solche des Bodensees Stufe VI—VII, oder *Grün*. Die Farbe des Vierwaldstättersees taxierte er zur Zeit (Leman II, p. 469) mit Nummer VII, also auch als Grün; welche Schätzung nun korrigiert werden muss.

## II. Ursache der Farbe des Seewassers.

Durch neuere Untersuchungen der Physiker <sup>1)</sup> ist endgültig festgestellt, dass die Eigenfarbe des reinen, destillierten Wassers *blau* ist, und zwar *azurblau*, ohne irgend welche Beimischung von gelb. Reines Wasser absorbiert nämlich vorzugsweise die weniger brechbaren Strahlen, so dass bei hinreichender Dicke der Wasserschicht Rot und Orange fast ganz ausgelöscht werden. Da nun die Farbe des Wassers komplementär zu derjenigen der absorbierten Strahlen ist, so muss sich dieselbe mit der Dicke der Schicht ändern. Bei geringerer Dicke der lichtabsorbierenden Wasserschicht erscheint die Färbung bläulichgrün, bei einer hinreichend dickern Schicht dagegen gesättigt blau. Daher erscheint auch sehr reines Wasser an seichteren Uferstellen eines Sees grünlich.

Die Farbe des Wassers wird ferner modifiziert durch die darin suspendierten oder aufgelösten Substanzen. Nach früheren Untersuchungen des belgischen Physikers Spring (worüber zur Zeit Arnet in Heft II. der Mitteilungen einlässlich referiert hat), kam dieser zu dem Schlusse, dass die gelbe Färbung des Wassers der Flüsse und Seen vorzüglich von darin suspendierten fremden organischen oder unorganischen Stäubchen oder auch von einem erst im Werden (*in statu nascenti*) be-

---

<sup>1)</sup> Es sind in dieser Beziehung vorzüglich zu erwähnen die Untersuchungen von Spring, publiziert im Bulletin der Belg. kgl. Akad., V, 1883, und in der Revue scientif., XXI, Referat im Jahrb. der Erfindg. von Gretschel & Bornemann, XX, 1884; ferner diejenigen der zur Untersuchung der Farbe und Durchsichtigkeit des Genfersees von der Physik. Gesellsch. Genf niedergesetzten Kommission, speziell der Mitglieder Soret und Sarasin. Archives des sc. phys. et nat., Jahrg. 1884, 3.

griffenen Niederschläge herrühre. In Verbindung mit dem reinen Blau des Wassers ergeben sich dann die grünen Nuancen.

Behufs Prüfung dieser Frage hat Forel im Jahre 1888 das Wasser verschiedener blauer und grüner Seen durch Porzellan filtriert, und nachher festgestellt, dass sich überall die gleiche Verschiedenheit der Farbentöne ergab, wie vor der Filtration. Daraus zog er die Folgerung, dass nicht die im Wasser schwebenden Fremdkörperchen, sondern eine darin aufgelöste Materie Ursache der verschiedenen Farbentöne der Seen sein müsse. Da aber die besonders blaue Farbe des Meeres beweist, dass alle im Wasser aufgelösten Salze keine gelbliche, bezw. grünliche Verfärbung zu erzeugen vermögen, so waren diese zum voraus auszuschliessen. Auf diese Weise kam er zu dem Schlusse, dass nur die von der Zersetzung vegetabilischer Stoffe, besonders vom Torf herrührende Humussäure die Ursache der fraglichen Verfärbung sein könne, mit welcher Annahme sodann die Ergebnisse seiner experimentellen Versuche übereinstimmten. Auch fand er, dass diejenigen Seen, welche sich vorzugsweise durch ihre blaue Farbe auszeichnen, in der Tat in torfarmem Gebiete liegen, so z. B. der Acherensee, welcher ein Moränensee ist, ferner die blauen Seen von Kandersteg, Arolle etc.; während im Einzugsgebiet der grünen Seen, z. B. des Tegernsees, sowie auch des Bodensees, mehr oder weniger reichliche Torflager nachweisbar sind.

Beim Alpnachersee trifft letzteres zu; besonders finden sich in dem Gebiet der Schlieren, einem Nebenfluss der Aa, Torfmoore. Im Einzugsgebiet des eigentlichen Vierwaldstättersees dagegen, namentlich der Reuss, sind Torflager verhältnismässig selten, woher sich dessen tiefere Färbung erklären würde.

Die Forelschen Untersuchungen veranlassten dann auch Spring zu neuen bezüglichlichen Forschungen, über deren sehr interessante Ergebnisse er in den Genfer „Archives des Sciences phys. et nat.“, T. V, 1, vom Jahre 1899, referierte, worauf mich Forel auf eine bezüglichliche Anfrage aufmerksam zu machen die Freundlichkeit hatte. Spring fand, dass die im Wasser gelösten Huminstoffe freilich dasselbe mehr oder weniger, sogar bis zur Undurchsichtigkeit zu verfärben im stande sind; dass ferner dieselbe Wirkung auch die im Wasser gelösten

Eisenoxydverbindungen bewirken können. Sobald aber diese beiden Stoffe im Wasser unter dem Einflusse des Sonnenlichtes in gegenseitige Berührung kommen, reduzieren die organischen Stoffe die Eisenoxydverbindungen zu Eisenoxydulen, welche grün gefärbt, jedoch im Vergleich zu den Eisenoxydverbindungen ohne erheblichen Einfluss auf die Färbung des Wassers sind. Unter der Einwirkung des aufgenommenen Sauerstoffes erlangen die Huminstoffe einen säuerlichen Charakter und bilden mit den zur Verfügung stehenden Basen (Eisenoxyd, Aluminiumoxyd etc.) unlösliche Salze, die sich allmählig niederschlagen.

Das im Wasser verbleibende Eisenoxydul oxydiert sich in Berührung mit dem Sauerstoff der Luft oder des Wassers wieder in Eisenoxyd, um den gleichen Prozess gegenüber neu-hinzukommenden oder noch vorhandenen organischen Stoffen von neuem zu beginnen. Die Eisenoxydverbindungen spielen demnach im Wasser als Sauerstoffträger eine analoge Rolle, wie das Hämoglobin im Blute des Menschen.

Infolge dieses Wechselspiels zwischen Eisenoxydverbindungen und den organischen Stoffen, unter dem Einfluss des Lichtes, resultiert nach Spring ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Sauerstoff der Luft und den Eisenoxydulverbindungen, welchen die charakteristische Färbung des Wassers entspricht.

Ist der Eisengehalt des Wassers im Verhältnis zu den Huminstoffen gering, so wird obiger Prozess ein äusserst langsamer, und letztere färben dann das Wasser bis tief schwarz. Beispiel: Die schwarzen Wasser im äquatorialen Amerika mit grossem Gehalt an freier Humussäure (0,028 gr pr. Liter); ferner die braunen Wasser in Baiern. Ist dagegen der Eisengehalt verhältnismässig gross, so tritt das Gegenteil ein, d. h. totale oder fast totale Elimination der organischen Stoffe. Beispiel: Die äusserst klaren schwedischen Seen, der Wettersee. Zwischen diesen beiden Extremen befinden sich die Wasser der übrigen Flüsse und Seen. Dieselben nehmen in ihrem Lauf über die Erde eisenhaltige und organische Stoffe in einem Massverhältnis auf, das als das *gewöhnliche* bezeichnet werden könne.

Aus der Leichtigkeit der Verbindung der Huminstoffe mit den Eisenoxyden erklärt Spring auch den Umstand, dass

alle eisenhaltigen Mineralien (z. B. die Ockers) mit organischen Stoffen beladen sind.

Wenn auch die Untersuchungen betreffend dieses interessante Problem jedenfalls noch nicht abgeschlossen sind, und speziell die Frage des Gleichgewichtes der beiden Springschen Agenzien noch ihre Schwierigkeiten hat, so wird seine Arbeit doch der Ausgangspunkt der weiteren bezüglichlichen Forschungen bilden.

Die Möglichkeit näherer Prüfung dieser Theorien bei ihrer Anwendung auf das Farbeproblem des Vierwaldstätter- und Alpnachersees wird erst gegeben sein, wenn die Ergebnisse der betreffenden chemischen und mikroorganischen Untersuchungen vorliegen werden. Immerhin glaubte ich auf den gegenwärtigen Stand der Sache in Ergänzung früherer Ausführungen an dieser Stelle in aller Kürze hinweisen zu sollen.



# Vierter Teil.

---

## Die Tieftemperatur des Vierwaldstättersees.

---

### I. Das Tiefenthermometer.

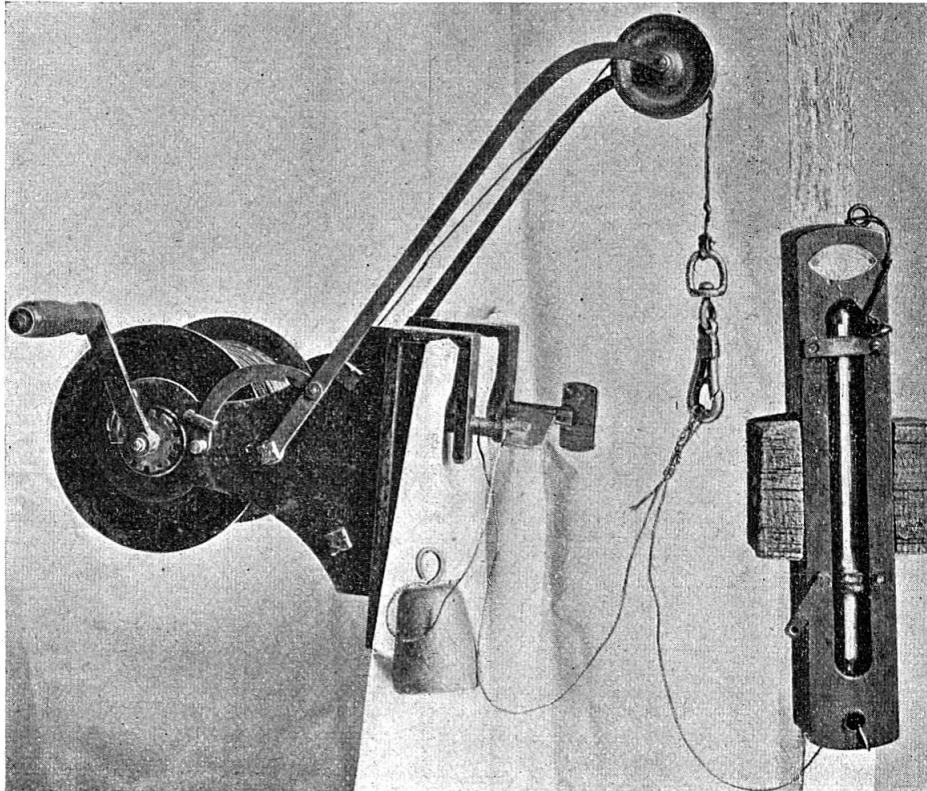
Wie schon einleitend bemerkt, verwendeten wir für die thermischen Lotungen das Tiefsee-Thermometer von Negretti & Zambra in London (Deep sea inverting thermometer). Dieses hat sich als das zweckmässigste und zuverlässigste Instrument bewährt und ist daher für Seeuntersuchungen allgemein in Gebrauch.

Der wesentliche Bestandteil des Tiefsee-Thermometers von Negretti & Zambra ist ein Quecksilber-Thermometer mit doppelter Glasröhre, so dass beim Gebrauch nur die äussere Wandung dem Druck des Wassers ausgesetzt ist, also die innere Röhre, welche das Quecksilber enthält, dabei keine merkliche Deformation erleidet. Die Steigröhre des Thermometers kommuniziert mit dem zylindrischen Quecksilbergefass durch ein S-förmiges, stark verengtes Verbindungsstück<sup>1)</sup>, an dessen engster Stelle der Quecksilberfaden in dem Moment abreißt, in welchem das Thermometer umkippt und in umgestürzte Lage, d. h. Quecksilbergefass nach oben und Steigröhre abwärts gekehrt, kommt. Der abgerissene Quecksilberfaden fällt in die nach unten gekehrte Steigröhre und bleibt während des Heraufziehens des Thermometers ausser Kontakt mit dem übrigen Quecksilber des Gefässes, ändert also seine Länge

---

<sup>1)</sup> In nebenstehender Abbildung unten, in der Gegend des gelösten Klemmstückes.

auch bei veränderter Temperatur des durchlaufenen Wassers nicht mehr merklich. Die Länge desselben bestimmt somit die Temperatur des Quecksilbers im Moment des Umkippens des Instrumentes, welche auf einer auf der Glasröhre angebrachten Teilung, die ganze und Fünftels-Grade angibt, abgelesen wird.



Tiefsee-Thermometer von Negretti & Zambra in London, mit zugehörigem Lotungsapparat.

Für den Gebrauch ist das Thermometer in eine Holzfassung eingelagert, welche der Länge nach ausgehöhlt ist. In dieser Höhlung befindet sich etwas Hasenschrot, so dass das spezifische Gewicht des ganzen Instrumentes kleiner ist als dasjenige des Wassers, also dasselbe schwimmt, und zwar, weil die Schrotkörner in das nach unten gekehrte Ende der Höhlung fallen, in derjenigen (aufrechten oder verkehrten) Lage, in welcher es ins Wasser gebracht wird. Die Holzfassung hat am unteren Ende eine Oese, mit welcher das Instrument durch eine zirka  $\frac{1}{2}$  m lange biegsame Leine mit dem zur Versenkung dienenden

und durch ein Fallgewicht beschwerten Kordon verbunden wird. Das Thermometer wird in aufrechter Lage, d. h. das Quecksilbergefäss nach unten, wie in obiger Abbildung dargestellt, in das Wasser gebracht und sinkt nach Fallenlassen des angehängten Gewichtes beim Abhaspeln des Kordons in die gewünschte Tiefe des Sees.

Nach einer Expositionsdauer von zirka drei Minuten, je nach der Empfindlichkeit des Thermometers, wird das Instrument mit anfänglich etwas rascherer Kurbeldrehung möglichst gleichmässig emporgezogen. Dabei macht dasselbe im Moment, wo es aus der Ruhelage gebracht wird, eine drehende Bewegung, da es am unteren Ende zuerst in Bewegung gesetzt wird, kippt also um und wird in dieser Lage emporgehaspelt.

Angestellte Versuche ergaben, dass bei unserem Instrument eine Expositionszeit von drei Minuten für die Temperaturlausgleichung zwischen Instrument und Wasser vollkommen ausreichte; in der Regel wurde es jedoch, zur grösseren Sicherheit, etwas länger im Wasser gelassen.

So einfach und handlich diese Einrichtung des Tiefseethermometers ist, so stellen sich doch beim Gebrauch, namentlich in grossen Seetiefen, sehr bald gewisse Veränderungen und Schwierigkeiten ein, mit denen zu rechnen ist und welche überwunden werden müssen. Bekanntlich nimmt der Wasserdruck mit je zirka 10 m Tiefe um eine Atmosphäre zu. In Tiefen von 100 m und darüber erleidet daher die Holzfassung eine so starke Pressung, dass die harzige Imprägnierung derselben aus allen Poren dringt und das Holz so von Wasser durchdrungen wird, dass das spezifische Gewicht des ganzen Instrumentes gleich oder noch grösser wird, als dasjenige des Wassers. In diesem Falle behält das Instrument während der Zeit der Exposition seine anfängliche aufrechte Lage nicht mehr bei, sondern kippt sofort um und hängt sich so zu früh in der verkehrten Lage an den Kordon.

Man hat diesem Uebelstand dadurch zu wehren gesucht, dass man das Thermometer mit einer sogenannten Kippvorrichtung verband, mit deren Hilfe dasselbe bei der Exposition im Wasser durch eine Hebelvorrichtung mechanisch in der auf-

rechten Lage erhalten wird. Erst durch einen leichten Ruck mit dem Haspel löst sich der Hebel und gelangt das Thermometer in die verkehrte Lage, in der es aus dem Wasser gezogen wird. Diese Vorrichtung hat jedoch auch ihre Schwierigkeit, da die Auslösung des Hebels durch irgend welche zufällige Bewegung des Apparates oder des Schiffes zur unrichtigen Zeit erfolgen kann.

Mit recht gutem Erfolge habe ich den gleichen Zweck auf einfachere Weise erreicht. Einmal erniedrigte ich das spezifische Gewicht des Instrumentes künstlich durch Anbringen von rechteckigen Korkbacken auf beiden Längsseiten des Instrumentes, so dass dadurch die Lage des Schwerpunktes dieses letzteren nicht geändert wurde. Sodann wurde bei den Lotungen in grossen Tiefen, bei denen trotz dieser Korkarmierung unzeitige Inversion befürchtet werden konnte, ein von Forel angegebener Kunstgriff angewendet. Dieser besteht darin, dass man in dem Augenblick, wo das Thermometer emporgezogen werden soll, zuerst die Kurbel des Haspels einige Male rasch rückwärts dreht, um dann sofort ebenso rasch die Vorwärtsdrehung zu beginnen. Dadurch wird das Instrument aus der Ruhelage durch das angehängte Gewicht, das untere Ende voran, etwa ein bis zwei Meter tiefer hinabgezogen, kommt also dabei in aufrechte Lage, so dass der Quecksilberfaden, falls er vorzeitig abgerissen war, mit dem Quecksilber des Gefässes wieder in Kommunikation und also in richtige Einstellung kommt. Bei dem unmittelbar darauf folgenden Hinaufziehen nimmt das Instrument dann wieder die verkehrte Lage an, und der Faden reisst nun an richtiger Stelle neuerdings ab.

Bei dieser raschen Senkung und Wiederhebung vermag sich eine allfällige Temperaturdifferenz der dabei durchlaufenen Wasserschicht nicht merklich geltend zu machen. Es lassen sich daher auf diese Weise die angegebene Schwierigkeiten überwinden und nach einiger Uebung gute Resultate erzielen.

Für meine thermischen Lotungen habe ich fast immer das gleiche Tiefenthermometer benutzt, welches sich in jeder Beziehung vorzüglich bewährt hat. Mit einigen limnologischen

Schmerzen habe ich daher dessen seither erfolgten Verlust, infolge Ausleihens und Gebrauches mit einem defekten Hanfseil, vernommen. Nach meinen früheren Erfahrungen würde ich ein solches Instrument nie mehr einem derartigen Seile anvertrauen, das trotz aller Sorgfalt der Behandlung leicht morsch und brüchig wird.

Zur Prüfung der richtigen Graduierung der Skala wurden vor Beginn der Lotungen vergleichende Messungen mit einem der amtlich geprüften, für Bestimmung der Oberflächentemperaturen verwendeten Thermometer vorgenommen. Es ergaben sich dabei innert den in Betracht kommenden Grenzen keine Abweichungen, die einen Zehntelsgrad überstiegen.

Nebenbei wurde zu gelegentlichen Kontrollmessungen noch ein zweites Tiefenthermometer verwendet, dessen Teilung sich zwar ebenfalls als exakt erwies, welches aber in anderer Beziehung, namentlich betreffend leichter Beweglichkeit des abgerissenen Quecksilberfadens, als weniger gut taxiert werden musste.

Betreffend die übrige Einrichtung des für die Lotungen angewendeten Apparates wurde bereits in den einleitenden Vorbemerkungen berichtet, worauf hiemit verwiesen wird.

## II. Die thermischen Lotungen.

Bereits im Jahre 1896 hatte Professor Arnet einige Tiefentemperaturmessungen in der Würzenbachtiefe der Luzerner Seebucht vorgenommen. Dieselben wurden dann aber aus verschiedenen Gründen nicht weiter fortgesetzt, wozu jedenfalls auch die Unzulänglichkeit des vorhandenen Apparates beigetragen hat. Nachdem ich im Herbst 1898 an gleicher Stelle die ersten bezüglichen Versuche angestellt hatte, machte sich sofort die dringende Notwendigkeit der Beschaffung eines neuen Lotungs-Apparates geltend, worüber in den einleitenden Vorbemerkungen Bericht erstattet wurde. Die erste Messung mit dem neuen Apparat, den 4. Dezember 1898, hatte wegen einer brüchigen Stelle des Kupferkordons den Verlust des Tiefenthermometers zur Folge und konnte daher nicht beendet werden. Die Fort-

setzung der Lotungen mit neuem Kordon und neuem Instrument wurde schon den 28. Dezember wieder aufgenommen. Der Standort war in der Regel die Gegend *Meggenhorn-Kreuztrichter*, mit einer Seetiefe von 90 bis 110 m.

