

II. Der Ritomsee

A. Geologische Uebersicht.

H. Bachmann, Luzern.

Zur geologischen Orientierung dienen uns hauptsächlich folgende neuere Arbeiten über den Ritomsee:

Lautensach, Die kleinen Seebecken der Tessiner Alpen. Zeitschrift für Gletscherkunde. Bd. IX. 1914.

Krige, Petrographische Untersuchungen im Val Piora und Umgebung. *Ecclogae geologicae Helveticae*. Vol. XIV. 1918.

Collet, Mellet, Ghezzi, Il Lago Ritom. Département suisse de l'intérieur. Communications du Service des Eaux, publiées sous la Direction du Dr. C. Mutzner. 1918.

Nehmen wir Piotta, die erste Station des Tessinhaupttales nach Airolo, mit der Höhenquote von 1012 m als Ausgangspunkt unserer Wanderung. Auf steilem Pfade streben wir über die bunten Tessinermatten nach dem malerischen Dörfchen Altanca, dessen weisses Kirchlein uns den Weg nach dem Val Piora weist. Nur eine kurze Atempause gestattet diese schmale Terrasse auf 1383 m. Dann geht's weiter bergan gegen den schattigen Lärchenwald, wo glatt geschliffene Glimmerschiefer das unangenehme Wegpflaster bilden. Wer mit der Alpenflora vertraut ist, der macht gerne da und dort einen Halt auf demforsch steigenden Saumpfade, gilts doch überall, Vertreter der Felsflora in schönster Blüte zu bewundern. Am Maiensäss, dem Felsennestchen Valle, vorbei zieht der Weg wieder der Glimmerschiefer- und Gneiszone entlang, aufwärts gegen den schäumenden Fall des Fossbaches (vor 1917 gedacht). Ein schmales Band Quarzit — und wir stehen auf einem geschrammten Rundhöcker von Orthogneis und überblicken auf der Höhe von 1831 m ein breites Tal, das sich in West-Ost-richtung auf cr. acht Kilometer hinzieht und mit einem herrlichen See geschmückt ist. Das ist das Val Piora mit dem Ritomsee, ein Hochtal, nur zwei Stunden vom Haupttal entfernt und doch so abgeschlossen, dass man nur die oberste Konturlinie der gegenüberliegenden Sambucogruppe sieht. (Tafel I, Figur 1.) Das Val Piora ist ein Muldental zwischen dem nördlichen Gotthardmassiv und dem südlichen Lucomagnamassiv. Obschon geologisch zugehörend zur Mulde des Bedrettotales, läuft das Val Piora nach Westen nicht etwa in das Haupttal

des Tessin von Airolo aus, sondern es ist nach Westen durch die Erhebung des Fongio (2211 m) und die Pian alto (2242 m) abgeschlossen.

Das Gotthardmassiv bildet die nördliche Gebirgsmauer des Val Piora: Poncioni negri, Punta Nera, Taneda, Corandoni, Pizzo dell'Uomo, Scai. Gneise, Hornblendefels, Amphibolit, Hornblendegneis und Hornblendegarbenschiefer bilden die Gipfel und die steil gegen Piora abfallenden Gehänge, während die Nordseite aus Orthogneis besteht. In Ausbrüchnischen dieses Gotthardmassives eingebettet sind die beiden Seen Tomsee und Cadagnosee.

Das Lucomagnamassiv umrahmt die Südseite des Val Piora mit den hervortretenden Gipfeln: Faura Möt, Forca di Pineto, Bassa Proroducio, Pizzo Petano, Pizzo Sole (Lucomagna). Die Nordseite dieses Massives zeigt Quarzitstreifen, Paragesteine, Amphibolite und besteht zum grössten Teil aus dem Orthogneis.

Nach Krige wird die geologische Mulde des Val Piora aus folgenden Gliedern des Mesozoikums zusammengesetzt: (Siehe nebenstehendes Profil, Fig. 1.)

4. Schwarzgraue Granatschiefer — Obere Bündnerschiefer — Kalkglimmerschiefer und Marmor Lias
3. Quartenschiefer — Unterer Bündnerschiefer.
2. Rauhwanke und Gips Trias
1. Serizitquarzit.

Die Bündnerschiefer nehmen als breite Zone die Westbegrenzung des Val Piora ein, wobei vom Gipfel des Fongio aus bis über Alpe di Lago der Kalkglimmerschiefer ausgebildet ist, während die Südseite des Fongio Phyllite, Glimmerschiefer der Quartenschieferzone anstehen. Darunter (Bellavistagegend) kommt die Rauhwanke zum Vorschein. Der Gips, der im Val Canaria als breite Zone hervortritt, erscheint nur als schmales Band bei der Nordwestecke des Ritomsees. Das Südgehänge des Camoghè gehört zur Bündnerschieferzone des Pian alto, während an seiner Nordseite die Rauhwanke gegen den Tomsee hinstreicht. Auf der Südseite des Cadagnosees geht dann die Rauhwanke mit den untern Bündnerschiefern weiter gegen den Pizzo Columbè, der als die markanteste Erhebung der Rauhwanke aus dem Landschaftsbilde herausragt.

Das Val Piora ist eine isoklinale Mulde, deren Schenkel nach Norden fallen und aus Rauhwanke bestehen, während der Kern die oben erwähnten Bündnerschiefer sind. Nach den Untersuchungen von Krige ist diese Mulde aber nicht einfach.

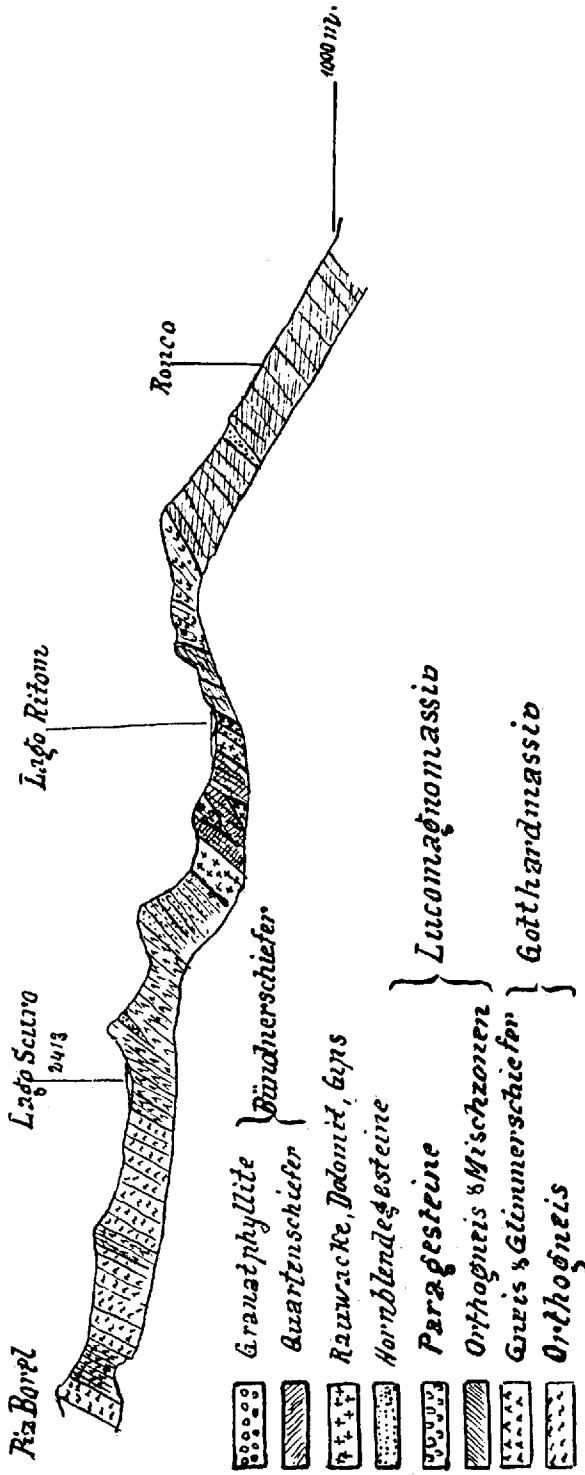


Fig. 1. Geologisches Profil durch das Gebiet des Ritomsees.
(Nach L. J. Krige).

Besonders im westlichen Teile sind mehrere kleinere Synklinalen (oder vielleicht Schuppen) vorhanden. Wichtig ist für unsere Untersuchungen folgende Bemerkung von Krige: «Das Auskeilen des von der Bucca di Fongio kommenden Rauhwasckestreifens scheint nur oberflächlich zu sein, und nicht nur Rauhwascke, sondern auch Gips dürfte sich unter dem See als Nordgrenze der Fongiomulde fortsetzen. Oestlich des Pian'alto bei 2050 m, in einer Entfernung von nur 400 m vom Seeufer, kommt Gips noch neben Rauhwascke vor. Dass er in der Tiefe weiter ostwärts noch vorhanden ist, scheint mir ziemlich sicher zu sein, denn wie im Canariatal deutlich sichtbar ist, wird die Gipsmasse nach der Tiefe zu immer breiter.»

Bezüglich der Entstehung des Val Piora müssen wir die Vorglazialzeit und die Glazialzeit unterscheiden. Die Ansichten der Geologen stimmen darin überein, dass vor der Glazialzeit die Gegend des Val Piora durch das Val Termine nach dem Medelser Rhein entwässert wurde. Seine Wasserscheide lag auf der Verbindungslinie Pian'alto-Fongio-Forca di Pineto. Ueber die Entstehung des Ritomsees stehen die Ansichten Delebeck, Bourcart, Garwood, Krige denjenigen von Bonney, Penck, Nussbaum, Lautensach, Collet gegenüber. Nach der erstern Ansicht wäre der Ritomsee durch Auslaugung der Rauhwascke entstanden. Und, fügt Krige hinzu, dann kamen die Gletscher und schafften das lose Material fort. Demgegenüber weist Lautensach darauf hin, dass die Rauhwascke nur den schmälern Breitteil des heutigen Sees einnehme, dass die übrigen Gesteine nur sehr schwer löslich seien. Mit Nachdruck verweist er auf die Landschaftsform der Umgebung des Sees, auf die zahlreichen Rundbuckel der Südseite des Sees, die Gletscherschliffe gerade auf dem Rundhöcker am Ausflusse des Sees, die starke Uebertiefung des Haupttales. *Lautensach* schildert die Entstehung des Ritomsees mit folgenden Worten: «Die dicke Eisedecke, die sich zur Eiszeit durch das breite Pioratal mit einem dem Tessintal zugerichteten Oberflächengefälle schob, bearbeitete ihren Untergrund. Der Betrag dieser Erosion konnte aber nicht allenthalben gleich sein. Er musste wechseln mit der Geschwindigkeit und Mächtigkeit des Eises wie auch mit der Widerstandsfähigkeit der Gesteine. Die Mächtigkeit und Geschwindigkeit des Eises musste aber nahe dem Westende der Pioratalung am stärksten sein; denn nur hier wurde der Pioragletscher von ansehnlichen, durch Transfluenz gestärkten Zuflüssen aus dem Tomtälchen und dem Cadagnokessel gemehrt. Hier musste sich also seine erosive Tätigkeit am intensivsten

I. Bilder des Ritomsees vor der Stauung

Phot. Wehrli A.-G. Kilchberg-Zürich



Fig. 1. Ritomsee mit Fongio.