Ausser der vorzeitig abgebrochenen Lotung vom 4. Dezember enthält das Seeprotokoll zwischen 18. Oktober 1898 und

**Tabelle XVII.**

**Thermische Lotungen im Luzernerbecken 1898 und 1899.**

(Standort: Meggenhorn-Kreuztrichter; Seetiefe 90—110 m)<sup>1)</sup>.

Tiefe	1898				1899						
	18. Okt.	27. Nov.	4. Dez.	28. Dez.	29. Jan.	27. Febr.	30. Mai	5. Juni	30. Aug.	18. Okt.	23. Nov.
	1	2	3	4 <sup>2)</sup>	5	6	7	8	9	10	11
m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	13,6	9,6	8,8	6,4	5,1	5,4	12,0	19,2	20,8	12,4	9,5
2-3	—	—	—	—	—	5,1	(11,2)	14,2	19,6	12,4	9,4
5	—	—	8,7	6,3	5,1	5,0	10,6	11,4	19,2	12,4	9,4
10	13,2	9,6	8,7	6,3	—	5,0	9,6	9,7	14,0	12,4	9,3
15	—	—	8,7	6,3	—	—	7,8 } 9,8 } 8,8	8,2	12,9	11,8	9,2
20	10,8	9,5	8,6	6,3	5,1	—	9,0 } 7,0 } 8,0	7,5	9,0	11,1	9,2
25	—	9,3	—	6,3	—	—	8,1	(6,9)	7,3	9,0	9,2
30	6,5	6,4	—	6,3	5,1	5,0	6,3	6,5	6,6	7,4	8,0
35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,7	7,0
40	5,7	—	—	6,1	—	—	5,8	5,9	6,2	6,5	6,4
45	—	—	—	5,7	—	—	—	—	—	—	—
50	5,5	6,2	—	5,4	—	—	—	—	—	—	—
60	5,2	5,2	—	5,1	—	4,9	5,7	—	6,1	6,4	5,4
70	5,0	5,0	—	—	5,0	—	—	—	—	—	—
80	5,0	—	—	4,7	(4,9)	(4,9)	5,3	(5,5)	5,6	5,5	5,2
90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	4,8	4,8	—	4,7	4,8	4,9	5,1	—	5,1	—	5,1

<sup>1)</sup> Die eingeklammerten Zahlen der Tabellen XVII.—XX. sind interpoliert; die Zahl rechts neben den durch } abgeklammerten Messungen bedeuten das Mittel dieser letzteren.

<sup>2)</sup> Die Messungen vom 28. Dezember an wurden mit neuem Apparat und neuem Thermometer ausgeführt.

23. November 1899 zehn brauchbare, ziemlich zuverlässige Lotungen an genannter Stelle des Luzernerbeckens, deren Ergebnisse in vorstehender Tabelle XVII. zusammengestellt sind.

Die zwei letzten dieser Lotungen wurden in meiner Behinderung durch Prof. Dr. Bachmann anlässlich seiner Planktonfischerei ausgeführt.

Im Jahre 1899 unternahm ich auch eine Serie monatlicher Lotungen im *Gersauerbecken*, und zwar im westlichen Teile desselben, in der Gegend von Rotschuh, bei einer Seetiefe von zirka 210 m, welche Stelle von Vitznau aus mit einem Ruderboot in zirka einer halben Stunde Fahrzeit erreichbar ist. Bereitwillige und zuverlässige Dienste leistete mir dabei der Pächter auf Schiebern, J. Zimmermann, welcher damals auch den in dortiger Schiffhütte nahe der Vitznauernase aufgestellten Sarasinschen Limnographen unter wirksamer Assistenz seiner freundlichen Hauswirtin bestens besorgte.

Während der Wintersaison konnte ich die Messungen in der Regel gegen 1 Uhr, im Sommerhalbjahr um zirka 3 Uhr nachmittags beginnen und, je nach der Witterung oder anderen Zufälligkeiten, in zwei bis drei Stunden beendigen.

Die Ergebnisse dieser zwölf Lotungen im Gersauerbecken enthält die folgende Uebersichtstabelle XVIII.

Die Beobachtungen im *Urner- oder Flüelerbecken* musste ich wegen zu grosser Entfernung von Luzern und den daherigen damit verbundenen vermehrten Umständlichkeiten auf vier Quartallotungen beschränken. Als Standort wurde gewählt die Gegend Am-Ort gegen Rütli, welche von Brunnen aus mit Ruderschiff in nicht zu grosser Fahrzeit erreichbar ist. Die dortige Seetiefe beträgt 190 bis 200 m. Diese Beobachtungen waren auch deswegen etwas erschwert, weil hier der See meistens ziemlich bewegt ist, weshalb das Schiff öfters von seinem anfänglichen Standorte abgetrieben wurde und es daher schwer hielt, das Lot in eine senkrechte Lage zu bringen und darin zu erhalten.

Die Ergebnisse dieser Quartalmessungen enthält Tabelle XIX, Rubrik a.

**Tabelle XVIII. Thermische Lotungen im Gersauerbecken 1899.** (Standort bei Rotschuh; Seetiefe 190—210 m.)

Tiefe	27. Jan.	23. Febr.	25. März	28. April	26. Mai	23. Juni	25. Juli	25. August	28. Septemb.	26. Oktob.	24. Novemb.	29. Dez.
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,4	5,4	5,4-5,8	8,3-8,7	12,5	14,2-16,2	19,2	19,3-20,2	11,8	14,6	11,8	9,3-9,5	6,1
(5,4)	5,4	(5,5)	7,8	10,1	13,3	(16,9)	19,0	11,7	14,4	11,7	9,3	(6,0)
5,3	5,2	5,2	7,4	9,1	12,6	14,4	18,4	11,6	14,3	11,6	9,3	5,9
				10,1								
5,3	5,2	5,2	7,0	7,4	11,0	13,0	14,4	11,6	13,9	11,6	9,2	—
				9,0	13,6							
(5,3)	(5,1)	(5,2)	6,4	7,7	9,1	11,2	12,9	11,3	13,0	11,3	—	—
				7,6	9,4							
				7,4	10,3							
				7,4	12,4							
				8,0								
				8,0	7,3							
(5,3)	5,1	5,2	6,1	7,8	7,2	9,0	10,4	10,9	11,1	10,9	(9,2)	5,9
				9,4	11,0							
				8,4								
				6,9	8,9							
				7,9	7,1	7,8	7,9	7,9	8,9	9,4	—	—
				8,6	8,6							
				6,5	8,7							
				7,8	8,2	6,8	6,8	6,8	6,7	7,3	9,2	5,8
				8,0	8,9							
				—	7,4	6,3	6,4	6,4	9,1	6,8	9,0	—
				6,8	7,5				9,2	6,2	—	
				—	—	6,2	6,2	6,2	9,3	6,2	8,4	(5,8)
5,2	5,1	(5,1)	5,2	6,8	7,1	6,2	6,2	6,2	7,6	6,2	8,1	8,3
				7,0	—	—	—	—	—	6,2	7,6	—
				—	—	—	—	—	—	6,4	8,1	—
(5,2)	(5,1)	—	—	—	(6,4)	(6,1)	(6,1)	(6,1)	(7,2)	(6,3)	7,6	—
5,2	(5,1)	5,1	5,2	6,2	6,0	5,8	5,8	5,8	6,4	6,3	7,2	(5,8)
				—	(6,0)	—	—	—	6,4	6,3	6,3	5,8
5,2	5,1	5,1	5,1	5,6	5,4	5,6	5,5	5,5	6,1	5,8	5,7	(5,7)
				—	—	(5,4)	(5,4)	(5,4)	6,1	5,8	5,7	5,6
5,0	(5,0)	(5,0)	(5,1)	(5,4)	5,3	(5,4)	(5,4)	(5,4)	(5,7)	5,3	5,4	5,6
				—	5,2	5,1	5,1	5,3	(5,4)	(5,2)	(5,3)	(5,5)
(4,9)	(5,0)	5,0	5,1	(5,2)	—	—	—	—	—	—	—	—
4,9	5,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,8	4,9	—	—	—	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,1	5,1	5,2
4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	—	—	—	—	—	(5,0)	(5,0)	(5,0)
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,9	4,8	4,9
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,9	4,8	4,9

Tabelle XIX.

Thermische Lotungen im Jahre 1899 in verschiedenen Seebecken.

Tiefe	a) Flüelerbecken bei Ortegge (Tiefe 200 m)				b) Hergiswilerbecken (Tiefe 70 m)	c) Alpachersee (Tiefe 32 m)	
	24. Febr.	25. Mai	4. Septemb.	29. Nov.	10. Februar	10. Febr.	Rotzloch bis Brücke
m.	0	0	0	0	0	0	
0	5,4	9,4	18,9	8,8	5,3	4,0	{ 4,2; 4,4; 4,9 <sup>0</sup> ; 5,0; 5,3 <sup>0</sup> .
2-3	—	—	18,5	8,6	—	4,8	
5	5,2	9,2	18,0	—	4,9	4,7 } 5,1 } 4,8 4,8 }	
10	5,2	9,1	14,9	—	—	3,8	
15	—	9,1	12,7	—	4,8	3,7	
20	5,1	8,6	9,8	8,6	4,8	3,7	
25	—	7,8	7,5	—	—	3,6	
30	5,1	6,6	6,3 } 11,7 } 9,0	8,5	—	—	
35	—	—	6,1 } 9,9 } 8,0	8,3	—	—	
40	—	(6,1)	8,3 } 8,7 } 8,5	8,0	4,8	—	
45	—	—	—	7,5	—	—	
50	5,1	5,6	(7,1)	7,0	—	—	
60	—	(5,6)	6,4	6,4	4,8	—	
70	—	5,5	—	—	—	—	
80	5,1	(5,5)	5,9	6,0	—	—	
100	—	5,4	5,6	5,6	—	—	
150	5,1	(5,2)	5,4	5,4	—	—	
190	5,1	(5,1)	5,2	5,3	—	—	

Den 10. Februar machte ich zwei vereinzelt Lotungen, die eine im Alpachersee in der Gegend von Rotzloch, bei 32 m Seetiefe, die andere in der Hergiswilerbucht auf der Linie Stansstad-Hergiswil, bei zirka 70 m Seetiefe. Die Ergebnisse finden sich auf Tabelle XIX. unter b und c. Ich beabsichtigte anfänglich, auch diese Messungen wenigstens quartalweise zu wiederholen. Doch ward es schwierig, die dazu nötige Zeit zu erübrigen; zudem war die Fahrgelegenheit von Stansstad aus mit mehr Umständlichkeit und Schwierigkeit verbunden, als von Vitznau oder Brunnen aus.

**Tabelle XX. Quartallotungen im Jahre 1900 in den vier Hauptbecken. („Schwan“-Expeditionen.)**

Tiefe	Kreuz-Trichter				Weggiserbecken				Gersauerbecken				Flüelerbecken							
	25. August		3. Dez.		21. Feb.		23. Mai		25. August		3. Dez.		21. Feb.		23. Mai		25. August		3. Dez.	
	2	3	4	0	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	14,9	19,0-19,5	9,1	5,3	13,6	18,8-19,2	8,8	8,8	5,2	13,8-14,3	18,4-19,0	8,9	5,2	12,2	17,1-17,7	8,6	12,2	17,1-17,7	8,6	8,6
2-3	12,8	—	8,5	—	12,8	—	8,3	8,3	—	9,8	—	8,4	—	10,4	—	8,2	—	10,4	—	8,2
5	10,6	18,2	8,5	(5,2)	10,0	16,8	8,3	8,3	5,2	9,5	17,2	8,4	5,2	9,5	16,5	8,2	—	10,0	16,5	8,2
10	9,8	16,6	—	(5,2)	11,0 } 9,9 9,2 } 9,4 }	14,5	8,3	8,3	5,2	8,4	12,5	8,4	5,2	8,4	13,2	8,2	5,2	9,4	13,2	8,2
15	9,8	15,5	—	(5,1)	15,1 } 14,7 } 12,1 } 12,0 }	13,5	—	—	—	7,8	10,4	—	—	7,8	10,2	8,0	—	7,8	10,2	8,0
20	8,8	14,0	8,5	5,0	14,0 } 8,2 10,3 } 10,2 }	11,5	8,3	8,3	—	8,1 } 8,2 8,3 }	8,2 } 7,3 6,8 } 7,0 }	8,4	—	—	5,9	7,9	—	6,8	5,9	7,9
25	8,2	(12,4)	(8,2)	(5,0)	7,6	12,4	6,7 } 7,4 8,0 }	7,4	—	7,9	6,8	8,3	—	—	5,8	7,3	—	(6,3)	5,8	7,3
30	5,8 } 7,4 } 6,7 }	10,4	7,9	(5,0)	7,2	10,0	7,6	7,6	—	7,6	6,2 } 7,6 9,2 }	8,1	5,2	5,6	7,0	5,2	5,8	5,6	7,0	
35	—	9,0	—	—	—	9,2	7,1	7,1	—	6,8	8,0	7,8	—	—	—	—	—	—	—	—
40	6,6	8,0	(7,2)	(5,0)	6,1	7,8	6,6	6,6	—	6,6	7,6 } 7,5 7,4 }	6,7	—	5,5	6,9	—	5,5	5,6	6,9	
50	5,7	(6,0)	6,2	4,9	5,6	6,4	5,4	5,4	5,2	5,8	6,2	6,4	5,2	5,4	6,5	5,2	5,4	5,6	6,5	
60	(5,5)	5,4 } 5,9 6,5 }	(5,8)	(4,9)	(5,5)	(6,0)	5,6	5,6	—	(5,6)	(5,9)	6,2	—	(5,4)	6,3	—	(5,4)	(5,5)	6,3	
70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(6,1)	—	(5,3)	(5,4)	(6,1)	
80	5,1	5,2	5,4	—	4,9	5,0	5,2	5,2	—	5,2	5,2	5,9	—	—	5,4	—	(5,2)	5,4	5,9	
100	—	—	4,9	4,9	4,9	4,8	(5,1)	(5,1)	5,2	5,1	(5,2)	5,4	5,2	5,1	5,4	5,2	5,1	5,4	5,8	
130	—	—	—	—	—	—	4,8	4,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
140	—	—	—	—	—	4,8	—	—	—	—	5,1	—	—	—	—	—	—	—	5,7	
150	—	—	—	—	—	4,8	—	—	—	—	—	(5,2)	(5,2)	(5,1)	(5,4)	(5,2)	(5,1)	(5,4)	(5,7)	
180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,9	—	—	—	—	5,4	—	5,1	5,4	5,6	
190	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
200	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	—	5,0	5,0	5,2	(5,1)	(5,3)	5,2	(5,1)	(5,3)	(5,5)	

Im folgenden Jahre, 1900, ermöglichte das generöse Entgegenkommen der hiesigen Dampfschiffverwaltung der limnologischen Kommission die Ausführung von *Quartalexpeditionen in die Hauptbecken* des Vierwaldstättersees auf dem gut ausgerüsteten kleinen Dampfboote „Schwan“, zum Zwecke von Kollektivbeobachtungen der verschiedenen Abteilungen der Kommission, wobei ich mich behufs Fortsetzung meiner thermischen und optischen Messungen ebenfalls beteiligte.

Diese „Schwan“-Expeditionen wurden jeweilen in der Frühe des Morgens von der Dampfschiffwerfte aus angetreten und nahmen einen vollen Tag in Anspruch. Der erste Standort bei Am-Ort im Flüelerbecken wurde gegen 10 Uhr vormittags erreicht, und konnte gegen 12 Uhr wieder verlassen werden. Der zweite Standort im Gersauerbecken wurde gegenüber Gersau (110 m Seetiefe), also mehr östlich von meiner vorjährigen Beobachtungsstelle, gewählt. Die dortigen Messungen konnten jeweilen zirka halb 2 Uhr nachmittags begonnen werden. Die dritte Haltstelle war im Weggiserbecken, in der Nähe von Matt (Seetiefe zirka 150 m), und wurde zwischen 2 und 3 Uhr nachmittags erreicht. Die vierte und letzte Station war im Kreuztrichter in der Gegend der Ecke des Bürgenstockes, mit 100 bis 110 m Seetiefe. Da hier die Messungen in der Regel erst zwischen 4 und 5 Uhr abends begonnen werden konnten, so musste ich bei der ersten Expedition, vom 21. Februar, wegen eingetretener Dunkelheit und Schneesturm, auf eine thermische Lotung an dieser Stelle verzichten. Auch diejenige vom 3. Dezember, letzte Expedition, litt etwas an Vollständigkeit aus ähnlichen Gründen.

Die Ergebnisse dieser Quartallotungen sind auf Tabelle XX. zusammengestellt.

### **III. Diskussion der allgemeinen Ergebnisse der thermischen Lotungen.**

#### **1. Thermische Schichtung des Sees.**

Das Wasser hat bekanntlich die physikalische Eigenschaft, dass es im reinen Zustande bei einer Temperatur von 4 Grad die grösste Dichtigkeit hat, also spezifisch am schwersten

ist. Im See wird daher diejenige Wasserschicht, deren Temperatur 4 Grad beträgt oder diesem Werte am nächsten steht, die tiefste Stelle einnehmen. Die übrigen Schichten ordnen sich in der Reihenfolge übereinander, in welcher sich ihre Temperatur von derjenigen von 4 Grad entfernt.

Diese sogenannte thermische Schichtung ist eine *rechte* oder *direkte*, wenn die Temperatur des Wassers von unten nach oben zunimmt, d. h. wenn die Temperaturen aller Schichten höher als 4 Grad sind. Hingegen ist diese Schichtung eine *verkehrte* oder *inverse*, wenn die Temperatur von unten nach oben eine abnehmende ist, also alle höheren Schichten kälter sind, als 4 Grad.

Bei unseren thermischen Lotungen im eigentlichen Vierwaldstättersee haben wir diese inverse Schichtung, abgesehen von einigen lokalen Anomalien, nie angetroffen.

Doch lassen sich indirekt einzelne inverse Schichtungen, freilich mit sehr geringen Amplituden, aus dem Protokoll der Oberflächentemperaturen nachweisen. So finden wir im Beobachtungsmaterial von Küsnach einen Anfang von Eisbildung in dortiger Bucht verzeichnet für den 23. Februar 1901. Die betreffende leichte Eisdecke wurde dann durch das Morgenkursschiff sofort wieder zerstört.

Ferner werden für die dortige Bucht in folgenden Perioden Depressionen der Morgentemperatur des Sees am Ufer verzeichnet:

- 1899. 3. Februar 3,5<sup>0</sup>; 26. Februar bis 2. März; Minimum den 28. Februar 2,6<sup>0</sup>. Vereinzelt vom 21.—27. März; Minimum den 21. März 2,6<sup>0</sup>.
- 1900. 20. und 21. Januar 3,8 und 3,6<sup>0</sup>. Zu Anfang Februar und 4.—8. März; doch nie unter 3<sup>0</sup>.
- 1901. Fast regelmässig vom 6. Januar bis Ende April; Minimum am 16. Februar 0,4<sup>0</sup>.
- 1902. Vom 26. Januar bis 2. März, mit wenigen Ausnahmen; Minimum den 3. Februar 2,4<sup>0</sup>.
- 1903. Vom 15. Januar bis 8. Februar fast regelmässig; Minimum den 27. Januar und 4. Februar 3<sup>0</sup>. Ferner dreimal zwischen 17. und 20. Februar; Minimum den 17. Februar 2,6<sup>0</sup>.

In der Luzernerbucht sind Depressionen der Ufer-temperatur notiert:

1899. 31. Januar bis 7. Februar; Minimum den 6. Februar 2,9°.

1900. 26. März bis 3. April; Minimum den 2. April 3,1°.

Während solchen Perioden war also an den betreffenden Stellen die Seetemperatur thermisch invers geschichtet, d. h. nach der Tiefe zunehmend. Ob und wie weit dabei auch die pelagische Temperatur beteiligt war, ist fraglich.

Eine merkwürdig abnormale thermische Schichtung ergab die Lotung vom 10. Februar 1899 im Alpnachersee. Man könnte dieselbe eine *invers-inverse* Schichtung nennen. Die Messung ergab nämlich eine Temperatur von 4 Grad an der Oberfläche und eine solche von 3,6 Grad am Grund des Sees, also eine der theoretisch zu erwartenden diametral entgegengesetzte Schichtung. Wir werden in dem Kapitel betreffend Anomalien hierauf zurückkommen.

Die thermische Schichtung des Hauptsees ist nach vorstehendem in der Regel eine *rechte*, d. h. die Temperatur ist durchweg höher als 4 Grad und von der Oberfläche bis zum Grund des Sees abnehmend. Es fragt sich nun, nach welchem Gesetze diese Temperatur von Schicht zu Schicht abwärts abnimmt. Hierüber geben die Resultate der thermischen Lotungen Aufschluss und zwar am anschaulichsten deren graphische Darstellung.

Da der Temperaturzustand einer Wasserschicht des Sees von zwei Variablen abhängig ist, nämlich einerseits von der Tiefe der Schicht, andererseits von der Jahreszeit, so kann die gegenseitige Abhängigkeit dieser Veränderlichen auf drei verschiedene Arten graphisch veranschaulicht werden. Die drei daraus resultierenden Kurven sind folgende:

1. Die *thermischen Isochronen* des Sees, welche für denselben Zeitpunkt, beziehungsweise für einen bestimmten Tag die Abhängigkeit der Temperatur von der Tiefe darstellen. Solche Isochronen finden sich auf den Tafeln IX.—XI. der Beilagen. Dabei ist eine Tiefe von je 10 m durch einen Vertikalabstand von 1 cm, und ein Temperaturunterschied von 1 Centigrad durch einen horizontalen Abstand von  $\frac{1}{2}$  cm oder 5 mm dargestellt.

Die Nullpunktklinie der Tiefen ist also die Oberflächenlinie; statt der Nullpunktklinie der Temperaturen ist jeweilen diejenige der grössten Wasserdichtigkeit, d. h. der Temperatur von  $4^{\circ}$ , als Ordinativaxe stärker ausgezogen.

Von dieser und den folgenden Kurven sind naturgemäss durch die Beobachtungen jeweilen nur eine Anzahl Punkte bestimmt, welche dann durch gerade Linien verbunden sind.

2. Die *Fahres-Isothermen* des Sees, oder die Linien gleicher Temperatur in verschiedenen Tiefen und zu verschiedenen Zeiten während eines Jahres. Tafel XIII. der Beilagen enthält die Isothermen des Gersauerbeckens nach den thermischen Lotungen vom Jahre 1899. Dabei ist der Zeitabstand von einem Monat, oder richtiger von einer Monatsbeobachtung zur folgenden, durch einen Horizontalabstand von  $3 \text{ cm} = 30 \text{ mm}$  dargestellt. Der Massstab für die Tiefen ist derselbe, wie bei den Isochronen.

3. Die *thermischen Fahres-Isobathen* des Sees, oder die Linien der verschiedenen Temperaturen des Wassers im Laufe des Jahres in derselben Tiefe. Diese Kurven veranschaulichen das Steigen und Fallen der Temperatur in einer Niveaufläche des Sees von bestimmter, angegebenen Tiefe, z. B. an der Oberfläche, oder bei einer Tiefe von 10 m, von 20 m etc. Tafel XII. der Beilagen enthält die Isobathen des Gersauerbeckens für das Jahr 1899 von 5 zu 5 m bis 45 m, dazu noch diejenigen für 60 und 80 m Seetiefe. Der Massstab der Zeitabstände ist derselbe wie oben; ferner entspricht einer Temperaturänderung von 1 Centigrad ein Vertikalabstand von 1 cm.

Den am leichtesten verständlichen Aufschluss über das Gesetz der Temperaturänderung des Wassers mit der Tiefe des Sees bieten wohl die thermischen Isochronen, welche daher auf den betreffenden Tafeln mit ziemlicher Vollständigkeit für alle einzelnen Lotungen dargestellt worden sind. Am besten und am wenigsten durch Anomalien gestört kommt fragliches Gesetz in den Oktoberkurven zum Ausdruck. (Tafel IX. und X.) Diese Kurven setzen an der Oberfläche mit ziemlich starker Amplitude ein, fallen dann bis zu zirka 20 m Tiefe ziemlich steil ab, um von da in schwacher S-förmiger Krümmung rasch sich der vertikalen Axe zu nähern und dann von 35 m Tiefe an

fast parallel zu dieser zu verlaufen. Es lagert also eine ziemlich gleichmässig durchwärmte Warmwasserschicht von 20 bis 25 m Dicke auf der tieferen, wesentlich kälteren Hauptmasse des Sees. Der Uebergang der Temperatur von derjenigen der warmen *Oberflächenschicht* zu derjenigen der Kaltwassermasse zwischen zirka 25 und 35 m Tiefe ist ein sehr rascher, fast sprungweiser. Diese Uebergangsschicht wird daher die *Sprungschicht* des Sees genannt.

Die Dicke der warmen Oberflächenschicht und damit die Lage der Sprungschicht verändert sich natürlich im Laufe des Jahres. Ueber den Grad der Erwärmung und das Gesetz der Abnahme um die betreffende Zeit gibt z. B. die Lotung vom 26. Oktober 1899 im Gersauerbecken folgenden zifferngemässen Aufschluss:

Tiefe m	Temperatur °	Abnahme pr. 5 m °	Abnahme pr. m (Thermische Differenz) μ
0	11,8	0,2	40
5	11,6	0	0
10	11,6	0,3	60
15	11,3	0,4	80
20	10,9	0,5	100
25	9,4	2,1	420
30	7,3	0,5	100
35	6,8	0,12	20
100	5,3	0,02	4
200	4,9		

Die Sprungschicht liegt hier also zwischen 25 und 30 m Tiefe, mit 0,42 Grad oder 420 Tausendstel-Grad ( $\mu$ ) Temperaturabnahme per Meter.

Eine sekundäre Sprungschicht scheint nach obigen Zahlen auch unmittelbar an der Oberfläche zu bestehen mit dem viel geringeren Temperatursprung von 40 Tausendstel-Grad per Meter. Dass eine solche sekundäre, *obere Sprungschicht* in der Tat, besonders in der Zeit der Zunahme der Oberflächentemperatur besteht, deren Temperatursprung zeitweise denjenigen der unteren Sprungschicht noch übertreffen kann, werden wir im folgenden erkennen.

## 2. Zeitliche Aenderungen in der thermischen Schichtung.

Zur Erleichterung des näheren Studiums der zeitlichen Veränderungen im thermischen Zustande des Sees wurden zunächst in der vorstehend angegebenen Weise die Temperaturänderungen auf 1 m Zunahme der Tiefe, oder die sogenannten *thermischen Differenzen* des Sees für die verschiedenen Lotungen berechnet und in den Uebersichtstabellen XXI.—XXIII. zusammengestellt. Wo die Lotungen für gleiche Tiefen derselben Station verschiedene Resultate ergaben, ist deren Mittel in Rechnung gebracht. Zur Vermeidung von Brüchen sind diese Differenzen in Tausendstel-Graden ( $\mu$ ) ausgedrückt. Wenn dieselben auch nur auf relative Genauigkeit Anspruch machen dürfen, weil davon eine Quote den unvermeidlichen Beobachtungs- und Instrumentenfehlern anzurechnen ist, so kommen in denselben im ganzen doch gewisse Gesetzmässigkeiten in unverkennbarer Weise zum Ausdrucke. Wir wollen auf die wesentlichen dieser Erscheinungen besonders aufmerksam machen.

### a) Allgemeiner Verlauf.

Während der Wintermonate verschwinden die thermischen Differenzen mehr oder weniger vollständig. Die betreffenden Isochronen, besonders diejenigen der Monate Januar, Februar und auch März, sind daher nahezu gerade, senkrechte Linien, mit nur ganz minimen Abbiegungen in ihrem oberen Ende. Da wir für diese Periode auch zeitweise, wenigstens an den Ufern, inverse Schichtung, mit freilich sehr geringen Temperaturdifferenzen konstatiert haben, so würden die betreffenden Isochronen im oberen Ende eine entsprechende Abbiegung nach links, d. h. im negativen Sinne, zeigen. In solchen Fällen müsste der Status völliger Temperaturlausgleichung, mit durchweg 4 Grad, mindestens zweimal, oder überhaupt eine gerade Anzahl mal eintreten, nämlich jeweilen am Anfang und am Ende einer Periode inverser Schichtung. Nach den oben angegebenen Daten zeitweiser Temperaturdepressionen unter 4 Grad, fallen dieselben durchschnittlich ungefähr in die Zeit zwischen Ende Januar und Mitte März.

Von letzterem Termin an beginnt die Periode ausgesprochener thermischer Differenzen im Sinne der rechten Schichtung. In den Beobachtungsjahren 1899 und 1900 sind Anfänge solcher Schichtung jeweilen schon Ende Februar bemerkbar. Von Monat zu Monat wachsen die thermischen Differenzen und damit die Amplituden der Isochronen bis in den August hinein, um dann von da an allmählich wieder abzunehmen bis zum Temperatenausgleich gegen Ende Januar.

*b) Die obere Sprungschicht.*

Sofort mit der thermischen Schichtung stellen sich auch die Sprungschichten ein. Die thermische Differenz der oberen, unmittelbar an der Oberfläche liegenden Sprungschicht wächst sehr rasch (vgl. Tabelle XXII.) bis zum Maximum, um Ende Juli oder anfangs August herum, und kann bis 1 Grad, im Luzernerbecken sogar bis 1½ Grad (vgl. Tabelle XXI.) auf 1 m Schichtabstand anwachsen. Von August an nimmt dieselbe in noch rascherem Tempo ab und verschwindet schon gegen Ende September fast vollständig. Dieser rasche Verlauf erklärt sich leicht, wenn man die Ursache der Oberflächensprungschicht in Betracht zieht. Diese Schicht steht in unmittelbarer Be-

**Tabelle XXI.**

**Thermische Differenz auf 1 m Tiefe im Luzernerbecken, 1898-1899**  
in Tausendstel-Grad ( $\mu$ ).

Tiefe	1898				1899						
	18. Okt.	27. Nov.	4. Dez.	28. Dez.	29. Jan.	27. Febr.	30. Mai	5. Juni	30. Aug.	18. Okt.	23. Nov.
m											
0—5	40	0	20	20	0	80	280	1560	320	0	20
5—10	40	0	0	0	0	0	160	540	1040	0	20
10—15	240	10	0	0	0	0	0	500	220	120	20
15—20	240	10	20	0	0	0	560	140	780	140	0
20—25	450	40	—	0	0	0	— 20	120	340	420	0
25—30	450	580	—	0	0	0	560	80	140	320	240
30—40	80	10	—	20	3	3	50	60	40	180	160
40—60	25	55	—	50	3	3	10	10	5	10	50
60—80	30	10	—	20	3	0	20	10	25	45	10
80-100	20	10	—	0	5	0	10	10	25	20	5

**Tabelle XXII.**

Thermische Differenz auf 1 m Tiefe im Gersauerbecken im Jahre 1899  
in Tausendstel-Graden ( $\mu$ ).

Tiefe	27. Jan.	23. Febr.	25. März	28. April	26. Mai	23. Juni	25. Juli	25. Aug.	28. Sept.	26. Okt.	24. Nov.	29. Dez.
m												
0— 5	0	40	80	220	580	520	960	260	60	40	20	40
5— 10	0	0	0	80	100	60	280	800	80	0	20	0
10— 15	0	20	0	120	280	0	360	300	180	60	0	0
15— 20	0	0	0	60	— 80	560	440	500	380	80	0	10
20— 25	0	0	10	60	60	— 20	240	500	460	100	0	0
25— 30	0	0	0	40	0	0	200	220	440	420	0	0
30— 35	10	0	0	40	90	220	100	80	— 500	100	40	0
35— 40	10	0	0	40	90	80	20	40	360	100	140	0
40— 50	0	0	0	0	70	70	20	10	40	0	110	0
50— 60	0	0	0	0	20	40	30	30	80	0	90	0
60— 80	0	0	0	10	20	30	10	30	15	25	30	5
80— 100	10	5	5	0	10	5	10	5	20	25	15	5
100— 120	5	0	0	0	10	5	15	5	15	5	5	5
120— 160	3	3	3	4	3	0	3	7	10	3	5	7
160— 200	1	2	2	0	3	5	3	3	3	5	7	7

rührung mit der Luft, deren Temperatur sie also durch Leitung anzunehmen bestrebt ist. Das Wärmeleitungsvermögen des Wassers ist zwar bekanntlich äusserst gering; die Uebertragung der Wärme von der Luft zu den Wassermolekülen wird aber durch die vom Wind bewirkte Wellenbewegung gefördert, indem dadurch immer neue Teilchen der Oberflächenschicht mit der Luft in Berührung kommen. Die Wärmezunahme der Oberflächenschicht geschieht daher, wie wir im ersten Teil unserer Untersuchungen gesehen haben, mit ähnlicher Geschwindigkeit, wie diejenige der Luft. Zu der Wärmeübertragung durch die Berührung mit der überlagernden Luft kommt dann natürlich auch noch diejenige durch Sonnenstrahlung oder die Insolation.

Mit dem Eintritt des Rückganges der Lufttemperatur im August beginnt auch die Abkühlung dieser Oberflächenschicht. Dadurch erleidet die Isochrone in ihrem oberen, bis dahin spitz auslaufenden Ende eine Abstumpfung; doch genügt, infolge der grossen Wärmekapazität des Wassers, der Wärmegehalt der

**Tabelle XXIII.** Thermische Differenz auf 1 m Tiefe im Jahre 1809 und 1900, in Tausendstel-Graden (17).

Tiefe	I. Kreuztrichter				II. Wegiserbecken				III. Gersauerbecken				IV. Flüelerbecken				
	1899	27. II.	30. V.	30. VIII.	23. XI.	21. II.	23. V.	25. VIII.	3. XII.	23. II.	26. V.	25. VIII.	24. IX.	24. II.	25. V.	4. IX.	29. XI.
m																	
0—5	80	280	320	20	20	20	20	40	580	260	20	40	40	180	40	180	40
5—10	0	160	1040	20	0	0	0	0	100	800	20	0	0	20	620	0	0
10—15	0	0	220	20	20	20	20	20	280	300	0	10	10	0	440	0	0
15—20	0	560	780	0	0	0	0	0	—80	500	0	10	100	0	580	0	0
20—25	0	—20	340	0	0	0	0	0	60	500	0	0	160	460	10	10	10
25—30	0	560	140	240	0	0	0	0	0	220	0	0	240	—300	300	10	10
30—35	0	50	40	200	0	0	0	0	90	80	40	0	100	200	200	40	40
35—40	3	50	30	120	0	0	0	0	90	40	140	0	100	—100	100	60	60
40—50	3	10	10	50	0	0	0	0	70	10	110	0	100	110	110	100	100
50—60	3	0	0	50	0	0	0	0	20	30	90	0	0	0	140	60	60
60—80	5	20	25	10	0	0	0	0	20	30	30	0	10	10	25	20	20
80—100	5	10	25	5	0	0	0	0	10	5	15	0	5	5	15	20	20
100—150	—	—	—	—	—	—	—	—	10	6	5	0	4	4	4	4	4
150—200	—	—	—	—	—	—	—	—	2	3	7	0	4	4	4	4	3
1900	21. II.	23. V.	25. VIII.	3. XII.	21. II.	23. V.	25. VIII.	3. XII.	21. II.	23. V.	25. VIII.	3. XII.	21. II.	23. V.	25. VIII.	3. XII.	3. XII.
m																	
0—5	—	860	220	120	20	720	440	100	0	920	300	100	0	440	180	80	80
5—10	—	40	520	0	0	20	460	0	0	220	940	0	0	120	660	0	0
10—15	—	0	220	0	20	140	200	0	0	120	410	0	0	520	600	30	30
15—20	—	200	300	0	20	200	400	0	0	—80	620	0	0	200	860	20	20
20—25	—	120	320	60	0	120	—180	180	0	60	100	20	0	100	40	120	120
25—30	—	520	400	140	0	80	480	—40	0	60	80	40	0	100	0	40	40
30—35	—	0	280	70	0	110	160	100	0	160	—80	60	0	30	0	10	10
35—40	—	0	200	100	0	50	80	100	0	40	100	220	0	30	0	0	0
40—50	—	90	200	100	10	140	140	120	0	80	130	30	0	10	0	40	40
50—60	—	20	10	40	0	10	40	20	0	20	30	20	0	0	10	10	10
60—80	—	20	35	40	0	30	50	20	0	20	35	15	0	10	5	5	20
80—100	—	20	15	50	0	0	40	5	0	5	0	25	0	5	0	5	5
100—150	—	—	—	—	—	—	0	5	0	0	2	4	0	0	0	0	2
150—200	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1	2	4	0	0	0	0	4

unmittelbar unter der Oberfläche liegenden Schicht, um den Rückgang der Oberflächentemperatur gegenüber dem der Lufttemperatur bedeutend zu verlangsamen. Die Oberflächensprungschicht bleibt daher noch einige Zeit erhalten, immerhin mit abgebrochener Spitze der Isochrone, so dass nun der eigentliche Temperatursprung nicht mehr zwischen 0 und 5, sondern etwas tiefer, zwischen 5 und 10 m Tiefe erscheint. Diese letztere bemerkenswerte Erscheinung kommt nach den Tabellen XXI. bis XXIII. in vollständiger Uebereinstimmung bei allen thermischen Lotungen zu Ende August zum Ausdruck. Sie findet sich auch noch in den September-Differenzen der Tabelle XXIII., betreffend das Flüelerbecken.

Aus dieser Ursache, d. h. dem Verschwinden der oberen Sprungschicht, erklärt sich auch die charakteristische Form der Isochronen des Herbstes im Vergleich zu denjenigen des Frühlings und Sommers, d. h. der fast vertikale Verlauf des oberen abgelenkten Endes der letzteren, statt der schräg gegen die Oberflächenlinie verlaufenden Biegung der ersteren. Zeitweise kann zwar auch im Herbst infolge warmer Tage die obere Sprungschicht sich vorübergehend wieder einstellen.

### *c) Die untere Sprungschicht.*

Die untere Sprungschicht löst sich sehr bald von der oberen ab, mit der Tendenz, sich allmählich tiefer abwärts zu senken, indem die darüber lagernde Oberflächen- oder Warmwasserschicht infolge der verschiedenen zunehmenden Wärmequellen sich immer mehr verdickt. Nach Tabelle XXII. liegt diese Sprungschicht im Gersauerbecken schon im Februar zwischen 10 und 15 m Tiefe, verliert sich aber im März wieder, um dann in den folgenden zwei Monaten in derselben Tiefe energischer sich auszubilden. Im Juni und Juli sinkt sie in die Gegend von 15 bis 20, im August und September in die Tiefe von 20 bis 25 m, im Oktober in diejenige von 25 bis 30, und im November in die von 35 bis 40 m, um sich dann im Dezember allmählich zu verlieren. Im Jahr 1900 (Tabelle XXIII.) lässt sie sich auch noch im Dezember bis gegen 30 m Tiefe im Flüelerbecken, und zwischen 35 und 40 m Tiefe auch im Gersauerbecken noch ganz deutlich verfolgen. Laut Tabelle

XXI. scheint diese Sprungschicht am 28. Dezember im Luzernerbecken bei zirka 50 m Tiefe noch erkennbar zu sein.

Die thermische Differenz der unteren Sprungschicht wächst bis zu ihrem Maximum, um Ende August, erheblich langsamer. Dieses Maximum beträgt zirka die Hälfte desjenigen der thermischen Differenz der Oberflächensprungschicht. Von diesem Zeitpunkt an geht erstere allmählich wieder rückwärts, jedoch viel gleichmässiger und langsamer, als letztere. Wie wir schon gesehen, verliert sich die untere Sprungschicht erst gegen Ende Dezember mit der thermischen Schichtung überhaupt.