Fig. 2. Ritomsee mit Blick gegen S. Carlo.

I. Bilder des Ritomsees vor der Stauung

Phot. Wehrli A.-G. Kilchberg-Zürich



Fig. 3. Ritomsee mit Südostufer.



Fig. 4. Ritomsee mit Campo.

entfalten, wobei das schmale, weiche Dolomitband der glazialen Erosion die Richtung gewiesen haben mag.... Am äussersten Westende der Pioratalung musste diese Erosionstätigkeit aber gleich alsbald eine starke Minderung erfahren; denn einmal hatte der Gletscher hier besonders widerstandsfähigen Reste der präglazialen Wasserscheide zu überwinden, während er zuvor in dem Dolomitband und den Granatschiefern gearbeitet hatte, und zweitens musste er durch den bis zu 2100 m Höhe angeschwollenen Tessingletscher, der die ganze Breite des Tessintales erfüllte, einen starken Stau erleiden.... Die Entstehung des Ritombeckens erklärt sich mir so durch das Zusammenwirken einer Reihe von Faktoren, die einzeln auch sonst für die Formierung der alpinen Landschaft von hervorragender Bedeutung sind: Gletscherkonfluenz oberhalb und im Bereich des Beckens, Gletscherstau an der Seitentalmündung und grosser Gesteinswiderstand direkt unterhalb des Beckens.» *Collet* pflichtet dieser glazialen Entstehung des Ritomsees auch in seiner Publikation von 1918 bei, wobei er hauptsächlich auf die Absenkungserscheinungen des Sees vom Jahre 1918 hinweist. Der Querriegel präsentierte sich dabei als ein prachtvoller Rundhöcker mit grössartigen Gletscherkritzen und einzelnen Moränenfetzen. (Tafel II, Figur 3.)

B. Morphologie des Ritomsees.

H. Bachmann, Luzern.

Wir entnehmen die folgenden Angaben der oben erwähnten Schrift von *Collet* etc., die eine Karte des Ritomsees im Masstabe 1:5000 (nach *Epper*) enthält, mit der Aequidistanz der Tiefenkurven von 2 m.

Der mittlere Wasserstand des Jahres 1907 betrug 1831,45 m. Für diesen Wasserstand wird die *Oberfläche* angegeben mit 0,904 qkm. Dabei ist die maximale Länge 2034 m, die maximale Breite 538 m. Die maximale Tiefe betrug bei diesem Wasserspiegel 46,7 m. Beim Wasserstand von 1831,50 m war das Volumen zu 24,906 Millionen cbm berechnet. Die mittlere Tiefe betrug 27,6 m.

Wie schon früher bemerkt, geht die Längsachse des Sees von Südwest nach Nordost. Das ganze *Nordufer* fällt steil ab. (Tafel I, Figur 4.) Es weist eine geringe Gliederung auf. Nur bei der Mündung des Tombaches ist eine schwache Deltabildung zu bemerken. Reicher gegliedert ist das linke *Südufer*. (Tafel I, Figur 3.) Der östliche Drittel fällt steil ab. Nach

Westen folgen dann drei grössere Buchten, die mit der geologischen Beschaffenheit des Gesteins zusammenhängen. Die vorspringenden Halbinselchen lassen sich auch in den Isohypsen weiter verfolgen. Während das Westufer ebenfalls steil abfällt, lässt das Ostufer mit den beiden grossen Zuflüssen durch die allmähliche Senkung des Bodens die Zuschüttungszone deutlich erkennen. (Tafel I, Figur 4.) Im grossen und ganzen bildete der Boden des Sees einen breiten Trog, ohne irgendwelcher unregelmässiger Erhöhungen.

Zuflüsse des Sees.

Neben den zahlreichen Wasserfäden der Nordseite ist der Hauptzufluss des rechten Ufers der Tombach, der aus dem Tomsee herkommt. Das Haupteinzugsgebiet dieses Baches ist die Hornblendezone des Taneda sowie die Rauhacke des Camoghè und des Tomsees. Der Tombach durchbricht ja unterirdisch diese Rauhacke beim Verlassen des Sees. Das Ostufer erhält den *Cadagnobach* und die *Murinascia*. Ersterer kommt aus dem Cadagnosee, der sein Wasser von der Hornblendezone des Taneda-Corandoni herbezieht. Die *Murinascia* durchzieht in Ost-West-Richtung die östliche Rauhackenzzone, durchfliesst dann auf der Höhe des Cadagnosees die Granatphyllite, um in scharfem Bogen nach Süden sich wendend und in mannigfachen Krümmungen die Südostecke des Ritomsees zu erreichen. Das linke Ufer erhält aus der Gneiszone des Lucomagnamassivs die kleinern Gewässer: Canariscio di Campo und Canariscio di Ritom. Am 4. Oktober 1912 wurden durch die Ingenieure Eggenberger und Seidel genaue Messungen der Zuflüsse vorgenommen, die folgende Zahlen ergaben:

Murinascia	148	l/Sek.
Cadagnobach	172,5	„
Tombach	13,6	„
Uebrige Zuflüsse	117,3	„
Total	392,4	l/Sek.

Dabei ergab aber die Ausflussmenge des Fossbaches 504,7 l/Sek., also cr. 112 l/Sek. mehr als die Zuflüsse ergaben. Diese Beobachtung führte zu der Annahme von unterseeischen Zuflüssen (Quellen), auf die wir später noch zu sprechen kommen.

Ein grosses Stück des ursprünglichen Ritomsees ist an der Ostseite durch die *Murinascia* zugefüllt worden. Dadurch ist der flache Boden Alpe Campo entstanden, der auf eine Strecke von 500 m bloss auf 1838 m ansteigt.

Es mögen hier auch einige Gesteinsanalysen aus der Arbeit von *Krige* Platz finden, Analysen der Gesteinszonen, aus denen die Zuflüsse herkommen.

Garbenschiefer (Amphibolit) von der Nordseite des Sees:

SiO ₂	48,96	Gewichtsprozent
TiO ₂	2,19	„
Al ₂ O ₃	16,02	„
Fe ₂ O ₃	6,05	„
FeO	7,67	„
MnO	0,19	„
CaO	6,84	„
MgO	5,99	„
K ₂ O	1,90	„
Na ₂ O	2,64	„
H ₂ O	3,21	„
P ₂ O ₅	0,40	„

Muscovit-Biotitschiefer, SE des Ritomsees:

SiO ₂	71,86	Gewichtsprozent
TiO ₂	0,56	„
Al ₂ O ₃	13,46	„
Fe ₂ O ₃	2,85	„
FeO	0,68	„
MnO	0,02	„
CaO	1,11	„
MgO	2,07	„
K ₂ O	5,44	„
Na ₂ O	0,42	„
H ₂ O	1,80	„
P ₂ O ₅	0,00	„
CO ₂	0,35	„

Rauhwaacke und Dolomit (nach Grubenmann):

CO ₂	44,96	Gewichtsprozent
CaO	49,12	„
MgO	11,96	„
FeO	0,42	„
Unlösl. Rückstand	1,96	„

Granatphyllit von der Murinascia:

SiO ₂	67,21	„
TiO ₂	1,01	„
Al ₂ O ₃	12,84	„
Fe ₂ O ₃	5,11	„

Granatphyllit von der Murinasica:

FeO	0,75	Gewichtsprozent
FeS ₂	0,51	„
MnO	0,05	„
CaO	3,65	„
MgO	1,73	„
K ₂ O	3,30	„
Na ₂ O	0,05	„
H ₂ O	1,85	„
P ₂ O ₅	0,11	„
CO ₂	1,59	„
C	1,06	„

C. Veränderungen des Ritomsees.

H. Bachmann, Luzern.

Wir verdanken folgende Angaben und die beigegebenen Kurven der Aktiengesellschaft Motor, Baden. Von dieser Gesellschaft wurde der Ritomsee zuerst dazu benützt, im Winter die Betriebswassermenge des Biaschinawerkes zu vermehren. Die ersten Arbeiten, die am Ritomsee ausgeführt wurden, bestanden darin, dass in den beiden Seeauslauföffnungen Massüberfälle von der Quote 1831, 286 m eingebaut wurden. Die Seeschwankungen waren minim und nur durch die Veränderungen der Zuflüsse verursacht. Im Herbst 1915 baute die oben erwähnte Gesellschaft am Auslaufe des Sees eine provisorische Abschlussvorrichtung ein. Dieselbe bestand aus zwei eisernen Schützen, welche den Zweck hatten, im Spätherbste den Ritomsee um 3,00 m über den normalen Wasserspiegel zu stauen. Die aufgespeicherten Wassermengen sollten dann im Winter abgelassen werden. Im Herbst und Winter 1915/16 erreichte der höchste Wasserspiegel die Quote 1834,35 m (siehe Figur 2). Es wurde in diesem Jahre auch eine Absenkung des Sees unter den normalen Stand in Aussicht genommen. Zu diesem Zwecke wurde eine Heberleitung neben dem Auslauf eingebaut, und der Seestand sank bis Ende April auf die Quote 1831,09 m. Im Herbst 1916 erreichte der See dank der oben erwähnten provisorischen Stauvorrichtung gegen Mitte November die Quote 1832,97 m.