*d) Temperaturänderungen in derselben Tiefe.*

Der Verlauf der Temperaturänderung in derselben Tiefe des Sees während des Jahres 1899 ist auf Tafel XIII. der Beilagen für das Gersauerbecken graphisch durch die sogenannten thermischen Isobathen, ferner das successive Eindringen der Wärme

**Tabelle XXIV.**

**Tiefentemperatur-Aenderung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lotungen im Luzernerbecken, 1898—1899.**

Tiefe	1898		1899						
	27. XI.	28. XII.	29. I.	27. II.	30. V.	5. VI.	30. VIII.	18. X.	23. XI.
m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	− 4,0	− 3,2	− 1,3	+ 0,3	+ 6,6	+ 7,2	+ 1,6	− 8,4	− 2,9
2-3	− 3,9	− 3,3	− 1,2	0	+ 6,1	+ 3,0	+ 5,4	− 7,2	− 3,0
5	− 3,8	− 3,3	− 1,2	− 0,1	+ 5,6	+ 0,8	+ 7,8*	− 6,8	− 3,0
10	− 3,6	− 3,3	− 1,2	− 0,1	+ 4,8	− 0,1	+ 4,3	− 1,6	− 3,1
15	− 2,4	− 3,3	− 1,2	− 0,1	+ 4,8	− 1,6	+ 4,7	− 1,1	− 2,6
20	− 1,3	− 3,2	− 1,2	− 0,1	+ 3,0	− 0,5	+ 1,5	+ 2,1	− 1,9
25	− 0,6	− 3,0	− 1,2	− 0,1	+ 3,1	− 1,2	+ 0,4	+ 1,7	+ 0,2
30	− 0,1	− 0,1	− 1,2	− 0,1	+ 1,3	+ 0,2	+ 0,1	+ 0,8	+ 0,6
40	+ 0,6	− 0,2	− 1,0	− 0,1	+ 0,8	+ 0,1	+ 0,3	+ 0,2	− 0,1
50	+ 0,7	− 0,8	− 0,3	− 0,1	+ 0,8	+ 0,1	+ 0,3	+ 0,3	− 0,7
60	0	− 0,1	− 0,1	− 0,1	+ 0,8	0	+ 0,4	+ 0,3	− 1,0
70	0	− 0,1	+ 0,1	− 0,1	+ 0,6	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,1	− 0,6
80	0	− 0,3	+ 0,2	0	+ 0,4	+ 0,2	+ 0,1	− 0,1	− 0,3
100	0	− 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,2	0	0	0	0

Tabelle XXV.

Monatliche Tiefentemperatur-Aenderung im Gersauerbecken im Jahre 1899.

Tiefe	23. II. <sup>1)</sup>	25. III.	28. IV.	26. V.	23. VI.	25. VII.	25. VIII.	28. IX.	26. X.	24. XI.	29. XII.	(27. I. <sup>2)</sup>
m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	+ 0,2	+ 2,9	+ 4,0	+ 2,7	+ 4,0	+ 0,6	- 5,2	- 2,8	- 2,4	- 3,3	- 0,7
2-3	0	+ 0,1	+ 2,3	+ 2,3	+ 3,2	+ 3,6	+ 2,1	- 4,6	- 2,7	- 2,4	- 3,3	- 0,6
5	- 0,1	0	+ 2,2	+ 2,2	+ 3,0	+ 1,8	+ 4,0*	- 4,1	- 2,7	- 2,3	- 3,4	- 0,6
10	- 0,1	0	+ 1,8	+ 2,1	+ 3,2	+ 0,7	+ 1,5	- 0,6	- 2,3	- 2,4	- 3,3	- 0,6
15	- 0,2	+ 0,1	+ 1,2	+ 1,3	+ 2,6	+ 0,9	+ 1,7	+ 0,1	- 1,7	- 2,1	- 3,3	- 0,6
20	- 0,2	+ 0,1	+ 0,9	+ 2,0	+ 0,4	+ 0,5	+ 1,4	+ 0,7	- 0,2	- 1,7	- 3,3	- 0,6
25	- 0,2	0	+ 0,7	+ 2,0	+ 0,8	- 0,8	+ 0,1	+ 1,0	+ 0,5	- 0,2	- 3,4	- 0,5
30	- 0,2	0	+ 0,5	+ 2,2	+ 0,8	- 1,8	0	- 0,1	+ 0,6	+ 1,9	- 3,4	- 0,5
40	- 0,1	0	+ 0,1	+ 1,7	+ 0,2	- 0,9	0	+ 1,4	- 1,3	+ 2,0	- 2,5	- 0,6
50	- 0,1	0	+ 0,1	+ 1,0	+ 0,2	- 0,3	0	+ 1,1	- 0,9	+ 0,9	- 1,4	- 0,6
60	- 0,1	0	+ 0,1	+ 0,8	0	- 0,2	0	+ 0,6	- 0,1	0	- 0,5	- 0,6
80	- 0,1	0	0	+ 0,5	- 0,2	+ 0,2	- 0,1	+ 0,6	- 0,3	- 0,1	0	- 0,5
100	0	0	+ 0,1	+ 0,3	- 0,1	+ 0,1	0	+ 0,3	- 0,4	+ 0,1	+ 0,2	- 0,6
120	+ 0,1	0	+ 0,1	+ 0,1	0	- 0,1	+ 0,2	+ 0,1	- 0,3	+ 0,1	+ 0,2	- 0,6
200	0	0	0	0	0	+ 0,1	0	0	0	- 0,1	+ 0,1	- 0,1

in das Innere des Sees und die Wiederabnahme derselben im Laufe desselben Jahres durch die Isothermen auf Tafel XII. veranschaulicht. Dazu geben die Uebersichtstabellen XXIV. und XXVI. die numerischen Werte der Temperaturänderungen zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Lotungen sowohl im Luzerner- als im Gersauerbecken. Diejenigen der letzteren Tabelle entsprechen so ziemlich den monatlichen Veränderungen. Sowohl Anfangs- als Endtermin der positiven Differenzen, d. h. der Temperaturzunahme, sind darin durch schärfere Begrenzungslinien markiert, von denen die erstere eine gerade Senkrechte ist, die letztere jedoch von 15, bzw. 20 m Tiefe an abwärts, entsprechend den Verspätungen der Temperaturumkehr, gebrochen verläuft.

Tabellen XXVI. und XXVII. enthalten dieselben zeitlichen Temperaturunterschiede in Quartalabständen für die Haupt-

<sup>1)</sup> Seit 27. Januar.

<sup>2)</sup> Gedachter Anfangszustand vom 27. Januar gleichen Jahres.

becken des Sees nach den Lotungen der zwei Jahre 1899 und 1900. Zur Orientierung ist folgendes beizufügen:

*Zu Tabelle XXVI.* Als Endtermin der einzelnen Quartale ist das Datum der betreffenden letzten Lotung verstanden, nämlich für

<i>Quartal:</i>	<i>Frühling</i>	<i>Sommer</i>	<i>Herbst</i>	<i>Winter</i>
<i>I. Luzernerbecken</i>	30. Mai	30. August	23. Nov.	27. Febr.
<i>II. Gersauerbecken</i>	26. „	25. „	24. „	23. „
<i>III. Flüelerbecken</i>	25. „	4. Sept.	29. „	24. „

Die Abweichungen dieser Daten sind bei Vergleich der Zahlen zu berücksichtigen.

**Tabelle XXVI.**

Tiefentemperatur-Aenderung pro Quartal im Jahre 1899.

Tiefe	I. Luzernerbecken				II. Gersauerbecken				III. Flüelerbecken			
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	+ 6,6	+ 8,8	- 11,3	- 4,1	+ 7,1	+ 7,3	- 10,4	- 4,0	+ 4,0	+ 9,5	- 10,1	- 3,4
5	+ 5,6	+ 8,6	- 9,8	- 4,4	+ 4,4	+ 8,8	- 9,1	- 4,1	+ 4,0	+ 8,8	- 9,6	- 3,4
10	+ 4,8	+ 4,2	- 4,7	- 4,3	+ 3,9	+ 5,4	- 5,3	- 4,0	+ 3,9	+ 5,8	- 6,3	- 3,4
15	+ 4,8	+ 3,1	- 3,7	- 4,2	+ 2,6	+ 5,2	- 3,7	- 4,1	+ 3,9	+ 5,6	- 4,1	- 3,4
20	+ 3,0	+ 1,0	+ 0,2	- 4,2	+ 3,0	+ 2,3	- 1,2	- 4,1	+ 2,5	+ 1,2	- 1,2	- 3,5
25	+ 3,1	- 0,8	+ 1,9	- 4,2	+ 2,7	+ 0,1	+ 1,3	- 4,1	+ 2,4	- 0,3	+ 1,1	- 3,5
30	+ 1,3	+ 0,3	+ 1,4	- 3,0	+ 2,1	- 1,0	+ 2,4	- 4,1	+ 1,5	+ 2,4	+ 0,5	- 3,4
40	+ 0,8	+ 0,4	+ 0,2	- 1,2	+ 1,8	- 0,7	+ 2,1	- 3,2	+ 1,0	+ 2,4	+ 0,5	- 2,9
50	+ 0,8	+ 0,4	- 0,2	- 1,0	+ 1,1	- 0,1	+ 1,1	- 2,1	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,1	- 1,9
60	+ 0,8	+ 0,4	- 0,7	- 0,5	+ 0,9	- 0,2	+ 0,5	- 1,2	+ 0,5	+ 0,8	0	- 1,3
80	+ 0,4	+ 0,3	- 0,4	- 0,3	+ 0,5	- 0,1	+ 0,2	- 0,6	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,1	- 0,9
100	+ 0,2	0	0	- 0,2	+ 0,4	0	0	- 0,4	+ 0,3	+ 0,2	0	- 0,5
120	—	—	—	—	+ 0,2	+ 0,1	0	- 0,3	+ 0,1	+ 0,2	0	- 0,3
200	—	—	—	—	0	+ 0,1	- 0,1	0	0	+ 0,1	+ 0,1	- 0,2

*Zu Tabelle XXVII.* Hier sind die Endtermine der Quartale für alle vier Seebecken dieselben, nämlich für das

<i>Quartal:</i>	<i>Frühling</i>	<i>Sommer</i>	<i>Herbst</i>	<i>Winter</i>
<i>Datum d. letzt. Lotung:</i>	23. Mai	25. Aug.	3. Dez.	21. Febr.

Als Endstadium des ganzen Jahres ist das Anfangsstadium um Ende Februar des gleichen Jahres supponiert.

**Tabelle XXVII.**

Tiefentemperatur-Aenderung pro Quartal im Jahre 1900.

(„Schwan“-Expeditionen.)

Tiefe	I. Kreuztrichter				II. Weggiserbecken				Tiefe
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	
m	0	0	0	0	0	0	0	0	m
0	+ 9,6	+ 4,4	- 10,2	- 3,8	+ 8,3	+ 5,4	- 10,2	- 3,5	0
5	+ 5,4	+ 7,6	- 9,7	- 3,3	+ 4,8	+ 6,8	- 8,5	- 3,1	5
10	+ 4,6	+ 6,8	- 8,1	- 3,3	+ 4,7	+ 4,6	- 6,2	- 3,1	10
15	+ 4,7	+ 5,7	- 7,0	- 3,4	+ 4,1	+ 4,3	- 5,2	- 3,2	15
20	+ 3,8	+ 5,2	- 5,5	- 3,5	+ 3,2	+ 3,3	- 3,2	- 3,3	20
25	+ 3,2	+ 4,2	- 4,2	- 3,2	+ 2,6	+ 4,8	- 5,0	- 3,4	25
30	+ 1,6	+ 3,8	- 2,5	- 2,9	+ 2,2	+ 2,8	- 2,4	- 2,4	30
40	+ 1,6	+ 1,4	- 0,8	- 2,2	+ 1,1	+ 1,7	- 1,2	- 2,6	40
50	+ 0,8	+ 0,3	+ 0,2	- 1,3	+ 0,7	+ 0,8	- 1,0	- 1,6	50
60	+ 0,6	+ 0,4	- 0,1	- 0,9	+ 0,6	+ 0,5	- 0,4	- 0,5	60
80	+ 0,2	+ 0,1	- 0,2	- 0,5	0	0,1	+ 0,2	- 0,7	80
100	—	—	—	—	0	- 0,1	+ 0,3	- 0,3	100
	III. Gersauerbecken				IV. Flüelerbecken				
	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	+ 8,8	+ 4,7	- 9,8	- 3,7	+ 7,0	+ 5,2	- 8,8	- 3,4	0
5	+ 4,3	+ 7,7	- 8,8	- 3,2	+ 4,8	+ 6,5	- 8,3	- 3,0	5
10	+ 3,2	+ 4,1	- 4,1	- 3,2	+ 4,2	+ 3,8	- 5,0	- 3,0	10
15	+ 2,6	+ 2,6	- 2,0	- 3,2	+ 2,6	+ 2,4	- 2,2	- 2,8	15
20	+ 3,0	- 0,1	+ 1,1	- 3,2	+ 1,6	- 0,9	+ 2,0	- 2,7	20
25	+ 2,7	- 1,1	+ 1,5	- 3,1	+ 1,1	- 0,5	1,5	- 2,1	25
30	+ 2,4	0	+ 0,5	- 2,9	+ 0,6	- 0,2	1,4	- 1,8	30
40	+ 1,4	+ 0,9	- 0,8	- 1,5	+ 0,3	+ 0,1	1,3	- 1,7	40
50	+ 0,6	+ 0,4	+ 0,2	- 1,2	+ 0,2	+ 0,2	- 0,1	- 0,3	50
60	+ 0,4	+ 0,3	+ 0,3	- 1,0	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,8	- 1,1	60
80	0	0	+ 0,7	- 0,7	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,5	- 0,7	80
100	- 0,1	+ 0,2	+ 0,1	- 0,2	- 0,1	+ 0,3	+ 0,4	- 0,6	100
150	0	0	+ 0,1	- 0,1	- 0,1	+ 0,3	+ 0,3	- 0,5	150
200	0	- 0,1	+ 0,1	0	- 0,1	+ 0,2	+ 0,2	- 0,3	200

An Hand des angeführten Materials, in erster Linie desjenigen betreffend das Gersauerbecken, lassen sich folgende Tatsachen als ziemlich allgemein gültiges Schlussergebnis feststellen.

1. *Mit Beginn der thermischen Schichtung, um Mitte März herum steigt die Temperatur der Oberflächenschicht, zeitlich rasch zunehmend, bis in den Juni. Nach der Tiefe verlangsamt sich diese Zunahme. Von der unteren Sprungschicht an abwärts dagegen ist sie sehr gering, doch immerhin so, dass schon um Ende Frühling etwelche Zunahme bis in die tiefsten Schichten des Sees sich konstatieren lässt.*

Im Jahre 1899 macht sich die Wärmezunahme zu Ende Mai in allen Seebecken sogar bis 120 m, im folgenden Jahre bis zu 80 m Tiefe deutlich geltend.

2. *Vom Juni an ist das Verhalten in den oberen etwas abweichend von demjenigen in den unteren Schichten des Sees.*

*Während in den oberen Schichten die progressive Temperaturzunahme bis Ende Juli anhält, stellt sich in den unteren Wasserschichten zeitweise ein Stillstand oder vorübergehend sogar ein Rückgang der Temperatur ein, welcher sich nach und nach abgeschwächt auch in grösseren Tiefen fühlbar macht.*

Dieser zeitweise Temperaturrückgang in den ersten Sommermonaten 1899 von 20—30 m Tiefe an abwärts kommt besonders auffällig zum Ausdruck auf den Isothermen und Isobathen der Tafeln XII. und XIII. der Beilagen für das Gersauerbecken. Derselbe lässt sich aber auch an Hand der Tabellen XXIV. und XXVI. für das Luzerner- und Flüelerbecken deutlich nachweisen. Ebenso unverkennbar zeigt sich dieselbe Erscheinung auch im zweiten Beobachtungsjahr, besonders in den beiden inneren, weniger entschieden im Luzerner Seebecken.

3. *Sehr bald, nachdem die Zunahme der Wassertemperatur den grössten Wert erreicht hat, tritt ein ebenso energischer Rückschlag und infolgedessen auch ein Rückgang der Temperatur überhaupt ein.*

4. *Das Maximum der Seetemperatur wird in den obersten Schichten des Sees gegen Ende August erreicht. In der unteren Sprungschicht und tiefer abwärts verspätet sich der Eintritt dieses Maximums successive mehr und mehr bis in den November, in den tiefsten Schichten unter Umständen sogar bis in den Dezember hinein.*

Zur Verdeutlichung dieser Erscheinung geben wir in folgender Uebersicht die Zahlenwerte der Ausschläge oder

Amplituden der sommerlichen Temperatur in den verschiedenen Tiefen der Hauptbecken des Sees seit Februar, unter Beifügung des Datums ihrer Beendigung oder richtiger der betreffenden letzten Temperaturmessung. Der genaue Zeitpunkt der Temperaturwendepunkte lässt sich nicht feststellen.

*Thermische Amplituden 1899.*

Tiefe	Luzernerbecken.	Gersauerbecken	Flüelerbecken
0m	15,4 <sup>0</sup> bis 30. Aug.	14,4 <sup>0</sup> bis 25. Aug.	13,5 <sup>0</sup> bis 4. Sept.
2-3 "	14,5 <sup>0</sup> " 30. "	13,6 <sup>0</sup> " 25. "	13,1 <sup>0</sup> " 4. "
5 "	14,2 <sup>0</sup> " 30. "	13,2 <sup>0</sup> " 25. "	12,8 <sup>0</sup> " 4. "
10 "	9,0 <sup>0</sup> " 30. "	9,3 <sup>0</sup> " 25. "	9,7 <sup>0</sup> " 4. "
15 "	7,9 <sup>0</sup> " 30. "	7,9 <sup>0</sup> " 18. Sept.	7,5 <sup>0</sup> " 4. "
20 "	6,1 <sup>0</sup> " 18. Okt.	6,0 <sup>0</sup> " 18. "	4,7 <sup>0</sup> " 4. "
25 "	4,1 <sup>0</sup> " 23. Nov.	4,3 <sup>0</sup> " 26. Okt.	3,5 <sup>0</sup> " 29. Nov.
30 "	3,0 <sup>0</sup> " 23. "	4,1 <sup>0</sup> " 24. Nov.	3,9 <sup>0</sup> " 4. Sept.
40 "	1,3 <sup>0</sup> " 18. Okt.	3,2 <sup>0</sup> " 24. "	3,4 <sup>0</sup> " 29. Nov.
50 "	1,5 <sup>0</sup> " 18. "	2,1 <sup>0</sup> " 24. "	2,0 <sup>0</sup> " 4. Sept.
60 "	1,5 <sup>0</sup> " 18. "	1,2 <sup>0</sup> " 24. "	1,3 <sup>0</sup> " 29. Nov.
80 "	0,6 <sup>0</sup> " 18. "	0,6 <sup>0</sup> " 24. "	0,9 <sup>0</sup> " 29. "
100 "	0,2 <sup>0</sup> " 18. "	0,6 <sup>0</sup> " 29. Dez.	0,5 <sup>0</sup> " 29. "
120 "	—	0,6 <sup>0</sup> " 29. "	0,4 <sup>0</sup> " 29. "
200 "	—	0,1 <sup>0</sup> " 29. "	0,2 <sup>0</sup> " 29. "

Die Zahlen betreffend das Flüelerbecken sind deswegen ungenauer, weil die dortigen Lotungen nicht monatlich, sondern quartaliter ausgeführt wurden.

Infolge der Verspätungen des Zeitpunktes der Temperaturumkehr zeigt das Herbstquartal für die grösseren Tiefen positive Temperaturänderungen. (Tabellen XXVI. und XXVII.)

5. *Der Temperaturrückgang nach Ueberschreitung des Maximums bis zum Wiederausgleich im Januar vollzieht sich zwar mit allmählich abnehmender, aber bis in immer grössere Tiefen nach und nach sich mehr und mehr ausgleichender Geschwindigkeit, im ganzen innert kürzerer Zeit, als die Temperaturzunahme des Sees.*

Die Isobathen nähern sich daher im Abstieg und verlaufen nahe parallel abwärts. Durch diese Beschleunigung der

Temperaturabnahme im Herbst und Winter wird die Verspätung der Temperaturumkehr der tiefern Wasserschichten wieder eingeholt. Dieser Erscheinung entspricht auch die früher konstatierte charakteristische Form der thermischen Isochronen des Herbstes und des Winters mit der stetigen Vertiefung und Verflachung der unteren Sprungschicht.

Wir wollen zum Schlusse dieses Kapitels noch auf die hauptsächlichlichen Ursachen der gefundenen Eigentümlichkeiten des Erwärmungs- und Wiedererkältungsprozesses der verschiedenen Schichten der Wassermasse des Sees hindeuten.

Das *Wärmeleitungsvermögen* des Wassers ist bekanntlich ein sehr geringes und kommt für die Wärmeübertragung von einer Wasserschicht des Sees zur andern sozusagen gar nicht in Betracht<sup>1)</sup>. (Von deren Bedeutung für die Oberflächen-Sprungschicht haben wir bereits gesprochen.) Dagegen bildet die Durchlässigkeit des Wassers für strahlende Wärme, oder die sogenannte *Diathermanität* desselben ein wesentlicher Faktor für die Erwärmung der tieferen Schichten. Wie wir im zweiten Teil unserer Untersuchungen gesehen (s. Tabelle XVI.), lässt sich im Vierwaldstättersee das Eindringen von Lichtstrahlen zur Zeit der grössten Klarheit für die Reaktion auf Chlorsilber bis auf 110 m, und für die Reaktion auf Jodbromsilber sogar bis auf 200 m als ziemlich sicher annehmen. Da die Lichtstrahlen zugleich auch Wärmestrahlen sind, so resultiert daraus auch ein Eindringen der strahlenden Wärme, wenn auch in höchst minimem Grade, bis zu jenen Tiefen.

Die Wärmestrahlung geht jedoch nicht einzig aus von der Sonne, sondern auch von jedem mehr oder weniger erwärmten festen, flüssigen oder luftförmigen Körper, also z. B. von dem

---

<sup>1)</sup> Unter dem Wärmeleitungsvermögen eines Körpers versteht man die Anzahl Kalorien, welche durch eine Fläche von 1 cm<sup>2</sup> bei einem Temperaturgefälle von 1° Celsius pro Centimeter Dicke in einer Sekunde hindurchfliessen. Diese Einheit entspricht nahezu dem Wärmeleitungsvermögen des Silbers. Folgende Beispiele bieten einigen Anhalt zu einer diesbezüglichen Vergleichung. Es beträgt das Wärmeleitungsvermögen für:

Silber 1,096; Eisen 0,152; Kalkstein 0,005;

Wasser 0,00124; Luft 0,000053.

Gestein der Ufer, von den überlagernden Luftschichten, sowie den obern, wärmern Wasserschichten zu den tiefern kältern Schichten des Sees.

Da die Wirkung der Wärmestrahlung auf die innere Wassermasse des Sees wesentlich von der Klarheit und Durchsichtigkeit desselben abhängt, so erklärt sich hieraus einerseits das rasche und energische Eindringen der Wärme im Frühling, wie auch umgekehrt die beschleunigte Wiederausgleichung der Temperatur bis zum Grunde des Sees im Winter, zu welchen Zeiten die Transparenz des Wassers, wie wir gesehen, am grössten ist.

Mit der zunehmenden Trübung des Wassers mit Beginn des Sommers, besonders im Juni, vermindert sich auch die Diathermanität desselben, und es tritt infolgedessen ein Stillstand der Wärmezunahme in den tiefern, von der darüber schwebenden Wolke von Schwemmstoffen beschatteten Wasserschichten ein. In den oberen Schichten dagegen nimmt die Absorption der Wärmestrahlen entsprechend zu, wodurch deren Temperaturzunahme beschleunigt wird.

Als weitere wirksame Ursache von Temperaturänderungen des Sees kommt in Betracht die Vermischung der verschieden erwärmten Oberflächenschichten durch Wind etc., ferner die Niederschläge und das mehr oder weniger mit Schwemmstoffen beladene Wasser der Zuflüsse. In welcher Weise die Temperaturabweichungen des letzteren für die Abkühlung oder Erwärmung der höheren oder tieferen Wasserschichten des Sees zur Wirkung kommen können, werden wir im folgenden Kapitel betreffend die lokalen Temperaturabweichungen der Tiefentemperatur etwas näher erörtern.

### **3. Oertliche Aenderung der Tiefentemperaturen.**

#### **Neigung der isothermen Niveaulächen.**

Stellt man sich vor, das Wasser des Sees sei durchweg von derselben Reinheit, also das spezifische Gewicht nur durch dessen Temperatur bedingt, so wird Gleichgewicht bestehen, wenn durchweg in gleichen Tiefen auch gleiche Wassertemperatur herrscht, wobei die Schichten höherer über solchen

niederer Temperatur lagern, sofern die niedrigste nicht unter 4 Grad herabgeht. Andernfalls müssten je die kälteren Schichten über den wärmeren liegen. In beiden Fällen des Gleichgewichtes liegen die Wasserschichten gleicher Temperatur in gleichem Abstand von der Oberfläche, d. h. die isothermen Niveaulflächen sind Ebenen parallel zur Seeoberfläche.

Anders verhält sich die Sache, wenn entweder das Gleichgewicht zwischen den Wasserschichten durch irgend eine Ursache, z. B. durch Wind, Seiches, oder ungleiche Erwärmung etc. gestört wird, oder wenn die Dichtigkeit des Wassers infolge der Beimischungen durch Zuflüsse oder Niederschläge lokale Veränderungen erleidet. In diesem Falle neigen und krümmen sich die isothermen Niveaulflächen mehr oder weniger und bleiben es so lange, als diese Störungen anhalten.

Um nun an Hand der thermischen Lotungen die Lage dieser isothermischen Niveaulflächen des Sees wenigstens in ihren Hauptpunkten zu ermitteln, vergleichen wir möglichst gleichzeitige Messungsergebnisse. Für das Jahr 1900 eignen sich hiezu am besten die Quartallotungen der „Schwan“-Expeditionen. Auch für das Jahr 1899 stehen hiefür vier Quartalmessungen beinahe gleichen Datums zur Verfügung.

Zur Erleichterung dieses Vergleiches stellen wir je die Ergebnisse der zusammengehörigen Lotungen der drei Hauptbecken des Sees, nach den Tiefen geordnet, nebeneinander. Zur Vereinfachung setzen wir in den Fällen, wo die Messungen für dieselbe Tiefe verschiedene Resultate ergeben, jeweilen deren Mittelwerte; zur Kennzeichnung stehen dieselben in eckiger Parenthese.

**a) Niveautemperaturen zu Ende des Winters.**

<i>Seetiefe</i>	<i>Luzernerbecken</i>	<i>Gersauerbecken</i>	<i>Flüelerbecken</i>
<i>1899</i>	<i>27. Februar</i>	<i>23. Februar</i>	<i>24. Februar</i>
0 m	5,4 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>
5 "	5,0 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>
20-40 "	5,0 <sup>0</sup>	5,1 <sup>0</sup>	5,1 <sup>0</sup>
60 "	4,9 <sup>0</sup>	5,1 <sup>0</sup>	5,1 <sup>0</sup>
100 "	4,9 <sup>0</sup>	4,9 <sup>0</sup>	5,1 <sup>0</sup>

1900	21. Februar	21. Februar	21. Februar
0 m	5,3 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>
5-10 „	5,2 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>
20-40 „	5,0 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>
60-100 „	4,9 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>
200 „	—	5,0 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>

In beiden Jahren ist also die Temperatur des Sees bis Ende des Winters ziemlich ausgeglichen, besonders in den oberen Schichten. In den unteren Schichten, mit mehr als 20 m Tiefe, lässt sich seeabwärts, d. h. vom Flüelerbecken bis zum Luzernerbecken, eine schwache Temperaturabnahme konstatieren, doch beträgt die höchste Differenz nur 0,3 Grad; d. h. die thermischen Niveauflächen haben seeabwärts eine sehr schwache, doch unverkennbare Steigung.

**b) Niveautemperaturen zu Ende des Frühlings.**

Seetiefe	Luzernerbecken	Gersauerbecken	Flüelerbecken
1899	30. Mai	26. Mai	25. Mai
0 m	12,0 <sup>0</sup>	12,5 <sup>0</sup>	9,4 <sup>0</sup>
5 „	10,6 <sup>0</sup>	[9,6 <sup>0</sup> ]	9,2 <sup>0</sup>
10 „	[9,8 <sup>0</sup> ]	[9,1 <sup>0</sup> ]	9,1 <sup>0</sup>
15 „	9,8 <sup>0</sup>	[7,7 <sup>0</sup> ]	9,1 <sup>0</sup>
20 „	[8,0 <sup>0</sup> ]	[8,1 <sup>0</sup> ]	8,6 <sup>0</sup>
25 „	8,1 <sup>0</sup>	[7,8 <sup>0</sup> ]	7,8 <sup>0</sup>
30 „	6,3 <sup>0</sup>	[7,8 <sup>0</sup> ]	6,6 <sup>0</sup>
40 „	5,8 <sup>0</sup>	[6,9 <sup>0</sup> ]	6,1 <sup>0</sup>
60 „	5,7 <sup>0</sup>	6,0 <sup>0</sup>	5,6 <sup>0</sup>
80 „	5,3 <sup>0</sup>	5,6 <sup>0</sup>	5,5 <sup>0</sup>
100 „	5,1 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>
1900	23. Mai	23. Mai	23. Mai
0 m	14,9 <sup>0</sup>	14,1 <sup>0</sup>	12,2 <sup>0</sup>
5 „	10,6 <sup>0</sup>	9,5 <sup>0</sup>	10,0 <sup>0</sup>
10 „	9,8 <sup>0</sup>	8,4 <sup>0</sup>	9,4 <sup>0</sup>
15 „	9,8 <sup>0</sup>	7,8 <sup>0</sup>	7,8 <sup>0</sup>
20 „	8,8 <sup>0</sup>	[7,3 <sup>0</sup> ]	6,8 <sup>0</sup>
25 „	8,2 <sup>0</sup>	7,9 <sup>0</sup>	6,3 <sup>0</sup>

1900	23. Mai	23. Mai	23. Mai
30 „	[6,6°]	7,6°	5,8°
40 „	6,6°	6,6°	5,5°
50 „	5,7°	5,8°	5,4°
80 „	5,1°	5,2°	5,2°

Wie die vielen Störungen der thermischen Schichtung gegen Ende des Frühlingquartals, namentlich im Jahre 1899, zum voraus erwarten lassen, ist die Inklination der isothermen Niveauflächen, besonders von den oberen Schichten, keine einheitliche und bestimmte. Deutlich ausgesprochen ist nur zwischen den beiden äusseren Becken eine Temperaturzunahme oder ein Fallen der Niveauflächen seeabwärts in den oberen Schichten (bis 30 m) in beiden Jahren, in den unteren Schichten nur im Jahre 1900, während 1899 ihre Lage hier eher eine umgekehrte ist.

Das Gersauerbecken zeigt um diese Zeit, besonders 1899, bis 40 m Tiefe, sehr viele Störungen der thermischen Schichtung, weshalb die Lage der Niveauflächen in den oberen Schichten eine wechselnde wird. Zwischen diesem mittleren und dem Luzernerbecken lässt sich im allgemeinen in den oberen Schichten seeabwärts ein Fallen, und in den unteren Schichten ein Steigen der thermischen Niveauflächen konstatieren. Für das Gersauer- und Flüelerbecken dagegen ist das Verhältnis in beiden Beziehungen ein umgekehrtes.

Nimmt man die Mittelzahlen der Temperaturen von 0 bis 25 m und von 30 bis 100 m Tiefe, so ergibt sich, nach steigenden Mittelzahlen geordnet, folgende Reihenfolge der Becken: Obere Schichten, sowohl 1899 als 1900: Flüelen, Gersau, Luzern; Untere Schichten, 1899: Luzern, Flüelen, Gersau; 1900: Flüelen, Luzern, Gersau; d. h. Ende des Frühlings sind die thermischen Niveauflächen in den oberen Seeschichten durchschnittlich seeabwärts fallend; in den tieferen Schichten ist in beiden Jahren das mittlere oder Gersauerbecken das wärmste, also haben die thermischen Niveauflächen in den tieferen Wasserschichten, sowohl vom oberen als unteren Seebecken gegen dieses mittlere Seebecken ein Gefälle.

c) Niveautemperaturen zu Ende des Sommers.

Seetiefe	Luzernerbecken	Gersauerbecken	Flüelerbecken
1899	30. August	25. August	4. September
0 m	20,8 <sup>0</sup>	19,8 <sup>0</sup>	18,9 <sup>0</sup>
5 "	19,2 <sup>0</sup>	18,4 <sup>0</sup>	18,0 <sup>0</sup>
10 "	14,0 <sup>0</sup>	14,4 <sup>0</sup>	14,9 <sup>0</sup>
15 "	12,9 <sup>0</sup>	12,9 <sup>0</sup>	12,7 <sup>0</sup>
20 "	9,0 <sup>0</sup>	10,4 <sup>0</sup>	9,8 <sup>5</sup>
25 "	7,3 <sup>0</sup>	7,9 <sup>0</sup>	7,5 <sup>0</sup>
30 "	6,6 <sup>0</sup>	6,8 <sup>0</sup>	[9,0 <sup>0</sup> ]
40 "	6,2 <sup>0</sup>	6,2 <sup>0</sup>	[8,5 <sup>0</sup> ]
60 "	6,1 <sup>0</sup>	5,8 <sup>0</sup>	6,4 <sup>0</sup>
80 "	5,6 <sup>0</sup>	5,5 <sup>0</sup>	5,9 <sup>0</sup>
100 "	5,1 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>	5,6 <sup>0</sup>
140 "	—	5,0 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>
200 "	—	4,9 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>
1900	25. August	25. August	25. August
0 m	19,3 <sup>0</sup>	18,7 <sup>0</sup>	17,4 <sup>5</sup>
5 "	18,2 <sup>0</sup>	17,2 <sup>0</sup>	16,5 <sup>0</sup>
10 "	16,6 <sup>0</sup>	12,5 <sup>0</sup>	13,2 <sup>0</sup>
15 "	15,5 <sup>0</sup>	10,4 <sup>0</sup>	10,2 <sup>0</sup>
20 "	14,0 <sup>0</sup>	[7,3 <sup>0</sup> ]	5,9 <sup>0</sup>
25 "	12,4 <sup>0</sup>	6,8 <sup>0</sup>	5,8 <sup>0</sup>
30 "	10,4 <sup>0</sup>	[7,6 <sup>0</sup> ]	5,6 <sup>0</sup>
40 "	8,0 <sup>0</sup>	[7,5 <sup>0</sup> ]	5,6 <sup>0</sup>
60 "	[5,8 <sup>0</sup> ]	5,9 <sup>0</sup>	5,5 <sup>0</sup>
80 "	5,2 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>
100 "	Weggiserbecken: 4,8 <sup>0</sup>	5,2 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>
150 "	" 4,8 <sup>0</sup>	5,1 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>
200 "	—	5,0 <sup>0</sup>	5,3 <sup>0</sup>

Das Resultat ist für beide Beobachtungsjahre ein übereinstimmendes, in den oberen und tieferen Wasserschichten von einander abweichendes: In den oberen Wasserschichten ist gegen Ende des Sommers die Temperatur in gleichen Tiefen seeabwärts zunehmend, in den tieferen Schichten dagegen abnehmend, m. a. W.: Die isothermen Niveauflächen haben in

den oberen Wasserschichten seeabwärts ein Gefälle, dagegen in den tieferen Schichten eine Steigung.

Steigung und Gefälle sind natürlich keine konstante Grössen, vielmehr variieren dieselben sowohl örtlich nach der Tiefe und nach dem Seebecken, als zeitlich, abgesehen von der Jahreszeit, auch nach den Jahrgängen. Besonders gross ist im Jahre 1900 der Wärmeüberschuss des Luzernerbeckens gegenüber den inneren, namentlich dem Flüelerbecken. In diesem Jahr sinkt die Grenze zwischen der oberen und tieferen Schicht bis zirka 60 m Tiefe, gegenüber nur 15—20 m im vorhergehenden Jahre.

*d) Niveautemperaturen zu Ende des Herbstes.*

<i>Seetiefe</i>	<i>Luzernerbecken</i>	<i>Gersauerbecken</i>	<i>Flüelerbecken</i>
<i>1899</i>	<i>23. November</i>	<i>24. November</i>	<i>29. November</i>
0 m	9,5 <sup>0</sup>	9,4 <sup>0</sup>	8,8 <sup>0</sup>
5 "	9,4 <sup>0</sup>	9,3 <sup>0</sup>	8,6 <sup>0</sup>
10 "	9,3 <sup>0</sup>	9,2 <sup>0</sup>	8,6 <sup>0</sup>
20 "	9,2 <sup>0</sup>	9,2 <sup>0</sup>	8,6 <sup>0</sup>
25 "	9,2 <sup>0</sup>	9,2 <sup>0</sup>	8,6 <sup>0</sup>
30 "	8,0 <sup>0</sup>	9,2 <sup>0</sup>	8,5 <sup>0</sup>
40 "	6,4 <sup>0</sup>	[8,3 <sup>0</sup> ]	8,0 <sup>0</sup>
60 "	5,4 <sup>0</sup>	6,3 <sup>0</sup>	6,4 <sup>0</sup>
80 "	5,2 <sup>0</sup>	5,7 <sup>0</sup>	6,0 <sup>0</sup>
100 "	5,1 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>	5,6 <sup>0</sup>
140 "	—	5,2 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>
200 "	—	4,8 <sup>0</sup>	5,3 <sup>0</sup>
<i>1900</i>	<i>3. Dezember</i>	<i>3. Dezember</i>	<i>3. Dezember</i>
0 m	9,1 <sup>0</sup>	8,9 <sup>0</sup>	8,6 <sup>0</sup>
5 "	8,5 <sup>0</sup>	8,4 <sup>0</sup>	8,2 <sup>0</sup>
10 "	8,5 <sup>0</sup>	8,4 <sup>0</sup>	8,2 <sup>0</sup>
20 "	8,5 <sup>0</sup>	8,4 <sup>0</sup>	7,9 <sup>0</sup>
30 "	7,9 <sup>0</sup>	8,1 <sup>0</sup>	7,0 <sup>0</sup>
40 "	7,2 <sup>0</sup>	6,4 <sup>0</sup>	6,5 <sup>0</sup>
50 "	6,2 <sup>0</sup>	6,4 <sup>0</sup>	6,5 <sup>0</sup>
60 "	5,8 <sup>0</sup>	6,2 <sup>0</sup>	6,3 <sup>0</sup>
100 "	4,9 <sup>0</sup>	5,4 <sup>0</sup>	5,8 <sup>0</sup>

Diese Zahlen zeigen dasselbe Verhalten, wie die vorhergehenden: In den oberen Schichten seeabwärts Zunahme, in den tieferen dagegen Abnahme der Temperatur gleichtiefer Wasserschichten; oder es haben die isothermischen Niveauflächen in den oberen Schichten ein Gefälle, in den unteren dagegen eine Steigung.

#### e) *Schlussresultat.*

Das Schlussresultat vorstehender Untersuchung kann in folgende, allgemeine Sätze zusammengefasst werden.

*Nach beendigter winterlicher Ausgleichung des thermischen Zustandes des Sees, sowohl von Becken zu Becken, als vom Grunde bis zur Oberfläche, wird mit dem Beginn der thermischen Schichtung im Frühling die Lage der isothermen Niveauflächen zuerst eine schwankende. Nach und nach stellt sich immer ausgesprochener eine Neigung derselben in bestimmter Richtung ein, jedoch in den tiefern und höhern Schichten in entgegengesetztem Sinne; und zwar ist die Inklination seeabwärts, oder in der Richtung des Wasserlaufes von Becken zu Becken in den tieferen Wasserschichten eine ansteigende, in den oberen dagegen eine fallende.*

*Die Grenze zwischen diesen tieferen und oberen Wasserschichten ist die Gegend der Sprungschicht, in der Regel zwischen 25 und 30 m Tiefe. In Jahrgängen mit besonders starker Inklination der thermischen Niveauflächen (z. B. 1900) kann diese Grenze erheblich tiefer (bis 60 m) hinabsteigen.*

Es darf als ziemlich sicher angenommen werden, dass diese Inklination der thermischen Niveauflächen nicht nur von Becken zu Becken, sondern auch innerhalb des gleichen Beckens in demselben Sinne sich entwickelt.