Am 12. Januar 1916 hat die Generaldirektion der S.B.B. den Beschluss gefasst, dem Verwaltungsrate zu beantragen, die Kraftwerke Amsteg und Ritom für die elektrische Zuförderung auf der Gotthardlinie einzurichten. Das Kraftwerk

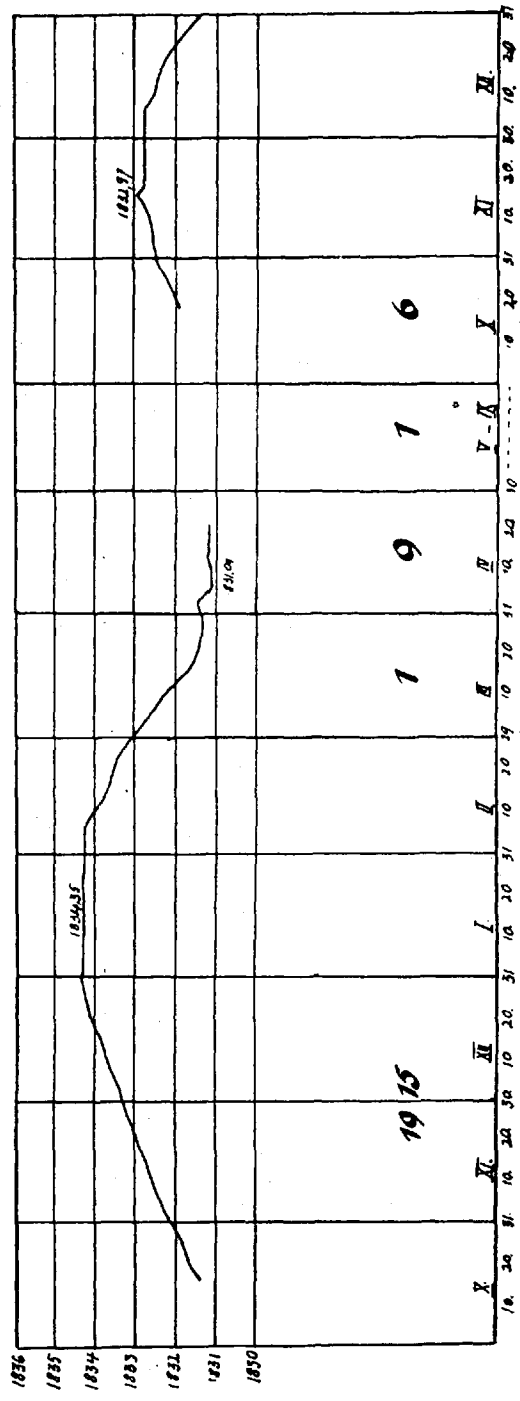
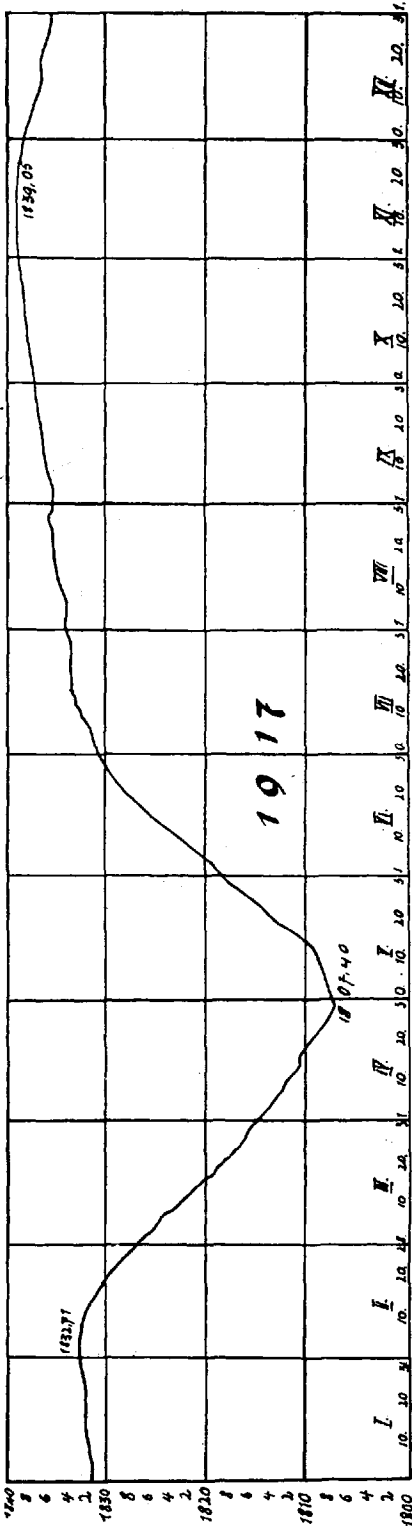


Fig. 2. Aufzeichnung des Seespiegels in den Jahren 1915, 1916, 1917.
(Mittellung der A. G. Motor).

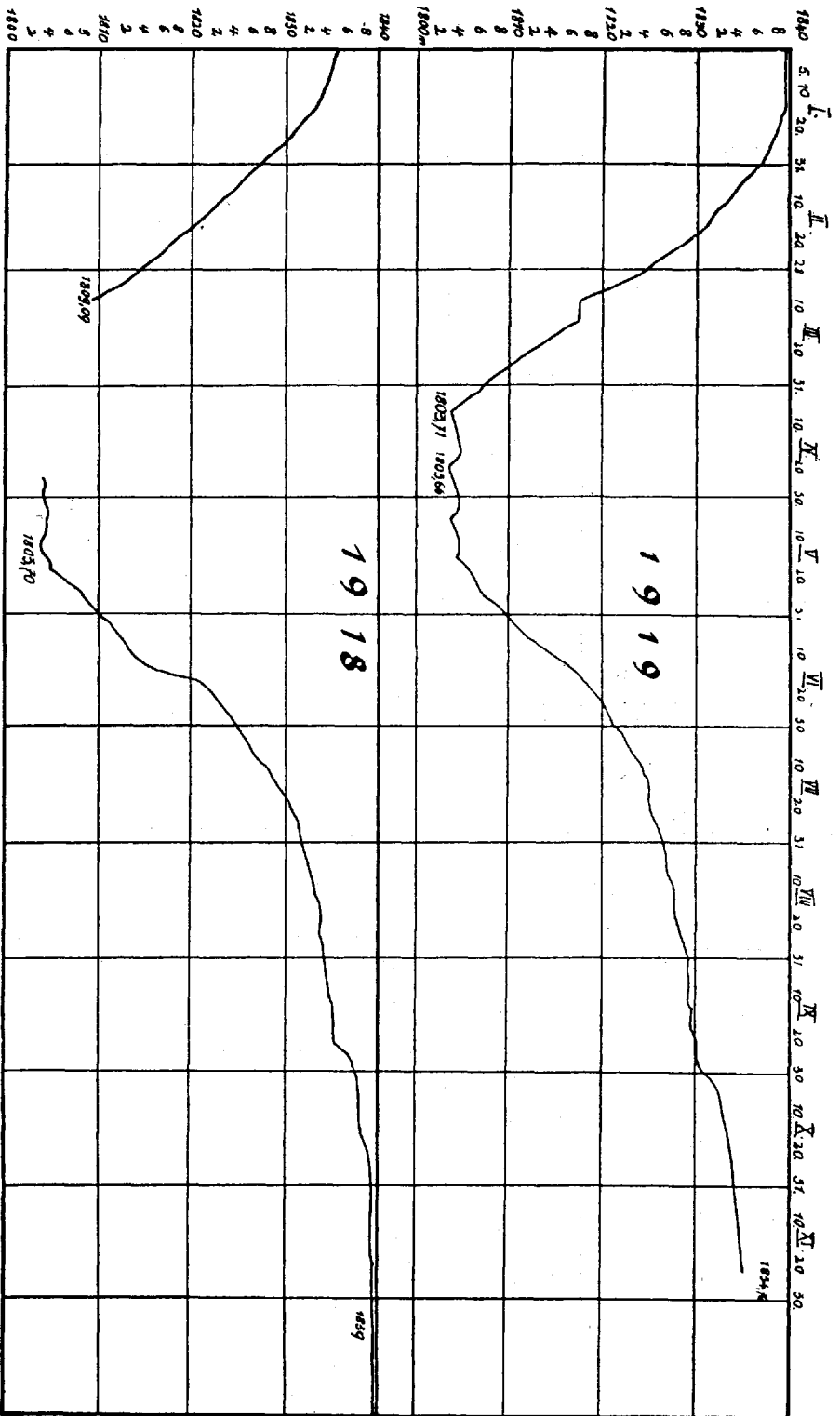


Fig. 3. Aufzeichnung des Seespiegels in den Jahren 1918, 1919.

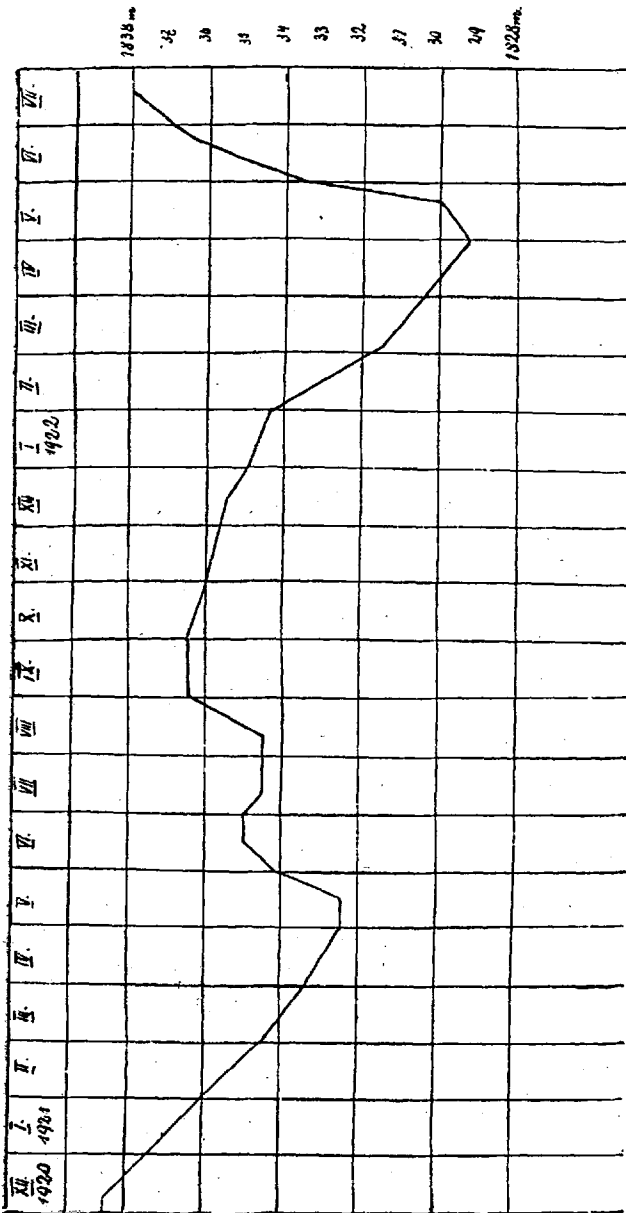


Fig. 4. Aufzeichnung des Seespiegels in den Jahren 1921, 1922.