#### f) *Ursachen der Inklination der thermischen Niveauflächen.*

Die Ursachen der konstatierten Neigung der isothermischen Niveauflächen des Sees müssen, wie bereits angedeutet, in den Verschiedenheiten der physikalischen Eigenschaften des Wassers der Zuflüsse und des Sees liegen. Das Wasser der besonders mit Beginn der Schneeschmelze anschwellenden Reuss, sowie

auch der übrigen wichtigeren Zuflüsse des Sees, ist in der Regel kälter als dasjenige des Sees und zudem durch Gestein-detrith getrübt und beschwert, daher spezifisch schwerer, als dasjenige der Seeschichten von gleicher Temperatur. Wie schon ausgeführt, wird ein Teil dieses Zuflusswassers durch mechanische Ursachen mit dem Oberflächenwasser des Sees vermennt und verursacht einerseits Trübung, andererseits eine Depression der Temperatur des letzteren. Die Hauptmasse aber sinkt in die Tiefe des Sees und zwar infolge des durch Trübungen erhöhten spezifischen Gewichtes bis in die Wasserschicht von gleicher Dichtigkeit, eventuell bis auf den Grund des Sees, also in der Regel in eine Schicht, die kälter ist als das Zuflusswasser, verursacht also in dieser eine Erhöhung der Temperatur.

Umgekehrt erleidet aber dabei das mit kälteren Schichten sich mischende Zuflusswasser selber eine Abkühlung durch letztere, also eine entsprechende weitere Erhöhung seiner Dichtigkeit; es sinkt infolgedessen wenigstens ein Teil desselben noch weiter hinunter u. s. w. So durchfallen allmählich nicht nur die spezifisch schwereren Schwemmstoffe, sondern auch ein Teil des mitgerissenen Wassers in die tieferen und untersten Schichten bis auf den Grund des Sees und verursachen eine Erwärmung derselben. Diese Erwärmung der tieferen, bei einer gleichzeitigen Abkühlung der obersten Wasserschichten durch die gleiche Ursache macht sich naturgemäss in der Nähe der Einmündung der Zuflüsse am stärksten geltend und nimmt mit der Entfernung von derselben seeabwärts immer mehr ab.

Forel hat auch für den Genfersee (Leman II, p. 352 ff.) das analoge Verhalten der tieferen Schichten des Sees, d. h. ein thermisches Gefälle oder ein Ansteigen der thermischen Niveauflächen seeabwärts, nachgewiesen und die Ursache hievon ebenfalls in der abweichenden Dichtigkeit des Zuflusswassers, hauptsächlich der Rhone, gefunden.

## IV. Anomalien der thermischen Schichtung.

### I. Thermische Anomalien des Alpnachersees.

Ein merkwürdiges Beispiel von Unregelmässigkeit in der thermischen Schichtung des Wassers liefert die Lotung vom 10. Februar 1899 im Alpnachersee. Ihre Ergebnisse sind nach verschiedener Hinsicht den theoretisch, nach Massstab der Temperaturen zu erwartenden Schichtungsverhältnissen diametral entgegengesetzt. Es ergaben nämlich die Messungen, die zum Teil zur Sicherheit mehrmals wiederholt wurden, folgendes:

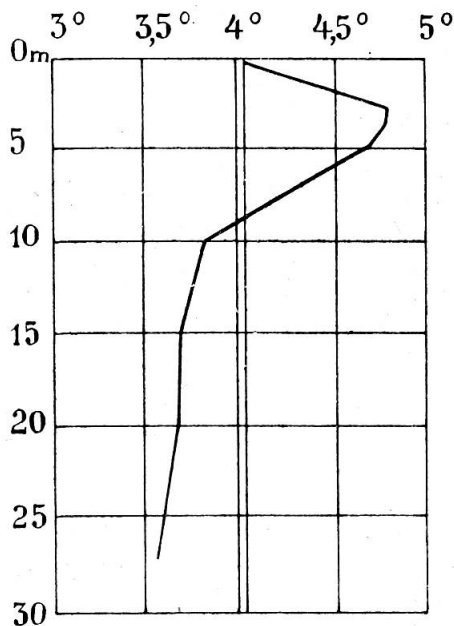
Tiefe:            0    3    5    10    15    20    25 m.

Temperatur:    4    4,8<sup>1)</sup> 4,8    3,8    3,7    3,7    3,6°.

(Gesamttiefe des Sees an der Beobachtungstelle 29 m.)

Diese Messungen sind in nebenstehender Figur durch die betreffende Isochrone graphisch dargestellt.

Wir finden hier also die der grössten Wasserdichtigkeit entsprechende Temperatur von 4° an der Oberfläche, statt am Grunde, und umgekehrt die Temperatur von 3,6° am Grunde, statt an der Oberfläche des Sees; die Schichtung ist also eine verkehrt-inverse oder invers-inverse. Dazu kommt noch die weitere ab-



Thermische Isochrone des Alpnachersees  
den 10. Februar 1899.

norme Erscheinung, dass die Temperatur von unten nach oben nicht stetig zunimmt, sondern zwischen 3 und 5 m Tiefe einen Maximalwert von 4,8°, nach einer der Messungen sogar von 5,1°, erreicht, um dann von da gegen die Oberfläche des Sees

<sup>1)</sup> Mittel aus 3 Messungen. S. Tabelle XIX.

zu wieder bis auf  $4^{\circ}$  abzunehmen. Diese letztere Temperatur fand sich somit, ausser an der Oberfläche, auch noch zum zweiten Male in ca. 9 m Tiefe. Man könnte also hier von einer etwa 3 m dicken *negativen* oberen Sprungschicht, neben einer *positiven* unteren Sprungschicht, bei 5—10 m Tiefe, sprechen.

Vom Standorte, vis-à-vis Rotzloch, bis zur Einmündung des Sees in den anstossenden Vierwaldstättersee wurden die allmählich steigenden Oberflächentemperaturen:  $4,2$ ;  $4,4$ ;  $4,9$ ;  $5,0$ ;  $5,3^{\circ}$  gemessen, und mit letztern übereinstimmend im Stansstad-Hergiswilerbecken:  $5,3^{\circ}$ . An letzterer Beobachtungsstelle ergab die Lotung in 5 m Tiefe  $3,9^{\circ}$ , und in 10 bis 60 m Tiefe, d. h. bis zum Grunde des Sees, gleichförmig  $4,8^{\circ}$ .

Bei Alpnachstad wurden von R. Winkler kurz vor und nach dieser Zeit folgende Messungen gemacht.

*Den 30. Januar:*

Oberflächentemperatur am Ufer  $4,0^{\circ}$ , im See  $4,2^{\circ}$ ; Transparenz 1,2 m; Farbe X-XI.

*Den 13. Februar:*

Oberflächentemperatur am Ufer  $3,9^{\circ}$ , im See  $4,1^{\circ}$ ; Transparenz 1,1 m; Farbe IX.

Es war also zur Zeit dieser Lotung im Alpnachersee die Oberflächentemperatur seeabwärts eine steigende, von  $3,9^{\circ}$  bei Alpnachstad bis  $5,3^{\circ}$  beim Uebergang in den Vierwaldstättersee. Die erstere dürfte ungefähr der damaligen Temperatur der dort einmündenden Sarner Aa entsprochen haben.

Die *Transparenz* war am Standort 1,2 m, also um ein geringes grösser als bei Alpnachstad; die Farbstufe wurde nicht gemessen, dürfte aber nach obigem zu zirka IX-X taxiert werden.

Der Februar war ziemlich trocken, dagegen der vorherige Monat zeitweise sehr nass und stürmisch, vielerorts mit Wasserschaden, Ueberschwemmungen und Lawinen. (Niederschlagsmenge 79 statt normal 43 mm.) Es waren also offenbar diese vorausgehenden Witterungsverhältnisse, beziehungsweise die infolgedessen dadurch entstandenen Trübungen und Dichtigkeitsänderungen des Wassers die Ursache der beschriebenen, auffälligen thermischen Schichtung des Sees.

Ohne Beimischung des Aa-Wassers würde damals die Temperatur des Sees ungefähr dieselbe des benachbarten Vierwaldstättersees, also zirka 5 bis  $4,8^{\circ}$  betragen haben. Bei der geringen Tiefe und verhältnismässig kleinen Wassermasse des Sees (nach Burkhardt beträgt die mittlere Durchlaufszeit des Wassers durch den Alpnersee nur etwa  $1\frac{1}{2}$  Monate) muss die abweichende Temperatur des Zuflusses, namentlich zur Zeit grösserer Anschwellung desselben, im See sich sehr bald geltend machen, und zwar im vorliegenden Falle im Sinne einer Abkühlung desselben. Infolge der vorherigen starken Niederschläge und der Schneeschmelze war aber das Aa-Wasser stark mit mineralischen und organischen Schwemmstoffen beladen, daher die grosse Trübung und hohe Farbstufe des Sees, welche letztere, wie wir gesehen, hauptsächlich den organischen Beimischungen zuzuschreiben ist. Das spezifische Gewicht der Schwemmstoffe war natürlich ein sehr verschiedenes, teils niedriger, teils höher als dasjenige des Wassers. Bei der flachen Einmündung und geringen Seetiefe erfolgt daher sehr bald wenigstens teilweise, eine Scheidung des Zuflusswassers, indem das leichtere, mehr mit organischen Bestandteilen beladene sich hauptsächlich über die Oberfläche des Sees ausbreitete, während die spezifisch schwerere Hauptmasse sich mehr mit den tieferen Schichten des Sees zu vermischen strebte. Dadurch wurde in beiden Schichten Abkühlung bewirkt, und zwar in einem nach oben und nach der Tiefe zunehmendem Grade; während in der zwischenliegenden Uebergangsschicht annähernd die mittlere Seetemperatur ( $4,8^{\circ}$ ) erhalten blieb.

## 2. Thermische Anomalien des Vierwaldstättersees.

Wie wir bei den Untersuchungen betreffend Transparenzverhältnisse gesehen, hat sich die aussergewöhnliche Witterung des Januar 1899 auch im Vierwaldstättersee durch eine vorübergehende abnorme Trübung bemerkbar gemacht. Dagegen ist aus den thermischen Lotungen um jene Zeit (Tabelle XVII. bis XIX.), soweit diese reichen, nichts Auffälliges ersichtlich, obwohl nach einer Messung von Kapitän Segesser (S. Tabelle V., Fussnote), die Temperatur der Reuss bei Flüelen noch am 23. Februar nur  $1,4^{\circ}$  betrug und volle  $4^{\circ}$  niedriger war als

•

die Oberflächentemperatur des Sees. Es erklärt sich dies einerseits aus der verhältnismässig viel grösseren Wassermasse dieses sehr tiefen Seebeckens, andererseits aus dem Umstande, dass um jene Zeit die thermische Schichtung des Sees noch eine sehr schwache war, daher der grössere Teil des trüben Wassers sofort in die Tiefe versinken musste. Da aber selbst im Alpnachersee die bewirkte Temperatur-Depression 1 Grad nicht überstieg, musste die Wirkung auf das Wasser des Flüelerbeckens und des Vierwaldstättersees überhaupt eine unmerkliche sein, besonders an der von der Einmündung der Reuss ziemlich entfernten Lotungsstelle, im nördlichen Teil des Seebeckens.

Anders gestaltet sich die Wirkung ähnlicher Ursachen zur Zeit der ausgesprochenen thermischen Schichtung und der Zunahme der Niederschläge überhaupt. Es wächst dann, wie wir gesehen, die Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit der Vermengung der trüben Zuflusswasser und der oberen Schichten des Sees. Die thermischen Lotungen ergeben in der Tat für diese Periode fast in allen Becken des Sees eine Reihe von merkwürdigen Anomalien oder Störungen der thermischen Schichtung, welche auf genannte Ursachen zurückzuführen sind. Diese machen sich besonders in den thermischen Isochronen (Tafel IX-XI. der Beil.) durch ein Zerreißen und Zerfetzen dieser Kurven in der Gegend von der unteren Sprungschicht an aufwärts, zum Teil in sehr auffälliger Weise bemerkbar. Wir wollen dieselben und deren Verumständungen in zeitlicher Reihenfolge etwas näher durchgehen.

*a) Lotung im Gersauerbecken den 26. Mai 1899.*

Oberflächentemperatur 12,5°, bei Regenschauer.

Da die Messungen schon von 5 m an Unregelmässigkeiten ergaben, welche sich bis 40 m Tiefe geltend machten, wurden die Messungen mit grösster Sorgfalt und unter Beobachtung aller Vorsichtsmassregeln von 5 zu 5 m öfters wiederholt und die sichere Ueberzeugung gewonnen, dass die sich ergebenden Differenzen keineswegs in Fehlern der Beobachtung oder der Instrumente ihre Ursache haben konnten. Letztere

funktionierten tadellos. Ich führe hier an Hand des Protokolls alle Messungsergebnisse in ihrer zeitlichen Reihenfolge an.

Tiefe:	5	10	15	20	25	30	40	50 m
Temperatur:								
1. Serie.	9,1	7,4	7,7	8,0	6,9	6,5	6,8	6,2 <sup>0</sup>
	—	9,0	7,6	7,8	7,9	7,8	7,0	6,8
2. Serie.	10,1	9,0	7,6	8,4	7,9	7,8	6,8	6,2
	—	10,8	7,4	7,1	8,6	8,0		

Vom Standort aus war eine starke Anschwellung und Trübung des Baches bei Beckenried, sowie der Engelberger-Aa bei Buochs in auffälliger Weise wahrnehmbar. Laut Aufzeichnungen der Meteorolog. Station Luzern war vom 20. bis 28. Mai alle Tage Regen und betrug die Regenmenge des Monats 141, statt normal 111 mm.

Eine Lotung am vorhergehenden Tag im Flüelerbecken (Tabelle XIX.) ergab keine Unregelmässigkeit, wohl aber die folgende, um einige Tage spätere im Kreuztrichter.

*b) Lotung im Kreuztrichter den 30. Mai 1899.*

Diese ergab folgende Temperaturen bei:

Tiefe:	0	5	10	12 1/2	15	20	25	30 m
1. Serie:	12,0	10,6	9,6	—	7,8	7,0	—	6,3 <sup>0</sup>
2. Serie:	12,2	10,6	—	10,0	9,8	9,0	8,1	—

Es wehte zeitweise starker Wind von Nordost, bei teilweise bewölktem Himmel. Die zweite Serie wurde fast 2 Stunden nach der ersten begonnen, nachdem der Wind in Nord umgeschlagen und das Schiff von seinem ersten Standorte ziemlich abgetrieben worden war. Es müssen also hier in 10 bis 25 m Tiefe neben Wasser von normaler Temperatur kalte Strömungen von 2<sup>0</sup> Depression angenommen werden.

*c) Lotung im Gersauerbecken den 23. Juni 1899.*

Da sich hierbei sehr bald Unregelmässigkeiten in der Temperaturfolge herausstellten, wurden wieder einzelne Messungen sorgfältigst wiederholt und nach Beendigung der ersten Serie wieder von der Oberfläche an beginnend, eine neue durchgeführt. Die Resultate sind:

<i>Tiefe:</i>	0	5	10	15	20	25	30	35 m
1. Serie:	14,2	12,6	11,0	9,1	7,3	8,9	8,7	7,4 <sup>0</sup>
	15,7	—	—	9,4	7,2	7,1	8,2	—
2. Serie:	16,2	—	13,6	12,4	11,1	9,7	8,9	7,5

Der See war leicht bewegt, der Himmel ziemlich hell, daher die Zunahme der Oberflächentemperatur Folge der Inso-  
lation. Der ganze Monat war durchweg sehr trocken. (Nieder-  
schlagsmenge 83, statt normal 153 mm.) Es können also die  
kalten Unterströmungen nur Folge der eingetretenen Schnee-  
schmelze sein. Daher wohl auch die Trübungszacke der Trans-  
parenzkurven auf Tafel III. und IV. Immerhin werden nach  
Mitte Juni auch einige Gewitterregen verzeichnet, welche eben-  
falls mitgewirkt haben mögen.

Gleichzeitige Messungen in andern Seebecken fehlen.

**d) Lotung im Flüelerbecken den 4. September 1899.**

Bei dieser Lotung stellte sich nach einer anfänglichen kon-  
tinuierlichen Temperaturabnahme mit 60 m Tiefe eine plötzliche  
Zunahme von mehr als 2<sup>0</sup> ein. Eine Wiederholung der Messung  
ergab das gleiche Resultat. Dies veranlasste mich, nach Beendigung  
der ersten Lotungen, einige Messungen zu repetieren, welche  
bei 30 und 35 m noch bedeutend grössere Abweichungen im  
gleichen Sinne ergaben. Die Resultate von 15 bis 60 m Tiefe  
waren die nachfolgenden:

<i>Tiefe:</i>	15	20	25	30	35	40	60 m
1. Serie:	12,7	9,8	7,5	6,3	6,1	8,3	6,4 <sup>0</sup>
						8,3	
2. Serie:	—	—	—	11,7	9,9	8,7	—
					9,9	8,7	
						8,7	

Die vorgerückte Tageszeit erlaubte eine Weiterausdehnung  
der zweiten Serie nicht.

Vergleicht man diese Zahlen mit den entsprechenden  
der Lotung vom 29. November an derselben Stelle (Tabelle  
XIX.), so gelangt man zur Vermutung, die Anomalien der-  
selben dürften eher zwischen 20 und 40 m, als zwischen 30  
und 60 m Tiefe liegen, also in einer Temperaturdepression in  
diesen höheren Schichten bestehen. Verwandt mit diesem  
Messungsergebnisse ist dasjenige der folgenden:

e) *Lotung im Gersauerbecken den 28. September 1899.*

<i>Tiefe:</i>	20	25	30	35	40 m
<i>Temperatur:</i>	11,1	8,9	6,7	9,1	7,6°
				9,2	
				9,3	

Auch hier scheint die Unregelmässigkeit in einer Depression in der Tiefe von 25 bis 30 m zu bestehen, ebenfalls verursacht durch kältere Strömungen neben solchen von normaler Temperatur.

Infolge des Windes, sowie auch des normalen Laufes des Wassers war es trotz allen Bemühungen des Fährmannes nie möglich, das Schiff genau an derselben Beobachtungsstelle festzuhalten und waren daher grössere oder geringere Abtreibungen von der anfänglichen Stelle unvermeidlich. Es erklärt sich so die Tatsache, dass jeweilen die neue Serie von Lotungen, an neuer Stelle vorgenommen, im allgemeinen, trotz allen Abweichungen von denjenigen der ersten, unter sich gut übereinstimmende Resultate ergab.

Diese beiden September-Anomalien des Flüeler- und Gersauerbeckens sind um so auffallender, da um diese Zeit wenigstens von der Meteorolog. Station Luzern keine anormalen Witterungserscheinungen verzeichnet werden. Der August war sehr trocken, mit nur 70 mm Niederschlagsmenge. (Normale 159 mm.) Der September hatte vom 8. bis 10. Regen und Gewitter, in der zweiten Hälfte zerstreute Regentage. Niederschlagsmenge 128 mm. (Normale 112 mm.) Es können möglicherweise besondere lokale Witterungsverhältnisse, Gewitter, Föhn, etc. in den inneren Seebecken mitgespielt haben. Es ist in dieser Beziehung aufmerksam zu machen auf die starke Trübung des Flüelerbeckens zu jener Zeit (den 4. September Transparenz 4,6 m), sowie auf die starke Anschwellung der Transparenz-, oder richtiger der Trübungskurve des Alpachersees vom August bis Oktober (Tafel VI. der Beilage), welche auch in den Transparenzkurven des Luzernerbeckens (Tafel III.) sich bemerkbar macht. Es muss also um diese Zeit aus den höheren Uferregionen durch die Bergbäche dem See trübes kaltes Wasser zugeführt worden sein.