Amsteg, das die Gefällstufe der Reuss von Wassen bis Amsteg ausnützt, soll im Sommer für den ganzen elektrischen Betrieb die Energie liefern, während das Ritomwerk zu dieser Zeit kumulieren soll, um dann im Winter die beim Kraftwerk Amsteg fehlende Energie zu decken. Das Kraftwerk Ritom

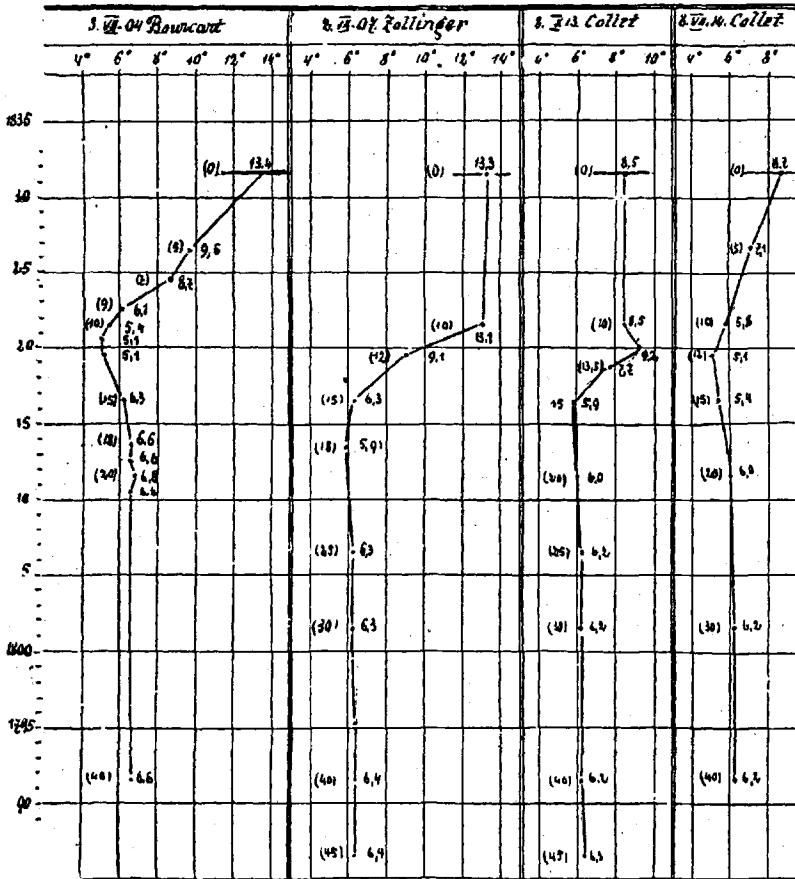


Fig. 5. Temperaturen des Ritomsees.

nützt die Gefällstufe des Fossbaches vom Ritomsee bis zur Einmündung in den Tessin aus. Der Ritomsee funktioniert als Wasserspeicher. Zu diesem Zwecke wurde der See in einer Tiefe von 30 m unter dem normalen Wasserspiegel angezapft. Zunächst wurde ein Grundablass-Stollen gebaut. Dann wurde der 873 m lange Zulaufstollen angelegt, der das Wasser aus dem Ritomsee zum Wasserschloss oberhalb Altanca führt. Von hier gelangt dann das Wasser durch die Druckleitung zum Maschinenhaus bei Piotta. Im Juli 1916 sind die Arbeiten für die An-

zapfung des Ritomsees begonnen worden. Der Anstich erfolgte anfangs Februar 1917. Ende April war der See bis auf die Quote 1807,40 m abgesenkt (s. Fig. 2). Der See wurde im Laufe des Jahres 1917 wieder gefüllt und durch eine inzwischen gebaute Talsperre auf Quote 1835,50 gestaut. Im nachfolgenden Winter

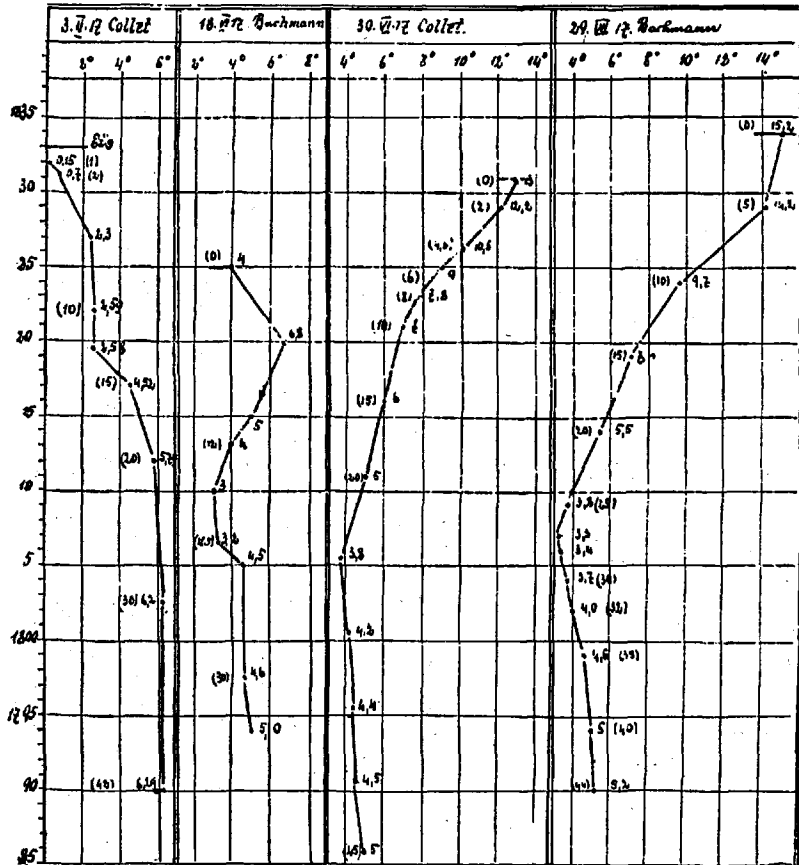


Fig. 6. Temperaturen des Ritomsees.

wurde der See auf Quote 1803,70 m abgesenkt. Auch im Jahre 1918 stieg der Seespiegel bis zum Oktober wieder auf die Quote 1839 m. Im April 1919 war schon wieder die tiefste Quote von 1803,66 m erreicht. Im November 1919 stand der Seespiegel auf Quote 1834,76 m (s. Fig. 3). In den Jahren 1920 und 1921 sank der Wasserspiegel nicht mehr auf die niedern Quoten der vorhergehenden Jahre und stieg im Herbst wieder auf 1836 m (siehe Fig. 4). Der Seespiegel schwankt also zwischen dem höchsten und niedersten Wasserstand im Betrage von über 35 m. Für den Biologen heisst das: jedes

Jahr wird der grösste Teil des Wassers im Ritomsee durch das Wasser der Zuflüsse erneuert. Welchen Einfluss diese gewaltige Absenkung und darauffolgende Stauung auf die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften des Ritomsees ausübten, das sollen die folgenden Publikationen erweisen. In morphologischer Beziehung erfuhr der Ritomsee beträchtliche Veränderungen. Am auffälligsten zeigten sich diese Veränderungen bei der östlichen Alpe Campo, der Alluvialebene des Cadagnobaches und der Murinascia. Ein grosser Teil dieser Deltaebene stürzte in staffelartigen Treppen ab und «schlittelte» gegen die tiefern Regionen des Sees aus. (Tafel II, Figur 1.) Sowohl der Cadagnobach (Tafel II, Figur 2), als auch die Murinascia schnitten sich in fjordartigen Rinnen so tief ein, dass man bei gestautem Seespiegel mit dem Ruderboote ohne Schwierigkeit bis in den Hintergrund des Campo rudern konnte. Am 16. Juni 1917, als der Seespiegel noch nicht die normale Quote von 1831 m erreicht hatte, mass ich an der frühern Uferlinie eine Wassertiefe von 6,5 m. Die vorher erwähnten fjordartigen Mündungen der Murinascia und des Cadagnobaches wiesen Tiefen von $2\frac{1}{2}$ m auf. Ufereinstürze haben auch an der Mündungsstelle des Tombaches stattgefunden. Diese Ufereinstürze im Gebiete des Campo und am Nordufer haben sich auch in den folgenden Jahren wiederholt, was zu begreifen ist, wenn man bedenkt, dass durch die Stauung das Ufer immer wieder durchnässt wird und bei fallendem Seespiegel der Seitendruck des Wassers nachlässt, wodurch das durchfeuchtete Ufer seinen Halt verlieren muss.

Und welches Bild der See im abgesenkten Zustande darbietet, das könnten wir z. B. am 22. Juni 1919, als der See erst die Quote von 1820 m erreicht hatte, betrachten. Ich entnehme meinem Tagebuch folgende Notizen: Ein Ufergürtel von ca. 10 m Niveauunterschied liegt ganz ausgetrocknet da. Ein feiner Glimmersand bedeckt den Boden. Die oberste, im vorigen Herbste überschwemmte Zone ist rot ausgebrannt und ausgetrocknet. Auch am linken Ufer sind diese ziegelroten Flächen zu sehen. Auf dem Wege zum Tombach treten aus dem Hängeschutt mehrere Quellen zutage, die aber keinen Schwefelwasserstoff führen. Die Deltafläche des Tombaches, die vom Hochwasser überschwemmt war, schimmert wie ein ausgespanntes weisses Leinentuch. Es ist dies die ausgebleichte Zellulose der frühern Vegetationsnarbe. Ein trostloses Bild! Auch das östliche Delta des Campo zeigt dieselbe trostlose weissgebleichte Fläche mit den zarten Schleiern von Pflanzen-

II. Bilder des Ritomsees nach der Absenkung

Nach Aufnahmen von Dr. G. Surbeck, Bern, 17. VI. 1917



Fig. 1. Uferabbruch vor dem Delta.



Fig. 2. Mündung des Cadagnobaches.

II. Bilder des Ritomsees nach der Absenkung

Nach Aufnahmen von Dr. G. Surbeck, Bern, 17. VI. 1917

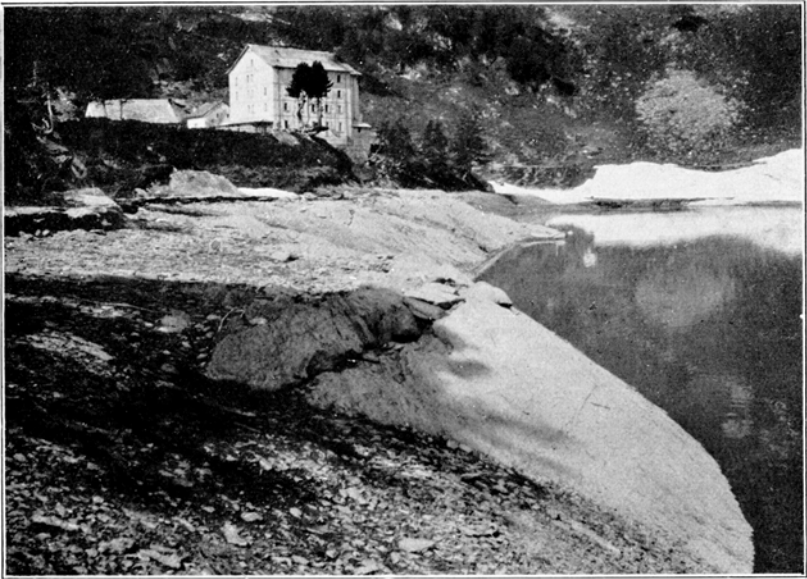


Fig. 3. Trockengelegter Rundhöcker bei Piora.