*f) Lotungen in verschiedenen Seebecken den 23. Mai 1900.*

Wie im Mai 1899 wurden auch am 23. Mai 1900 sowohl im Gersauer- als Luzernerbecken durch die thermischen Lotungen Anomalien konstatiert, freilich in etwas abgeschwächtem Grade, während in beiden Jahren im Flüelerbecken nichts Aehnliches sich bemerkbar machte. (S. Tabelle XX.)

Zum Vergleich führen wir hier die Ergebnisse dieser gleichzeitigen Lotungen bis zu 40 m Tiefe nochmals auf, und zwar in der Reihenfolge der Messungen am genannten Tage und für alle vier Beobachtungsstellen.

<i>Tiefe:</i>	0	5	10	15	20	25	30	40 m
<i>Flüelerbecken:</i>	12,2	10,0	9,4	7,8	6,8	—	5,8	5,5 <sup>0</sup>
<i>Gersauerbecken:</i>	13,8	9,5	8,4	7,8	8,1	7,9	7,6	6,8
	14,3	—	—	—	8,3			
<i>Weggiserbecken:</i>	13,6	10,0	11,0	9,5	8,2	7,6	7,2	6,1
			9,2	8,8				
			9,4					
<i>Kreuztrichter:</i>	14,9	10,6	9,8	9,8	8,8	8,2	5,8	6,6
							7,4	
							6,2	

Die Abweichungen der Oberflächentemperaturen erklären sich als Folge der Insolation des ziemlich klaren, sonnigen Tages und der Verschiedenheit der Tageszeiten; die Messung im Flüelerbecken fällt auf den Vormittag, die folgenden auf Mittag und Nachmittag. Die Tiefentemperaturen des Flüelerbeckens zeigen eine regelrechte Schichtung; dagegen ist im Gersauerbecken die Temperatur entweder bei 20 m zu hoch, oder, was beim Vergleich mit den Zahlen betreffend das Luzernerbecken wahrscheinlicher ist, bei 15 m zu niedrig. Im anstossenden Weggiserbecken findet sich in der Tat bei letzterer Tiefe, wie auch bei 10 m, kälteres Wasser neben wärmerem. Im Kreuztrichter ist die thermische Schichtung bis 30 m eine normale, und zwar entsprechen die Messungsergebnisse so ziemlich jeweilen den höheren Temperaturen gleicher Tiefe im Weggiserbecken. Erst bei 30 m Tiefe finden sich daselbst Partien von 5,8 und 6,2<sup>0</sup> neben Wasser von der offenbar normaleren Temperatur von 7,4<sup>0</sup>.

Laut Protokoll der Meteorol. Station Luzern war vom 1. bis 23. Mai warmes Wetter, vom 8. bis 16. mildes Regenwetter, sonst schön. Die beobachteten kalten Wasserströmungen sind also auf die Schneeschmelze in den Bergen zurückzuführen. Obwohl im Flüelerbecken keine Unregelmässigkeit in der thermischen Schichtung wahrgenommen wurde, ist doch zu konstatieren, dass die Temperatur von 15 m Tiefe abwärts durchweg eine erheblich niedrigere war als z. B. im Kreuztrichter, wo die Wirkung des Schneewassers erst bei 30 m Tiefe sich bemerkbar machte. Es entspricht dies auch der starken Steigung der Flüeler Transparenzkurve nach Mitte Mai (Tafel V. der Beil.).

*g) Lotungen in verschiedenen Seebecken den 25. Aug. 1900.*

Bei diesen stellten sich wieder nur im Gersauer- und Weggiserbecken thermische Unregelmässigkeiten ein. Zum Vergleich führen wir aber die Ergebnisse aller vier Lotungen an.

<i>Tiefe:</i>	0	5	10	15	20	25	30	35 m
<i>Flüelerbecken:</i>	17,1	16,5	13,2	10,2	5,9	5,8	5,6	5,6 <sup>o</sup>
		17,7						
<i>Gersauerbecken:</i>	18,4	17,2	12,5	10,4	8,2	6,8	6,2	8,0 <sup>o</sup>
	19,0				6,8		9,2	
					7,0			
<i>Weggiserbecken:</i>	18,8	16,8	14,5	15,1	14,0	12,4	10,0	9,2 <sup>o</sup>
	19,2			14,7	10,3			
				12,1	10,2			
				12,0				
<i>Kreuztrichter:</i>	19,0	18,2	16,6	15,5	14,0	12,4	10,4	9,0 <sup>o</sup>
	19,5							

Beim zweitletzten Standorte, in der Nähe von Matt, gegenüber Weggis, war beim Herablassen des Thermometers in die grösseren Tiefen ein heftiges Zittern des Kordons und Abtreiben des Instrumentes zu bemerken; es scheint also, man habe sich hier in einem stärkeren Wasserzuge befunden. Der Vergleich obiger Zahlen zeigt wieder unverkennbar, dass um diese Zeit das Wasser im Flüelerbecken von 0 bis 35 m und tiefer abwärts, im Gersauerbecken von 5 bis 30 m, im Weggiserbecken von 5 bis 20 m erheblich unter die Temperatur

derjenigen im Kreuztrichter abgekühlt war. Die anormal höheren Temperaturen bis 20 m im Gersauer-, und bei 15 bis 20 m im Weggiserbecken scheinen also inselartigen Resten der früher wärmern Wassermasse anzugehören, welche, seeabwärts sich mehr und mehr verbreiternd, ihre sömmerliche Wärme noch erhalten hatten. Im Kreuztrichter dagegen war der frühere thermische Zustand noch ziemlich erhalten, d. h. die kalten Wassermassen waren noch nicht bis dahin gelangt, wenigstens nicht bis in die Gegend der etwas abseits vom Zug der Reuss gelegenen Beobachtungsstelle.

Anzuführen ist noch die Anomalie bei 60 m Tiefe im Kreuztrichter, wo nacheinander  $5,4^{\circ}$  und  $6,5^{\circ}$  gemessen wurde.

Die Meteorologische Station nennt die zweite Hälfte des August sehr regnerisch. Man beachte auch die Trübungszacken gegen Ende des Monats in den Transparenzkurven des Flüeler- und Alpnersees (Tafel V. und VI.), an der Stelle, wo die Küssnacher-Kurve (Tafel III.) noch Transparenzzunahme verzeigt. In letzterer stellt sich die Zinke erst anfangs des folgenden Monats ein.

#### *h) Lotung im Weggiserbecken den 3. Dezember 1900.*

Ausnahmsweise finden wir in dieser späten Jahreszeit eine Unregelmässigkeit der Temperatur in der Tiefe von 25 m (Gegend der unteren Sprungschicht), indem Wasser von  $6,7^{\circ}$  neben solchem von  $8,0^{\circ}$  angetroffen wurde. (Vergl. oben Uebersichtstabelle XX.) Gewiss nicht zufällig treten um diese Zeit auch die aussergewöhnlichen Trübungszacken in den Transparenzkurven des Küssnacher- und Alpnersees auf. (Tafel III. und VI.) Die übrigen Transparenzkurven reichen leider nicht so weit. Nach den Beobachtungen der Meteorol. Station war um jene Zeit trockenes und mildes Wetter, daher wohl diese lokale Trübung und Erkältung des Sees eine Folge von Schneeschmelze.

Vergleicht man die beobachteten Tiefentemperaturen des Vierwaldstättersees mit derjenigen des Genfer- und Bodensees, so erscheint es auffällig, dass in letzteren keine, auch nur annähernd gleiche Diskontinuitäten sich finden, wie bei er-

steren. Es muss hiebei aber in Erwägung gezogen werden, dass bei jenen grossen Seen die Verhältnisse sich in verschiedener Hinsicht wesentlich anders gestalten, als es hier der Fall ist. Einmal ist dort mit viel grösseren Wassermassen im Vergleich zu dem Debit der Zuflüsse zu rechnen. Das Verhältnis zwischen Leman- und Vierwaldstättersee z. B. ist ein ähnliches, wie zwischen diesem und dem Alpnersee. Es können sich also bei ersterem thermische Anomalien auch nur in entsprechend geringerer Masse geltend machen.

Sodann ist die Ufergestaltung bei den genannten grossen Seen eine viel einfachere und einförmigere, als beim vielgliederten, von steilen Höhen und Bergen umschlossenen Vierwaldstättersee. Die Schmelzwasser des Schnees und die durch Gewitter geschwellten Bergbäche finden, besonders in den inneren Seebecken, einen viel rascheren und unmittelbaren Abfluss in den See, als beim Genfer- und Bodensee. Daher wird auch der Temperaturunterschied zwischen diesen Zuflusswassern und dem See bei dem viel kürzeren Weg derselben durch das enger begrenzte Quellgebiet weniger moderiert und ausgeglichen.

Im Bodensee wurden zudem thermische Lotungen nur an einer, von der Einmündung des Rheines ziemlich weit entfernten Beobachtungsstelle vorgenommen, nämlich in der Gegend von Friedrichshafen, bei über 250 m Seetiefe. Es können daher an dieser Stelle ähnliche Unregelmässigkeiten, wie in unserem See, gar nicht erwartet werden. Trotzdem wurden auch dort zu gewissen Zeiten kleinere Anomalien konstatiert, die zwar nicht in thermischen Umkehrungen bestanden, vielmehr nur durch eine ungleichförmige Abnahme der thermischen Differenzen für grössere Tiefen zum Ausdruck kamen. Dies war z. B. der Fall bei den Lotungen im August und Oktober des Jahres 1889, was Forel veranlasste, sich extra von Lausanne nach Friedrichshafen zu begeben, um die Sache durch Wiederholung der Lotungen zu kontrollieren, ohne aber zu einem andern Resultat zu gelangen.

Ähnliche Diskontinuitäten finden sich z. B. auch in den Zahlen unserer Tabellen XIX. und XX., jedoch in einem erheblich grösseren Massstabe, als in der betreffenden Forel-

schen Tafel seiner Bodenseeuntersuchungen. Dabei machen sich auch die thermischen Umkehrungen durch negatives Vorzeichen der Differenzen bemerkbar.

## V. Thermische Bilanz des Vierwaldstättersees.

Wir wollen den thermischen Zustand unseres Sees und dessen Veränderungen auch noch von einer anderen Seite näher zu beleuchten suchen. Zu diesem Zwecke berechnen wir an Hand der beobachteten Tiefentemperaturen die seit einem bestimmten Zeitpunkt gewonnene Wärmemenge des Wassers für eine gewisse Tiefe, und zwar zunächst den *relativen* Wärmegewinn, d. h. den Gewinn eines gewissen Einheitquantums Wasser, um dann auf deren Grundlage auch den *absoluten* Wärmegewinn eines ganzen Seebeckens und des ganzen Sees wenigstens approximativ zu bewerten.

### 1. Relativer jährlicher Wärmegewinn.

Als Anfangs- oder Nullstadium wählen wir den Wärmezustand des Sees zur Zeit seiner Temperaturlausgleichung, d. h. den Moment, wo der See von der Oberfläche bis zum Grunde eine Temperatur von 4° Cels. hat, also von grösster Dichtigkeit ist. Dieser Fall wurde zwar bei unseren Lotungen nie beobachtet und ist wahrscheinlich auch vermöge der besonders milden Winter der betreffenden Jahre in dieser Zeit nie eingetreten. Dagegen ist er in kälteren Wintern unzweifelhaft schon öfters vorhanden gewesen, da solche mit grösserer Seegeförne, also mit verkehrter thermischer Schichtung, zur Genüge bekannt sind. Der Uebergang von der rechten zur verkehrten Schichtung und umgekehrt geschieht aber durch vorherige thermische Ausgleichung des Sees.

Ferner wollen wir der Berechnung das Wasserquantum einer Wassersäule von 1 dm<sup>2</sup> Querschnitt, vom Grunde des Sees bis zur Oberfläche reichend, zu Grunde legen. Ein Stück dieser Wassersäule von 1 dm Länge hat ein Volumen von 1 dm<sup>3</sup> oder 1 Liter; somit entspricht eine Temperaturänderung derselben von 1° Cels. einer Änderung des Wärmegehaltes von 1 Kalorie. Auf eine Länge von 1 Meter

kommt in diesem Falle eine Aenderung des Wärmegehaltes von 10 Kalorien, und auf ein a Meter langes Stück 10a Kalorien. Wird also in diesem Wasserquantum die Temperatur um t Grad erhöht, so beträgt die Zunahme seiner Wärmemenge = 10at Kalorien.

Da nun aber die gedachte Wassersäule in verschiedenen Punkten verschieden erwärmt wird und die Temperaturmessung nur in gewissen Abständen vorgenommen wurde, so muss man sich mit einer approximativen Berechnung der Wärmeveränderung begnügen, indem man aus je zwei aufeinanderfolgenden Temperaturveränderungen das arithmetische Mittel nimmt. Seien  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$  die in genannten Punkten eines a Meter langen Stückes der Wassersäule bestimmten Erhöhungen der Wassertemperatur über  $4^\circ \text{C.}$ , so beträgt der dadurch bewirkte Wärmegewinn in Kalorien:

$$W = 100 a (t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n - \frac{t_0 + t_n}{2})$$

Wählen wir als Beispiel die Aufgabe: die Aufstellung der thermischen Bilanz für das Gersauerbecken an Hand der Resultate der Lotung vom 25. August 1899 (Tabelle XVII.), so gestaltet sich diese Beechnung wie folgt:

*Erste Sektion*, 0 bis 30 m Tiefe; a = 5 m.

Tiefe:	0	5	10	15	20	25	30 m
Temperatur über $4^\circ$ :	15,7	14,4	10,4	8,9	6,4	3,9	2,8 <sup>0</sup>
Wärmegewinn =	$10 \times 5 \times 53,25 = 2663$ Kal.						

*Zweite Sektion*, 30 bis 60 m Tiefe; a = 10 m.

Tiefe:	30	40	50	60 m
Temperatur über $4^\circ$ :	2,8	2,2	2,1	1,8 <sup>0</sup>
Wärmegewinn =	$10 \times 10 \times 6,6 = 660$ Kal.			

*Dritte Sektion*, 60—100 m Tiefe; a = 20 m.

Tiefe:	60	80	100 m
Temperatur über $4^\circ$ :	1,8	1,5	1,4 <sup>0</sup>
Wärmegewinn =	$10 \times 20 \times 3,1 = 620$ Kal.		

*Vierte Sektion*, 100—200 m Tiefe; a = 50 m.

Tiefe:	100	150	200 m
Temperatur über $4^\circ$ :	1,4	1,0	0,9 <sup>0</sup>
Wärmegewinn =	$10 \times 50 \times 2,15 = 1075$ Kal.		

Folglich ist für die ganze Wassersäule den 25. August der Wärmegewinn total =  $2663 + 660 + 620 + 1075 = 5018$  Kal.

Auf diese Weise sind die Zahlen der beifolgenden Tabelle XXVIII. B berechnet worden, aus welcher die Menge der seit der Zeit des Temperatúrausgleiches (um Ende des Winters) aufgespeicherten Wärme in gedachter Wassersäule jeweilen gegen Ende eines Monates (Datum der Lotung), und zwar sowohl für die einzelne Sektion, als die ganze Wassersäule ersichtlich ist. Daraus ergeben sich dann auch die Aenderungen dieses Wärmevorrates von einer Lotung zur anderen, wie sie in Tabelle XXVIII. A. zusammengestellt sind. Dabei bedeuten die positiven Zahlen Zunahmen und die negativen Abnahmen des Wärmevorrates. Ebenso ist dabei auch ersichtlich, innert welcher Zahl von Tagen diese Aenderung erfolgt ist. Dividiert man die Zahlen der letzten Kolonne durch diese Anzahl Tage, so erhält man *die mittlere tägliche Aenderung* der Wärmemenge der ganzen Wassersäule für den betreffenden Monat, nämlich für Monat

März	+ 0,7 Kal.	Juli	— 0,9 Kal.	Nov.	+ 5,2 Kal.
April	+ 15,2 „	Aug.	+ 13,6 „	Dez.	— 42,6 „
Mai	+ 51,0 „	Sept.	+ 8,6 „		—
Juni	+ 22,6 „	Okt.	— 34,1 „		—

ferner folgt für das Quartal:

Frühling + 21,4 Kal. Sommer + 11,5 Kal. Herbst — 5,6 Kal.

Da im Januar 1900 keine Lotung gemacht wurde und der Zeitpunkt des Temperaturminimums nicht bekannt ist, können die täglichen Abnahmen für die fehlenden Monate und für das Winterquartal nicht berechnet werden.

Das Maximum des Wärmegehaltes fällt erst auf die Zeit gegen Ende September; doch ist schon von Ende Juni an die Zunahme des Wärmegehaltes nicht mehr bedeutend, sie beträgt im Durchschnitt nur zirka 7,4 Kalorien pro Tag. Die in dieser Zeit vom Wasser aufgenommene Wärme wurde hauptsächlich für die Erwärmung des Zuflusswassers verwendet.

Aus den beiden Tabellen XXVIII. A. und B. geht auch in anschaulicher Weise hervor, wie die verschiedenen Wasserschichten bei diesem Prozess der Wärmezunahme und -abnahme beteiligt sind. Es zeigt sich, wie schon im Frühling, besonders

**Tabelle XXVIII. A.**

Monatliche Aenderung des Wärmegehaltes des Wassers  
auf 1 dm<sup>2</sup> Seefläche (Gersauerbecken).

1899	Zahl Tage	0-30 m	30-60 m	60-100 m	100-200 m	0-200 m
		Kalorien	Kalorien	Kalorien	Kalorien	Kalorien
23. Februar . . .		+ 21	0	0	0	21
25. März . . . .	30	+ 421	+ 50	+ 20	+ 25	+ 516
28. April . . . .	34	+ 634	+ 510	+ 210	+ 75	+ 1429
26. Mai . . . . .	28	+ 588	+ 90	- 50	+ 25	+ 653
23. Juni . . . . .	28	+ 210	- 320	+ 30	+ 50	- 30
25. Juli . . . . .	32	+ 443	0	- 20	0	+ 423
25. August . . . .	31	- 270	+ 275	+ 210	+ 75	+ 290
28. September . .	34	- 375	- 195	- 110	- 275	- 955
26. Oktober . . . .	28	- 448	+ 385	- 10	+ 225	+ 152
24. November . . .	29	- 1002	- 585	- 30	+ 125	- 1492
29. Dezember . . .	35	- 568	- 540	- 680	- 1225	- 3013
Temperaturausgleich	(?)					

**Tabelle XXVIII. B.**

Seit Temperaturausgleich im See aufgespeicherte Wärmemenge  
auf 1 dm<sup>2</sup> Seefläche (Gersauerbecken).

1899	0-30 m	30-60 m	60-100 m	100-200 m	0-200 m
	Kalorien	Kalorien	Kalorien	Kalorien	Kalorien
23. Februar . . . .	346	330	430	900	2006
25. März . . . . .	367	330	430	900	2027
28. April . . . . .	788	380	450	925	2543
26. Mai . . . . .	1422	890	660*	1000	3972
23. Juni . . . . .	2010	980*	610	1025	4625
25. Juli . . . . .	2220	660	640	1075	4595
25. August . . . . .	2663*	660	620	1075	5018
28. September . . .	2393	935*	830*	1150*	5308*
26. Oktober . . . .	2018	740	720	875	4353
24. November . . . .	1570	1125*	710	1100	4505
29. Dezember . . . .	568	540	680	1225	3013
Temperaturausgleich . . .	0	0	0	0	0

im Mai, die Wärme bis in die tieferen Schichten vordringt, um dann wieder einer Reaktion zu weichen, aus Gründen, die wir bereits früher angegeben haben. Erst gegen Ende des Sommers, nachdem in den obersten Schichten bereits der Rückgang begonnen, setzt die Wärmezunahme nach der Tiefe hin neuerdings ein. Eigentümlicherweise erfolgt besonders in den tieferen Schichten des Sees im Spätherbst nochmals eine ähnliche Schwankung des Wärmegehaltes, die wir auf der Tafel der Isothermen ebenfalls bereits wahrgenommen haben. Dieselbe scheint mehr zufälliger Natur zu sein und ihre Ursache in dem nassen Wetter des Septembers und Oktobers und dem darauf folgenden trocknen und milden Winterwetter zu haben.