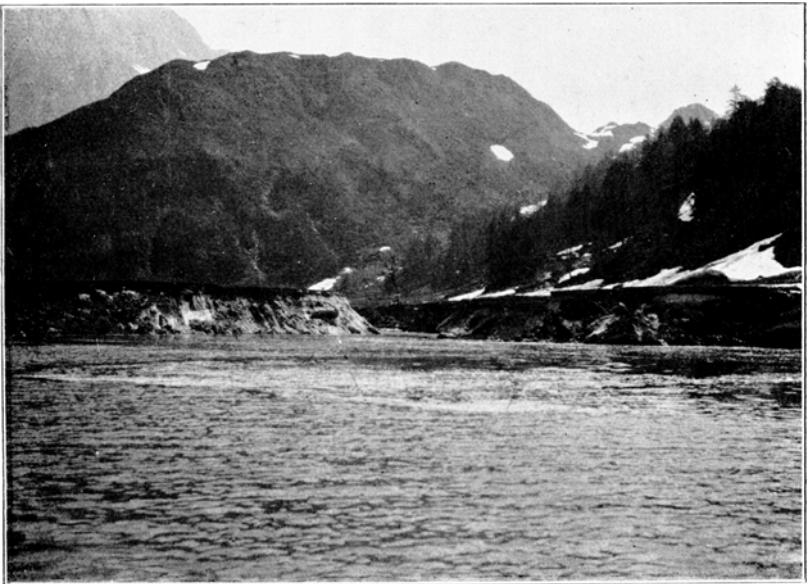


Fig. 4. Mündung der Murinascia.

häuten. Nur da, wo Oberflächenwasser über den freigelegten Boden rieselt, ist ein frischer grüner Hauch von spriessenden Pflanzen zu sehen.

D. Temperaturen des Ritomsees.

H. Bachmann, Luzern.

In den folgenden Figuren gebe ich die Tiefentemperaturbeobachtungen, die seit 1904 über den Ritomsee vorliegen. Der obere horizontale Strich bedeutet das jedesmalige Seeniveau. Bei jedem Beobachtungspunkt ist in () gesetzt die Tiefe unter dem Seespiegel. Daneben steht die Temperaturzahl in Celsiusgraden. Nach der Forelschen Einteilung der Seen gehört der Ritomsee zu den *temperierten Seen*, indem die Temperatur der Oberfläche in den Sommermonaten über 4° C, in den Wintermonaten unter 4° C liegt. Betrachten wir die Temperaturbeobachtungen vor dem Jahre 1917. Es liegen vier Temperaturprofile vor, zwei aus dem Monat Juli, eines vom September und eines vom Oktober (Fig. 5). Bis anfangs Juli ist die Wärmeenergie, die in die obere Wasserschichten gedrungen ist, noch gering. Daher setzt die Sprungschicht schon an der Oberfläche ein, d. h. von der Oberfläche an setzt schon eine rapide Abnahme der Temperatur ein, die gleichmässig bis 10—12 m Tiefe anhält. Im September beginnt die Sprungschicht erst bei einer Tiefe von 10 m, im Oktober bei 12 m und erstreckt sich auf 18, resp. 15 m Tiefe. Das Charakteristische des Ritomsees in Bezug auf die Temperaturverhältnisse bestand vor dem Jahre 1917 darin, dass im Frühsommer von 10, resp. 12 m Tiefe an die Temperatur eine Zunahme aufwies. Und diese Zunahme konnte auch im Spätsommer, wenn auch in geringerem Grade nachgewiesen werden. Wie aus den chemischen Auseinandersetzungen hervorgeht, *bildete der Ritomsee vor dem Jahre 1917 zwei übereinander geschichtete total verschiedene Wassermassen, die nie durch eine Vollzirkulation durcheinander gemischt wurden*. Die Grenzschicht lag bei 12—15 m Tiefe. Und so konnte die tiefere Wasserschicht ihre eigene Temperatur beibehalten, die sogar im Winter unverändert blieb, wie dies aus dem Temperaturprofil von Collet vom 3. Februar 1917 hervorging (Fig. 6).

Im Februar 1917 wurde der Stollen in den See eingetrieben. Bis Ende April sank der Wasserspiegel auf die Quote von 1807.40 m. Vor dem 18. Juni musste die Erwärmung der oberflächlichen Wasserschichten schon intensiv eingesetzt haben.

lag doch der Temperaturpunkt von $6,8^{\circ}$ schon bei 5 m Tiefe. Eine nachfolgende Abkühlung hatte die Kurve vom 18. Juni am obern Ende links abgebogen. Für Juni und Juli ist das Vorhandensein einer Temperatur von 3° in der Tiefenquote von 1810—1805 merkwürdig. Die tiefen Wasserschichten zeigten

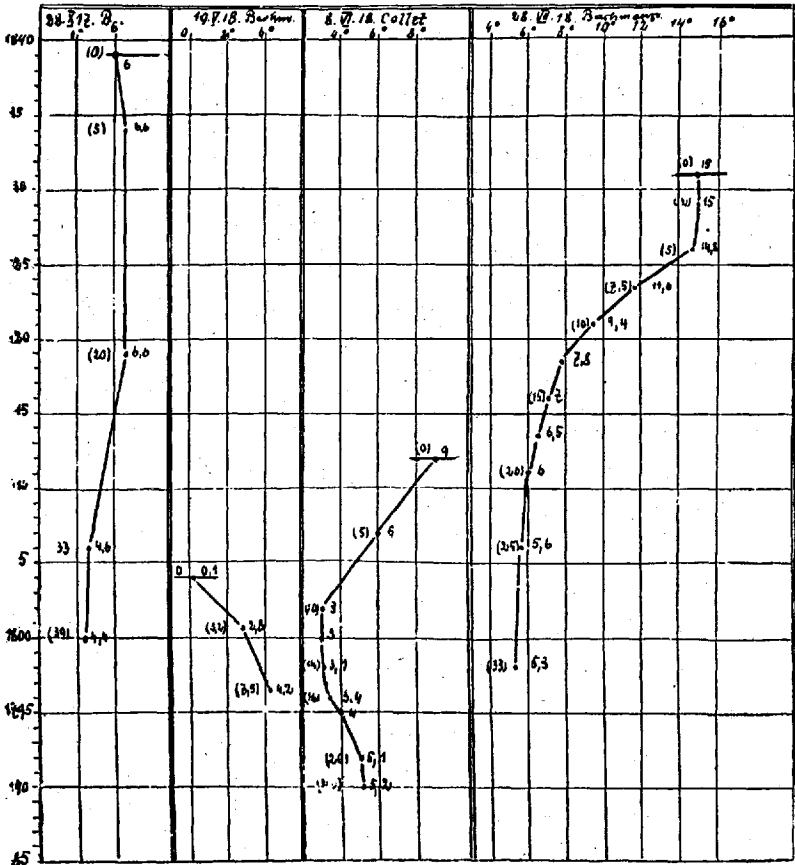


Fig. 7. Temperaturen des Ritomsees.

noch die frühere Eigentümlichkeit des Ansteigens der Temperatur, wenn auch in geringerem Masse. Am 30. Juni war die obere Grenze der Sprungschicht bei 2 m, am 29. Juli bei 5 m Tiefe zu konstatieren. Unterdessen war aber der Seespiegel um 3 m gestiegen. Während im Februar 1917 Collet in 42 m Tiefe noch $6,2^{\circ}$ konstatiert, betrug im Juli in dieser Tiefe die Temperatur nur noch $5,2^{\circ}$. Es muss also durch die Absenkung des Seespiegels und die nachfolgende Stauung auch die unterhalb der tiefsten Quote von 1807 m liegende Wassermasse tüchtig aufgerüttelt worden sein. Bis Ende Oktober 1917 hatte

die Abkühlung von den oberflächlichen Schichten aus gehörig eingesetzt. Die Kurve hatte sich gestreckt, ohne dass in den untern Schichten die frühere Abbiegung nach rechts beobachtet werden konnte (Fig. 7). Im Jahre 1918 war bis Mitte Mai der See auf die Quote 1803,7 abgesenkt worden. Am 19. Mai wies der

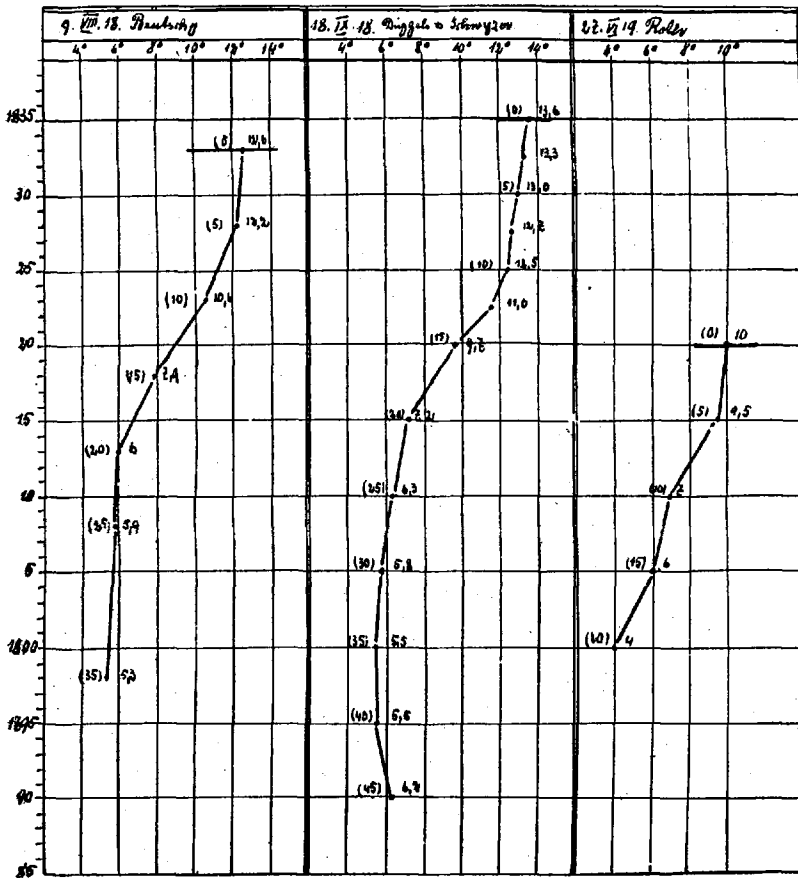


Fig. 8. Temperaturen des Ritomsees.

unter der Quote von 1804 liegende See die normale inverse Schichtung des Winters auf. Am 8. Juni war der Seespiegel bis zur Quote 1812 m gewachsen. Die obere Wasserschichten hatten sich erwärmt, ohne dass durch die Zirkulation die Temperatur von 3° in der Tiefe von 10–16 m hätte zum Verschwinden gebracht werden können. Am 28. Juli zeigte der Ritomsee das normale Temperaturprofil eines temperierten Sees mit der oberen Sprungschicht bei 5 m Tiefe (Fig. 7). Am 18. September 1918 beginnt die Sprungschicht bei 10 m Tiefe. Und da

erinnert wieder die Abbiegung der Kurve nach rechts in der Tiefe von 40—45 m an die frühern eigenartigen Verhältnisse (Fig. 8).

Das Jahr 1919 brachte wieder eine Absenkung des Sees auf die Quote von 1803,66 m. Die Temperaturkurven zeigen keine Besonderheiten. Am 12. Oktober war die Sprungschicht

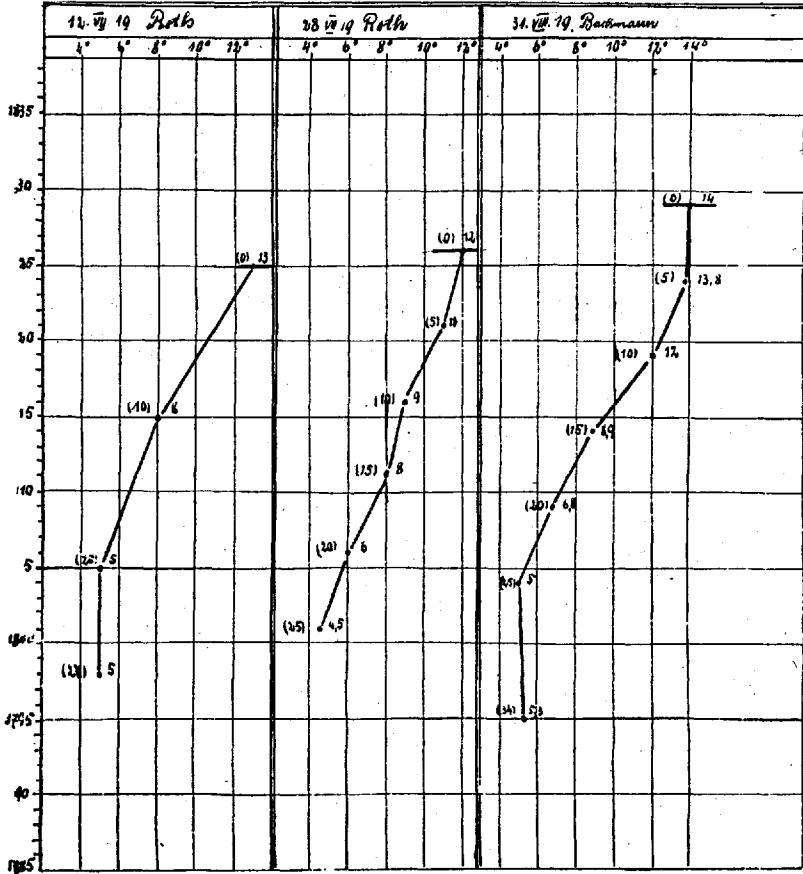


Fig. 9. Temperaturen des Ritomsees.

auf die Tiefe von 20 m gesunken. Am 21. September 1921 lag die Sprungschicht bei 10 m Tiefe. Und von 30 m Tiefe an war wiederum eine Temperaturzunahme von sogar $1\frac{1}{2}^{\circ}$ zu beobachten (Fig. 10).

Resümieren wir die Resultate der Temperaturbeobachtungen unter Herbeiziehung der Publikation von Collet, 4. Kapitel über: «La Thermik des Eaux»:

1. Die höchste gemessene Oberflächentemperatur betrug am 29. Juli 1917 $15,2^{\circ}$ C.

2. Wie schon Bourcart nachgewiesen hat, zeigte der Ritomsee vor der Anzapfung zwei übereinanderliegende Wassermassen, von denen die obere das normale Temperaturprofil eines temperierten Sees aufwies, also im Sommer eine normale Temperaturabnahme bis zur niedersten Temperatur.

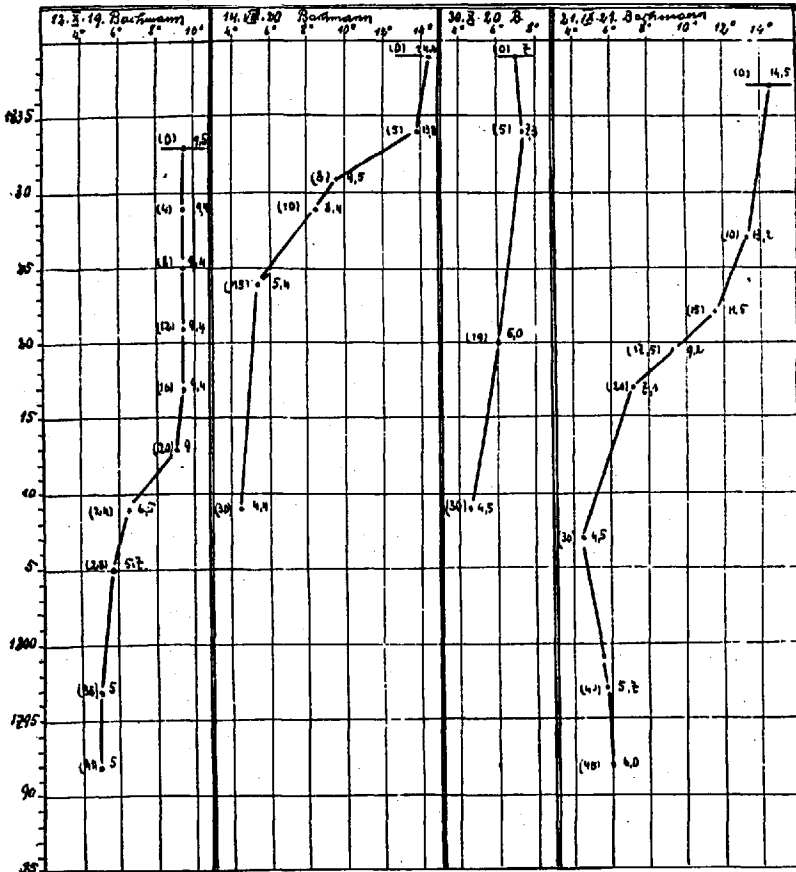


Fig. 10. Temperaturen des Ritomsees.

Die untere Wassermasse liess dagegen eine Steigerung der Temperatur erkennen.

3. Nach der Temperatur sollte sich das wärmere Wasser in der Tiefe nicht halten können. Es hätte in die obere Schichten steigen sollen. Collet und Mellet geben die Erklärung durch den Hinweis, dass die untern Wasserschichten zur Folge des höhern Gehaltes an Mineralsubstanzen ein grösseres spezifisches Gewicht hatten. Daher konnten sie nicht in den allgemeinen Zirkulationsprozess eintreten. (Vergleiche die chemische Arbeit von Dr. Jeanne Eder.)

4. Der grosse Gehalt an Mineralsubstanzen der tiefen Wasserschichten wird in der Arbeit von Collet auf unterseeische Quellen von grossem Mineralgehalt zurückgeführt.

5. Die erhöhten Temperaturen der tiefen Wasserschichten bringt Collet in Verbindung mit der Gesamtwirkung der atmosphärischen Wärme in einer bestimmten Periode.

6. Wenn auch die Absenkung des Ritomsees eine tüchtige Mischung der tiefen Wasserschichten mit dem neuen Zuflusswasser ergeben hat, so stellt sich doch wieder eine Wasserschichtung ein, was daran zu erkennen ist, dass die tiefste Temperatur nicht am Grunde zu finden ist. Sollte sich diese Erscheinung als stabil erweisen, so wären die unterseeischen Quellen weiter im Gange.

7. Ob und welchen Einfluss auf die Temperaturverhältnisse des Ritomsees die beiden Zuflüsse, die nach der Absenkung des Sees die Auffüllung besorgen, ausüben, können wir leider nicht angeben.

8. Merkwürdig ist die Isochrone vom 18. Juni 1917. Sie zeigt die nämliche Eigentümlichkeit, wie diejenige des Alpnachersees vom 10. Februar 1899, welche Amberg publiziert hat. Die Eigentümlichkeit besteht darin, dass die Temperatur von 4° an der Oberfläche statt am Grunde und die Temperatur von 3° bei 15 m statt an der Oberfläche zu finden sind. Ferner steigt die Temperatur in den oberen fünf Metern auf $6,8^{\circ}$. Amberg hat für diese Erscheinung die Ausdrücke: obere negative und untere positive Sprungschicht geprägt. Amberg hatte für den Alpnachersee folgende Erklärung angeführt: «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.» Auch für den Ritomsee werden ähnliche Gründe diese anormale Schichtung veranlasst haben.

E. Transparenz des Ritomsees.

Es liegen folgende Transparenzmessungen mit der weissen Secchischeibe vor, wobei die genannte runde Scheibe bis zum Verschwinden versenkt wurde:

23. Januar 1916: 4,7—5,5 m, wobei freilich in Betracht fällt, dass die Messung durch ein Loch der Eisdecke ausgeführt wurde.

22. Juni 1916	9,6 m.
25. Juli 1916	4,2 m.
29. Juli 1918	5,5 m.
18. September 1918	10,4 m.
27. Juni 1919	1,40 m (Roth).
12. Juli 1919	7,20 m („).
28. Juli 1919	2,60 m („):
10. August 1919	4 m („).
31. August 1919	5 m (Bachmann).
12. Oktober 1919	7 m.
12. August 1920	8,5 m.
30. Oktober 1920	9,5 m.
21. September 1921	9,5 m.

Das beobachtete Maximum der Durchsichtigkeit betrug also 10,4 m. Das Minimum, das freilich fraglich ist, 1,40 m. Das Maximum der Durchsichtigkeit wird in den Monaten August bis Oktober erreicht. Unter den wenigen obgenannten Beobachtungen fallen einige Unregelmässigkeiten auf, die nicht ohne weiteres verständlich sind. So ist die Abnahme der Durchsichtigkeit vom 22. Juni bis zum 25. Juli 1916 merkwürdig. Suchen wir Rat bei den meteorologischen Aufzeichnungen. Als nächste Station betrachten wir den Gotthard. Die Aufzeichnungen der Regenmess-Station Gotthard geben als Maximum der Niederschläge für den 3. Juni 56 mm, für den 4. Juli 1916 den beträchtlichen Betrag von 176 mm. Es kann wohl dieser beträchtliche einmalige Niederschlag die Transparenz von 9,6 m auf 4,2 m zurückgeschraubt haben. Als weiterer Faktor, der die Transparenz beeinflussen kann, ist die Schneeschmelze, welche die Transparenz hinuntersetzt. Diese Beeinflussung wird wahrscheinlich im Jahre 1919 tätig gewesen sein. Der Juni dieses Jahres verzeigt bloss 70 mm Niederschläge, dagegen fünf heitere Tage, eine mittlere Tagestemperatur von $5,7^{\circ}$, bei einer Mittagstemperatur von $8,4^{\circ}$, während der Juli eine Mitteltemperatur von nur $4,5^{\circ}$ zeigte. Der Juni wird also viel Schmelzwasser, das immer reichlichen Detritus führt, geliefert und dadurch die Transparenz heruntergedrückt haben. Warum aber in 12 Tagen die Durchsichtigkeit auf 7,2 m steigen und nachher auf 2,6 m fallen konnte, ist aus den meteorologischen Angaben nicht er-

sichtlich. Ob die Entwicklung des Planktons auf die Durchsichtigkeit des Ritomsees einen Einfluss haben kann, wird später zu besprechen sein.

Verzeichnis der benützten Literatur.