Die vorstehenden Betrachtungen beziehen sich freilich nur auf das Gersauerbecken und das Beobachtungsjahr 1899. Dass und wie weit ihnen auch allgemeinere Bedeutung zugeschrieben werden darf, zeigen die in folgender Tabelle XXIX. zusammengestellten Ergebnisse der thermischen Quartalbilanzen der verschiedenen Seebecken für die beiden Beobachtungsjahre.

Zur Erleichterung des Vergleiches in Bezug auf die zeitlichen und örtlichen Veränderungen berechnen wir an Hand dieser Zahlen den durchschnittlichen Wärmegewinn von 1 m<sup>3</sup> Wasser in gewissen Tiefen. Derselbe ist gleich dem Zehnfachen des Inhaltes eines 10 m langen Stückes der gedachten Wassersäule von 1 dm<sup>2</sup> Querschnitt.

Wärmegewinn auf 1 m<sup>3</sup> in Kalorien für:

*Ende Winter.*

<i>Tiefe:</i>	<i>Flüeler- becken:</i>	<i>Gersauer- becken:</i>	<i>Weggiser- becken:</i>	<i>Kreuz- trichter:</i>
0—30 m 1899	1173	1153	—	1033
1900	1200	1200	1110	—
30—100 m 1899	1100	1086	—	921
1900	1200	1200	921	—
über 100 m 1899	1100	900	—	—
1900	1200	1100	800	—

*Ende Frühling.*

0—30 m 1899	4633	4740	—	5243
1900	4217	4717	5217	5343

**Tabelle XXIX.**

Vierteljährlicher Stand des Wärmegewinnes des Wassers  
auf 1 dm<sup>2</sup> Seefläche in den Hauptbecken.

1899		Lotung	0-30 m	30-60 m	60-100 m	100-200m	Total
<b>I. Flüelerbecken:</b>			Kalor.	Kalor.	Kalor.	Kalor.	Kalor.
Ende Winter . . .	24. Februar	353	330	440	1100	2223	
„ Frühling . . .	25. Mai	1390	560	600	1225	3775	
„ Sommer . . .	4. September	2643	1130	780	1400	5953	
„ Herbst . . .	29. November	1383	1055	800	1425	4663	
<b>II. Gersauerbecken:</b>							
Ende Winter . . .	23. Februar	346	330	430	900	2006	
„ Frühling . . .	26. Mai	1422	890	660	1000	3972	
„ Sommer . . .	25. August	2663	660	620	1075	5018	
„ Herbst . . .	24. November	1570	1125	710	1100	4505	
<b>III. Kreuzrichter:</b>							
Ende Winter . . .	27. Februar	310	285	360	—	955	
„ Frühling . . .	30. Mai	1573	550	540	—	2663	
„ Sommer . . .	30. August	2605	665	1040	—	4310	
„ Herbst . . .	23. November	1553	700	890	—	3143	
<b>1900</b>							
<b>I. Flüelerbecken:</b>							
Ende Winter . . .	21. Februar	360	360	480	1200	2400	
„ Frühling . . .	23. Mai	1265	450	490	1100	3305	
„ Sommer . . .	25. August	2455	475	570	1375	4875	
„ Herbst . . .	3. Dezember	1170	855	790	1675	4490	
<b>II. Gersauerbecken:</b>							
Ende Winter . . .	21. Februar	360	360	480	1100	2300	
„ Frühling . . .	23. Mai	1415	700	510	1000	3625	
„ Sommer . . .	25. August	2168	847	550	1100	4665	
„ Herbst . . .	3. Dezember	1320	825	740	1200	4085	
<b>III. Weggiserbecken:</b>					100-150 m		
Ende Winter . . .	21. Februar	333	285	360	400	1378	
„ Frühling . . .	23. Mai	1565	605	420	425	3015	
„ Sommer . . .	25. August	2960	1020	480	400	4860	
„ Herbst . . .	3. Dezember	1240	660	510	475	2885	
<b>IV. Kreuzrichter:</b>							
Ende Winter . . .	21. Februar	?	?	?	—	?	
„ Frühling . . .	23. Mai	1603	635	460	—	2798	
„ Sommer . . .	25. August	3325	1015	520	—	4860	
„ Herbst . . .	3. Dezember	1335	876	550	—	2761	

*Ende Frühling.*

<i>Tiefe:</i>	<i>Flüeler- becken:</i>	<i>Gersauer- becken:</i>	<i>Weggiser- becken:</i>	<i>Kreuz- trichter:</i>
30—100 m 1899	1657	2214	—	1557
1900	1343	1729	1464	1567
über 100 m 1899	1100	900	—	—
1900	1200	1100	850	—

*Ende Sommer.*

0—30 m 1899	8810	8873	—	8683
1900	8152	7227	9867	11083
30—100 m 1899	2729	1829	—	2436
1900	1493	1729	1464	2193
über 100 m 1899	1400	1075	—	—
1900	1375	1100	800	—

*Ende Herbst:*

0—30 m 1899	4610	5233	—	5177
1900	3900	4400	4133	4450
30—100 m 1899	2650	2621	—	2271
1900	2350	2236	1657	2037
über 100 m 1899	1425	1100	—	—
1900	1675	1200	950	—

Durch diese Zahlen werden die bereits früher aus den Tiefentemperaturen entnommenen Wahrnehmungen noch etwas besser präzisiert. In den tiefsten Schichten des Sees besteht sozusagen das ganze Jahr, abgesehen von allfälligen Momenten des vollständigen Temperatúrausgleiches, seeabwärts ein thermisches Gefälle oder nach früherer Ausdrucksform ein Ansteigen der thermischen Niveauflächen. Dieses Gefälle ist am ausgesprochensten im Sommer und im Herbst, am schwächsten und besonders zwischen den zwei obersten Becken nahezu ausgeglichen im Winter.

In der obersten oder sogenannten Oberflächenschicht tritt das umgekehrte Verhältnis ein, nämlich ein Steigen des Wärmegehaltes mit der Entfernung von der Einmündung der Reuss, besonders vom mittleren gegen die äusseren Becken. Am konsequentesten ist dies im Frühling und Herbst der Fall.

Im Sommer kann entweder völlige Ausgleichung, oder zwischen den beiden obern Becken sogar Umkehrung eintreten. Im Winter tritt diese Umkehrung im ganzen See auf, d. h., es stellt sich auch bei der Oberflächenschicht, wie in den tiefsten Schichten, ein thermisches Gefälle ein.

In den mittleren Schichten ist das thermische Niveau in allen Jahreszeiten sehr schwankend und es scheint dasselbe besonders von den zufälligen Witterungsverhältnissen abhängig zu sein.

## 2. Absoluter jährlicher Wärmegewinn.

An Hand vorstehender relativer Zahlen betreffend den Wärmegehalt der Seebecken zu Ende des Sommers, zusammen mit den betreffenden Massangaben (Mitteilungen III., p. 138), lässt sich nun auch eine approximative Schätzung des absoluten Betrages der seit dem Zeitpunkt der winterlichen Temperaturausgleichung in den einzelnen Seebecken, sowie auch im ganzen See aufgespeicherten Wärmemenge vornehmen.

Wir beginnen wieder mit dem Gersauerbecken. Bei einem Kubikinhalte desselben von 4480 Millionen Kubikmeter wird die mittlere Tiefe zu 142 m geschätzt. Nach der thermischen Lotung vom 25. August 1900 berechnen wir auf Grund der einschlägigen Zahlen der Tabelle XXIX. den Wärmegewinn der Wassersäule von 1 dm<sup>2</sup> Querschnitt bis zu obiger Tiefe zu  $4665 - 638 = 4027$  Kalorien. Da das Volumen dieses Wasserquantums 1,42 m<sup>3</sup> beträgt, so kommt daher auf 1 m<sup>3</sup> der Betrag von 2836 Kalorien, und auf das ganze Seebecken  $4480 \times 2836 = 12\,705\,280$  Millionen oder rund 12,705 Billionen Kalorien. Für den gleichen Tag des vorhergehenden Jahres, 1899, würde laut Tabelle XXIX. das Ergebnis noch um etwa 3% grösser ausfallen. Ueberhaupt wird dasselbe nach den Jahrgängen innert gewissen Grenzen variieren.

Führt man diese Rechnung in gleicher Weise für alle vier Lotungen gleichen Datums durch, so ergeben sich die nachfolgenden Zahlen:

Seebecken	Volumen in Billionen m <sup>3</sup>	Mittlere Tiefe in m	Mittl. Wärme- gewinn v. 1 m <sup>3</sup>	Datum der Lotung	Total Wärmegewinn bis 25. Aug. 1904 in Billionen Kal.
				1900	
Flüelenerbecken . .	3180	148	2811	25. August	8939
Gersauerbecken . .	4480	142	2836	25. „	12705
Weggiserbecken .	2500	105	4267	25. „	10668
Uebrig. Luzernersee	1750	54	7333	25. „	12833
<b>Ganzer Vierwaldstättersee</b>	11910				45145

Dieser Wärmegewinn bedeutet nicht das Maximum des betreffenden Jahres. Wie die Lotungen des Jahres 1899 gezeigt, wächst dieselbe noch bis in den September hinein. Diese Zunahme ist jedoch nicht mehr sehr bedeutend; bis 28. September betrug dieselbe im Gesamtbecken noch etwa 2,2 0/0. Mit diesem Zuschlag käme der Gesamtbetrag der bis in den September aufgespeicherten Wärmemenge des ganzen Sees auf rund 46 Billionen Kalorien.

Dieser Betrag ist ein ganz respektable. Um denselben einigermaßen zu veranschaulichen, wollen wir ihn in das entsprechende Quantum Kohle verwandeln. Durch Verbrennen von 1 Kilogramm kann 7800 Kalorien Wärme erzeugt werden. Zur Erzeugung des obigen sömmerlichen Wärmegewinnes des Sees wäre also rund 5900 Millionen Kilogramm oder 5,9 Millionen Tonnen Kohle erforderlich. Dieser Bedarf entspricht einem mit Kohlen beladenen Eisenbahnzuge von 590 000 Güterwagen, jeder zu 10 Tonnen gerechnet. Dies erforderte, wenn die Länge eines Wagens zu 6 m angenommen wird, einen Eisenbahnzug von 3540 Kilometer, entsprechend einer Länge von zirka 31,3 Aequatorgrad, oder etwa der Entfernung des Nordkaps von der Südspitze von Sizilien. Hierbei ist nicht in Anschlag gebracht das grosse Wärmequantum, das der See schon während der wärmeren Jahreszeiten abgegeben hat, einerseits an die Atmosphäre während der Nacht oder überhaupt während kühleren Tageszeiten, andererseits an die aufgenommenen kälteren, zum Teil von Schnee und Gletscher herstammenden bedeutenden Wassermassen der Zuflüsse.

Die im Sommer aufgespeicherte Wärme des Sees wird in der kälteren Jahreszeit nach und nach wieder an die Luft und durch diese an die umgebenden Ufer abgegeben. Es ist dies für das Klima der Umgebung ein ganz erheblicher Faktor von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

In Jahrgängen mit sehr kalten Wintern kann natürlich die Wärmeabgabe des Sees über die angenommene Anfangstemperatur von  $4^{\circ}$  hinunter gehen. Wie sich aus obigen Zahlenangaben leicht berechnen lässt, repräsentiert eine jede weitere Abkühlung von  $1^{\circ}$  C. eine Wärmeabgabe des ganzen Sees im Betrage von rund 4,5 Billionen Kalorien, oder zirka 10% des obigen Totals des Wärmegewinnes während der wärmeren Jahreszeit.

### 3. Vergleich mit Lemman und Bodensee.

Sehr interessant ist namentlich der Vergleich der relativen Wärmearaufspeicherung mit demjenigen anderer Schweizerseen. Wünschenswert wäre hiebei die Kenntnis möglichst gleichzeitiger Lotungsergebnisse. In Ermanglung solcher sind wir darauf angewiesen, aus den betreffenden Publikationen einige Lotungen, die wenigstens bezüglich des Monatsdatums möglichst übereinstimmen und nahe auf Ende des Sommerquartals fallen, zu benützen. Um dabei wenigstens ungefähr die Abweichungen von einem Jahr zum andern beurteilen zu können, wählen wir Beobachtungen aus je zwei verschiedenen Jahren. Solche finden wir in Forels Lemman (II., p. 344) verzeichnet unterm 20. August 1879 und 8. September 1880 für die Station Ouchy des Genfersees, und in seiner Arbeit über die Temperatur-Verhältnisse des Bodensees (XXII. Heft der Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und Umgebung) für die Station Friedrichshafen unterm 29. August 1889 und 16. Juli 1890. Ich habe an Hand dieser Tiefentemperaturmessungen die Beträge des relativen Temperaturgewinnes auf genannte Termine in gleicher Weise und für dieselbe Schichteneinteilung berechnet, welche in folgender Uebersicht nebst den entsprechenden Zahlen betreffend den Vierwaldstättersee zusammengestellt sind.

**Tabelle XXX.**

**Wärmegewinn verschiedener Seen bis Ende des Sommers  
auf 1 m<sup>3</sup> Wasser.**

	Datum der Lotung	0-30 m	30-100 m	über 100 m
<b>I. Genfersee.</b>				
Bei Ouchy . . . . .	20. VIII. 1879	11933	2721	1321
	8. IX. 1880	12750	2429	610
<b>II. Bodensee.</b>				
Bei Friedrichshafen . . .	29. VIII. 1889	8350	293	0
	16. VII. 1890	7577	471	0
<b>III. Vierwaldstättersee.</b>				
Im Flüelerbecken . . . .	25. VIII. 1900	8183	1493	1375
„ Gersauerbecken . . . .	„ „	7227	1996	1100
„ Weggiserbecken . . . .	„ „	9867	2143	800
„ Kreuztrichter . . . . .	„ „	11083	2193	—
Ganzer See . . . . .		9090	1766	1092

Es zeigt sich auch hier wieder die Mittelstellung des Vierwaldstättersees zwischen Lemman und Bodensee; doch steht er besonders bezüglich der Temperatur der mittleren und tiefsten Schichten ersterem viel näher, als letzterem, wie dies auch bezüglich der Transparenz konstatiert wurde. Wenn auch ein Teil der gegenseitigen Temperaturabweichungen dieser Seen auf Rechnung der Verschiedenheit des Witterungscharakters der betreffenden Jahrgänge, in welche die Beobachtungen fallen, zu schreiben ist, so ändert dies am Gesamtergebnisse nichts.

Zu demselben Ergebnis führt auch der Vergleich des thermischen Zustandes der Seen zur Zeit des tiefsten Temperaturstandes, gegen Ende des Winters. Im Vierwaldstättersee ging in beiden Beobachtungsjahren die sogenannte abyssale Temperatur, d. h. die Temperatur der tiefsten Wasserschichten (nach der Bezeichnung Forels), in allen Hauptbecken nie unter 4,7°, im Flüelerbecken nie unter 5° hinab, erreichte also nie die kritische Temperatur von 4°, wie dies Forel auch bezüglich

des Lemans konstatiert hat<sup>1)</sup>. Im Bodensee ist sozusagen immer die abyssale Temperatur  $4^{\circ}$ , von welchem Betrag sie sich nur ausnahmsweise um wenige Zehntelsgrade entfernt.

Der Alpnachersee behauptet, wie wir gesehen, auch bezüglich seiner Tiefentemperatur seine besondere Stellung.

Forel hat die Seen nach dem Verhalten ihrer abyssalen Temperaturen in folgende drei Kategorien eingeteilt<sup>2)</sup>:

1. Seen mit tropischem Typus, deren abyssale Temperatur stets  $4^{\circ}$  oder darüber beträgt, die also stets eine rechte thermische Schichtung haben.

2. Seen mit temperiertem Typus, deren abyssale Temperatur variiert und mehr oder weniger als  $4^{\circ}$  betragen kann, deren thermische Schichtung also zwischen rechter und inverser wechselt.

3. Seen mit polarem Typus, deren abyssale Temperatur fortwährend weniger als  $4^{\circ}$  beträgt, deren thermische Schichtung also stets eine inverse ist.

Dabei werden in jeder Kategorie zwei Gruppen unterschieden, solche von geringer mittlerer Tiefe, mit merklich wechselnder abyssaler Temperatur, und solche mit grosser mittlerer Tiefe, deren abyssale Temperatur stets ganz oder nahezu konstant ist. Der Lemans gehört nach dieser Einteilung zu den tropischen Seen mit grosser Tiefe, und der Bodensee zu den temperierten, ebenfalls mit grosser Tiefe.

Nach unseren Beobachtungen wären alle Hauptbecken des Vierwaldstättersees in dieselbe Kategorie, wie der Genfersee zu rubrizieren, während der Alpnachersee zu den temperierten Seen mit geringer Tiefe (im Mittel 20 m) gehört. Wie wir aber gesehen und auch aus obiger Temperaturzusammensetzung hervorgeht, besteht immerhin zwischen dem tieferen inneren oder oberen See, umfassend das Flüelerbecken (mit 148 m mittlerer Tiefe) und Gersauerbecken (mit 142 m mittlerer Tiefe), und dem äusseren oder unteren See, d. h. dem ausserhalb der Nase gelegenen Teil (mit 75 m mittlerer Tiefe) nicht

---

<sup>1)</sup> Nur ein einziges Mal während elf Jahren, nämlich zu Anfang des Frühjahrs 1891, verzeichnet er für 250 bis 310 m Tiefe in der Gegend von Evian Temperaturen von  $3,98$  bis im Minimum  $3,95^{\circ}$  C.

<sup>2)</sup> Lemans II, p. 302 ff.

nur in den Temperaturen der oberen, sondern auch denjenigen der tieferen und tiefsten Schichten, sowie bezüglich der Tiefenverhältnisse Abweichungen, welche es fraglich erscheinen lassen, ob alle Seebecken in dieselbe Hauptkategorie gestellt werden dürfen. Es müssten zur definitiven Lösung dieser Frage erst noch während einer längeren Reihe von Jahren Beobachtungen angestellt werden.

Es ist anzunehmen, dass in kalten Jahrgängen auch die abyssale Temperatur der Seebecken mit geringerer Tiefe unter  $4^{\circ}$  herabsinkt. Aus der Witterungschronik früherer Jahre<sup>1)</sup> ist bekannt, dass der äussere See, namentlich die Luzernerbucht, das Küssnacher- und Hergiswilerbecken, in solchen Jahrgängen wiederholt fest zugefroren ist, während für das Gersauerbecken nur zweimal, nämlich in den Wintern 1684 und 1685, ein Zufrieren, so dass es überschreitbar war, gemeldet und für das Flüelerbecken gar kein derartiger Fall bekannt ist. In kalten Jahren ist also auch ein Herabsinken der abyssalen Temperaturen unter  $4^{\circ}$  im äusseren See sehr wahrscheinlich.

Es dürfte also das Richtige sein, den äusseren See auf die Grenze der ersten und zweiten Kategorie zu stellen, während dem Gersauer- und Flüelerbecken der tropische Typus in bestimmter Weise zugesprochen werden muss.

---

Alle die vorstehenden Untersuchungen führen zu dem Schlusse, dass die in seiner ganzen äusseren Form und Ufergestaltung ausgeprägte Mannigfaltigkeit des Vierwaldstättersees, welche ihm einen Weltruf verschafft und zum Zielpunkt der Touristen aller Nationen macht, auch in Bezug auf die physikalischen Erscheinungen und Eigenschaften seiner Wassermasse in hohem Grade zur Geltung kommt und ihn auch in dieser Richtung zu einem besonders interessanten Objekte der Naturforschung macht. Möge daher diese Arbeit mit anderen ein zu weiterer Fortsetzung des Studiums anregender Beitrag bilden.

---

<sup>1)</sup> Vgl. Arnet, Das Gefrieren der Seen in der Zentralschweiz, I. Heft der Mitteilungen.

---