- A m b e r g B., Limnologische Untersuchungen des Vierwaldstättersées. Physikalischer Teil. Mitteil. der Naturf. Ges. Luzern, 4. Heft 1904.
- Bauzeitung, Schweiz., Die Kraftwerke der Schweiz. Bundesbahnen am Gotthard. Bd. 68. 1916.
- Collet, Mellet, Ghezzi, Il Lago Ritom. Schweiz. Departement des Innern, Abteilung Wasserwirtschaft. 1918.
- Krige, Petrographische Untersuchungen im Val Piora und Umgebung. Eclogae geol. Helvet. Vol. XIV. 1918.
- Lautensach, Die kleinen Seebecken der Tessiner Alpen. Zeitschrift für Gletscherkunde. Bd. IX. 1914.
- Minder, Zur Hydrophysik des Zürich- und Walensees. Archiv für Hydrobiologie. Bd. XII. 1918.

F. Chemische Untersuchungen am Ritomsee vor und nach der Absenkung.

Dr. Jeanne Eder-Schwyzler.

Die Untersuchungen, die von der Hydrobiologischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft am Ritomsee veranstaltet wurden, sind nicht die ersten die sich mit dem Chemismus dieses Gewässers befassen, vielmehr haben dessen Eigenheiten schon vor längerer Zeit die Aufmerksamkeit gewisser Forscher erweckt.

Schon die Beobachtungen von Laien liessen vermuten, dass in der Tiefe des Ritomsees ein «merkwürdiges Wasser» vorhanden sein müsse, z. B. wurden versilberte Schleppangeln in der Tiefe schwarz. Nachdem Bourcart¹ 1903 in den untersten Wasserschichten die Anwesenheit von Schwefelwasserstoff festgestellt hatte, bildete diese Tatsache für ihn eine Hauptveranlassung zu einer gründlicheren Untersuchung des Sees. Spätere Analysen von Mellet² und Verda,³ sowie jene unter den Auspizien der hydrobiologischen Kommission, über die hier berichtet werden soll, vervollständigten dann unsere Kenntnis dieses Gewässers. Zusammenfassend ergeben sie folgendes Bild der

¹ F. E. Bourcart, Les Lacs alpins suisses, Georg & Cie., Genève, 1906.

² Le Lac Ritom, Nr. 13 d. Mitteilgn. d. Abtg. f. Wasserwirtschaft des eidg. Dep. des Innern.

³ Privatmitteilung.

chemischen Verhältnisse des Ritomsees in seinem natürlichen Zustand,

also vor den Eingriffen der Technik, die dem stillen Alpensee heute elektrische Kraft entnimmt zum Betrieb der Bahn, die weit getrennte Länder eilend verbindet. —

Der See bestand sozusagen aus zwei sehr stark verschiedenen, *übereinanderliegenden* Teilen: einer unteren, azoischen, hoch mineralisierten Schicht stark schwefelwasserstoffhaltigen Wassers, und einer «Reinwasserschicht» von 13 m Mächtigkeit. Diese obere Schicht lag auf der unteren auf und floss über sie hinweg ohne dass eine wesentliche Vermischung stattfand. Sie zeigte normales thermisches Verhalten (Frühjahrs- und Herbstumkehrung), während die untere als thermisch stagnierend zu bezeichnen war, da sie in ihrer ganzen Mächtigkeit⁴ das ganze Jahr annähernd gleiche Temperaturen (5,8—6,2°) aufwies. — Zur Beurteilung der chemischen Verhältnisse ist die Tatsache von Wichtigkeit, dass Konvektionsströme sich nicht auf die untere Schicht erstreckten, umgekehrt trug der Chemismus seinerseits bei zum Fortbestand der ungewöhnlichen thermischen Verhältnisse, wie unten näher erörtert werden soll.

Die *qualitative* Untersuchung der beiden Seeschichten ergab in Bezug auf die im Wasser nachzuweisenden Ionen mineralischer Natur grosse Uebereinstimmung — das Wasser enthält Ca, Mg, K, Na, Spuren Al und Fe, SiO₂, CO₂, SO₄, kein Halogen, kein NH₃. Ein sehr wesentlicher Unterschied besteht jedoch darin, dass die obere Schicht reich ist an Sauerstoff, während in der unteren Schicht dieses Gas fehlt. Dagegen ist hier reichlich Schwefelwasserstoff H₂S vorhanden.

Bei *quantitativer* Analyse ergeben dagegen die zwei Schichten ein sehr verschiedenes Bild. Schon die Totalanalysen des Ritomseewassers von Bourcart (1903—1904) zeigten auffallende Unterschiede in deren Mineralisationsgrade: in der oberen Schicht fand sich ein normaler Trockenrückstand (ca. 140 mg im Liter), eine Bestätigung der Auffassung, dass die tieferen Wasserschichten keine Wirkung ausüben auf die oberen. In der Tiefe dagegen ist das Wasser sehr stark mineralisiert (Trockenrückstand bei 44 m am 26. VII. 1903 = 2365,3 mg im Liter!). Die Zunahme ist in erster Linie bedingt durch viel grösseren Gehalt an Sulfat, der schon in der Reinwasserschicht

⁴ Mit Ausnahme einer Uebergangszone an der Grenze der beiden Schichten. Vgl. d. Temperaturkurven in der Tab. 2 angeführten Arbeit.

48 mg SO₃ im L betrug, in der Tiefe aber bis auf 1376 mg SO₃ anstieg. Bourcart's Totalanalysen sind in Tabelle I zusammengestellt. Es sei bemerkt, dass unsere Analysen im Jahre 1916 durchaus analoge Werte ergaben.

Tabelle I. Totalanalysen des Ritomseewassers, nach Bourcart.
(Angaben als mg im Liter.)

	Oberfläche 3. VII. 1904	Ausfluß 3. VII. 1904	Tiefe, 44 m 26. XII. 1930
Trockenrückstand, 170°	122,7	128,8	2365,3
SiO ₂	2,8	2,2	10,0
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	Spur	Spur	1,2
CaO	37,9	38,8	737,0
MgO	11,1	12,1	196,2
K ₂ O	2,4	2,0	4,2
Na ₂ O	2,0	1,7	2,7
Cl	—	—	—
SO ₃	48,1	53,3	1376,7
Oxydationsfähigkeit	3,44	3,16	5,36
H ₂ S	—	—	15,9

Während Bourcart speziell die gesamte Zusammensetzung des Wassers studierte, berücksichtigte Mellet⁵ vor allem die *Variationen* im Gehalt an Trockenrückstand, im spezifischen Gewicht und an H₂S als *Funktionen der Tiefe*. Seine Angaben finden sich in Tabelle II⁶ zusammengestellt. Aus denselben ist ersichtlich:

1. Dass der Trockenrückstand, also der Mineralisationsgrad des Wassers, von 0—10 m sich kaum verändert, von 10—12,5 m rapid ansteigt, um bei 13 m sprunghaft zu Werten ganz anderer Grössenordnung überzugehen. Von hier an abwärts findet konstant aber gleichmässig Zunahme statt, bei 30 m werden 2514 mg erreicht, tiefer nimmt der Gehalt wieder etwas ab.

2. Dass, wie zu erwarten, die Kurve des spezifischen Gewichtes mit jener des Trockenrückstandes gleichsinnig verläuft.

3. Dass ein H₂S-Gehalt des Wassers erst bei 13 m Tiefe nachweisbar ist — in gleicher Tiefe findet sich zuerst das hoch-mineralisierte Wasser —, von da bis ca. 30 m steigt und nachher wieder etwas zurückgeht. Bemerkenswert ist auch die

⁵ Loc. cit.

⁶ Werte dieser Tabelle sind mit jenen von Bourcart nicht direkt vergleichbar, da z. T. nach abweichenden Methoden gearbeitet wurde.

Tabelle II.

Analysen am unveränderten See (1913 von Mellet) Seenniveau 1834 m ü. M.
Angaben als mg im Liter.

Tiefe	m. ü. M.	Spez. Gew. 1913	Trocken- rückstand 1913	Schwefelwasserstoff 1923	Schwefelwasserstoff 1916	Sauerstoff 1916	Bemerkungen
0	1831,5	1,000381	304,0	—	—	—	An der Grenze von H ₂ S und O findet sich eine rosa gefärbte Wasserschicht (Chromatium).
10	1821,5	1,000395	334,8	—	—	—	
12,5	1819	1,000812	763,2	—	—	—	
12,7		—	—	—	1,34	—	
13	1818,5	1,001867	1916,4	6,1	9,08	—	
13,5	1818,0	1,001979	2025,2	17,9; 19,4	20,4	—	
15	1816,5	1,002004	2104,4	24,0; 23,2	—	—	
20	1811,5	—	—	25,9; 27,4	25,4; 26,8	—	
29	1806,5	—	—	28,9	28,6	—	
29	1802,5	—	—	30,1	—	—	
30	1801,5	1,002426	2514,4	29,7; 31,6	31,2	—	
32,5	1799	—	—	30,1	—	—	
34,5	1797	—	—	28,6	—	—	
37	1794,5	—	—	29,3	—	—	
40	1791,5	—	—	23,2	24,0	—	
45	1786,5	—	—	23,2	—	—	

Gleichmässigkeit des H_2S -Gehaltes in gleichen Tiefen überall im See, z. B. bei 20 m an verschiedenen Punkten 26,7-27,4-25,9 mg H_2S im Liter.

Die im Jahre 1916 von uns gemachten Untersuchungen bestätigten die vorstehend beschriebenen Erscheinungen durchaus, so dass der 1913 von Mellet festgestellte Zustand des Sees als 1916 noch bestehend angesehen werden kann. Unsere damaligen Untersuchungen bezogen sich übrigens vor allem auf biologische Fragen — Vergiftung von Fischen und von Plankton durch H_2S -Wasser sowie Korrelation des bakteriellen und chemischen Befundes — und verlangten infolgedessen vor allem auch Berücksichtigung des Sauerstoffgehaltes des Wassers. Aus diesbezüglichen Analysen ergab sich

4. dass der Sauerstoffgehalt von der Oberfläche bis zu 10 m Tiefe ein normaler war, von da an rapid sank und dass von 12,7 m an abwärts — also in der ganzen H_2S -Zone — wie zu erwarten, kein Sauerstoff nachweisbar war.

Uebereinstimmend mit der schon 1913 von Mellet gemachten Beobachtung konstatierten wir 1916 ebenfalls,

5. dass an der Grenze von H_2S und Sauerstoff — etwa von 12,5—13 m Tiefe — eine rosa gefärbte Wasserschicht zu finden war. Die Färbung rührte her von einem Schwefelbakterium der Gattung Chromatium.

Diese merkwürdigen, durch wiederholte Untersuchungen festgestellten *normalen chemischen Verhältnisse* des Ritomsees sind in Tabelle II ausführlich registriert. Sie lassen sich übersichtlich darstellen in dem beigegebenen kleinen Längsschnittschema. Auf demselben sind gleichzeitig eingetragen: das Niveau der Stollenmündung, der maximalen Absenkung und der maximalen Stauung des Sees, welche alle drei für die späteren Untersuchungen (über die chemischen Verhältnisse des Ritomsees unter Einfluss der Absenkungen) von wesentlicher Bedeutung sind.

Für die Beurteilung von Ergebnissen wissenschaftlicher Untersuchungen ist es immer in erster Linie wichtig, sich Rechenschaft zu geben über die Genauigkeit und Vergleichbarkeit der angewendeten Untersuchungsmethoden. Aus diesem Grunde lassen wir hier folgen:

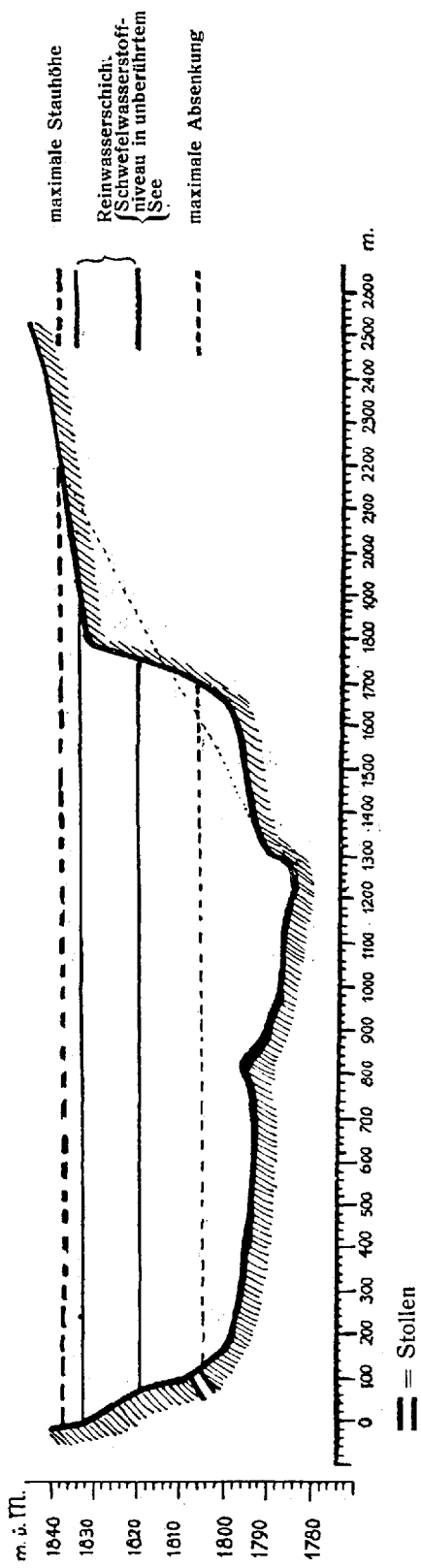


Fig. 1. Schematischer Längsschnitt des Ritomsees.

Beschreibung und Diskussion der am Ritomsee benutzten chemischen Untersuchungsmethoden.

1. *Fassen der Proben.* Bourcart verwendete die Schöpfflasche von Mill, Mellet jene von Ekman. Wir haben durchwegs gearbeitet mit der Theiler-Friedinger'schen Flasche,⁷ deren Konstruktion eine hinreichend genaue Bestimmung von in Wasser gelösten Gasen erlaubt. Wir haben die Flasche zu vielen Analysen am Ritomsee wie auch an anderen Gewässern benutzt und immer befriedigende Resultate erhalten. Speziell haben auch wiederholte Bestimmungen sowohl von Sauerstoff wie von Schwefelwasserstoff in verschiedenen Proben derselben Provenienz genau übereinstimmende Resultate ergeben. Allerdings hat

2. *Die Entnahme des Wassers aus der Flasche* unter genauer Beachtung folgender Vorsichtsmassnahmen zu erfolgen: am Abflusshahnen der Flasche wird mittels eines kurzen Gummischlauches ein Glasrohr befestigt, dieses durch Oeffnen beider Hahnen mit Wasser gefüllt, auf den Boden eines Messkolbens eingeführt, das Wasser bei senkrechter Stellung des Kolbens einige Zeit durch diesen hindurchgeleitet, der Kolben unter Zurückziehen des Rohres vollständig gefüllt und mit dem eingeschliffenen Stöpsel⁸ ohne Luftblase verschlossen.

Die quantitativen Bestimmungen sollten in den so gefassten Proben wenn immer möglich sofort ausgeführt werden. Es kann dies bei einiger Uebung und geeigneter Apparatur gut im Boot geschehen — alle unsere Analysen sind so ausgeführt worden —, auch bietet diese Arbeitsweise in Bezug auf Zahl der nötigen Kolben, deren Transport, sowie eventueller Nachkontrolle einzelner Bestimmungen grosse Vorteile. — Kann die Titration aus stichhaltigen Gründen nicht sofort ausgeführt werden, so sind folgende Vorsichtsmassregeln unbedingt zu beachten:

a) Bei Sauerstoffbestimmungen muss immer mit einer eventuellen Sauerstoffzehrung gerechnet werden. Infolgedessen ist es nötig, den vorhandenen Sauerstoff sofort mit dem $Mn(OH)_2$ in Reaktion treten zu lassen. Die alkalische Lösung muss sorgfältigst vor Berührung mit Luft geschützt werden, die salzsaure Lösung jedoch kann einige Zeit kühl und ohne Schütteln aufbewahrt werden, immerhin sollte die Titration am gleichen Tag ausgeführt werden.

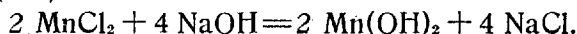
⁷ Z. f. Hydrologie I, 1—2, p. 187 (1920).

⁸ Stöpsel auf tadellosen Verschluss prüfen!

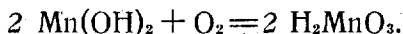
b) H₂S-haltiges Wasser kann bei Vermeidung höherer Temperatur in verschlossenen, ganz gefüllten Messkolben etwas besser aufbewahrt werden. Es zeigte z. B. eine Probe vom ursprünglichen Gehalt 10,29 mg im Liter nach 36 Stunden noch denselben Gehalt und nach vier Tagen einen solchen von 9,75 mg. Bei Verwendung von 100 ccm Wasser zur Analyse bedeutet dies einen Mehrverbrauch von 0,32 ccm $\frac{1}{100}$ -normal Na₂S₂O₃-Lösung bei der Titration. Immerhin ist auch bei dieser Bestimmung eine möglichst baldige Titration prinzipiell angezeigt.

Von einschlägigen Bestimmungsmethoden kommen nun folgende in Betracht:

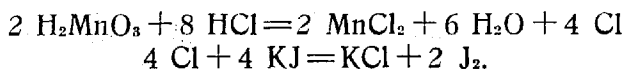
Quantitative Bestimmung des Sauerstoffs. Hier eignet sich ausgezeichnet die Methode von Winkler.⁹ Wir führen sie folgendermassen aus: Man öffne den Messkolben, entnehme mittelst einer Pipette das über der Marke stehende Wasser,¹⁰ gebe ebenfalls mittelst Pipette auf den Boden des Kolbens die vorgeschriebene Manganlösung, fülle oben bis zum Stöpsel mit der vorgeschriebenen KJ-haltigen Lauge auf, verschliesse und schüttele um. Es bildet sich ein flockiger weisser Niederschlag von Mn(OH)₂:



Durch anwesenden Sauerstoff wird dieser Niederschlag rasch oxydiert zu H₂MnO₃ unter mehr oder weniger starker Braunfärbung:



Man lässt etwa zehn Minuten stehen, öffnet dann den Messkolben und überschichtet sofort mit konzentrierter Salzsäure. Nach einigen Sekunden kann die im Kolbenhals befindliche Flüssigkeit quantitativ in das zur Titration bestimmte Gefäss abgegossen werden, worauf man durch Zusatz einer grösseren Menge Salzsäure den Niederschlag im Kolben völlig löst und dann die klare gelbe Flüssigkeit wiederum quantitativ in das andere Gefäss umgiesst. Es spielen sich bei diesen Manipulationen folgende Vorgänge ab:



Dieses ausgeschiedene Jod wird nun mit Natriumthiosulfatlösung titriert, 1 ccm $\frac{1}{10}$ -normal Na₂S₂O₃ entspricht 0,5598 ccm

⁹ Treadwell, Lehrbuch, Bd. 2, p. 649 (Auflage 1913).

¹⁰ Zweckmässig wählt man Messkolben mit nicht zu grossem Abstand der Marke vom Verschluss des Kolbens.

Sauerstoff auf Normalbedingungen (0°, 720 mm) umgerechnet. Bezüglich der zur Analyse zu verwendenden Wassermenge ist zu sagen, dass diese sich nach dem Gehalt an Sauerstoff richten muss, — je geringer der Gehalt, um so grösser die Probe. Meistens genügen bei einiger Uebung und genügend feiner Bürette 100 ccm, bei geringerem Gehalt eventuell 250 oder gar 500 ccm.

Qualitativer Nachweis von Schwefelwasserstoff geschieht mittelst alkalischer Bleiacetatlösung, welche mit H₂S einen braunen bis schwarzen Niederschlag, bzw. bei kleinen Mengen eine braune Färbung gibt. Fast immer genügt diese Reaktion, für feine Proben, etwa in der Grenzschicht, wurde die Methylenblaureaktion verwendet.¹¹ Nicht unerwähnt bleibe, dass in diesem Fall die Geruchsprobe der chemischen Reaktion wohl ebenbürtig ist.

Quantitative Bestimmung von Schwefelwasserstoff erfolgte bei unseren Untersuchungen auf titrimetrischem Weg mittelst Jod und Natriumthiosulfat. Am Ritomsee sind aber von anderen Autoren auch andere Methoden angewendet worden, deren Ergebnisse publiziert sind. Wir müssen uns mit diesen Methoden hier kurz auseinandersetzen, um über die Genauigkeit der mit ihnen erhaltenen Werte Klarheit zu haben.

Bei der Wahl einer Bestimmungsmethode für H₂S ist zu bedenken, dass diese Verbindung ausserordentlich leicht oxydiert wird und zudem aus Wasser das unter Druck gestanden hat, leicht entweicht. Die Bestimmung muss also entweder an Ort und Stelle sofort nach Entnahme der Proben erfolgen, oder der Schwefelwasserstoff in eine stabilere Verbindung übergeführt werden. Hierfür kommt dessen Fällung als Sulfid verschiedener Metalle in Betracht. Diese Sulfide sind allerdings nicht flüchtig, immerhin aber auch noch mehr oder weniger oxydierbar. Bei Berührung mit Luft besteht also die Gefahr, dass von dem gefällten Sulfid ein Teil zu Sulfat oxydiert wird, als solches in Lösung geht und sich so der Bestimmung entzieht.

Am Ritomsee sind z. B. folgende Methoden zur Anwendung gekommen: Bourcart¹² fällt den Schwefelwasserstoff als

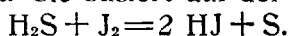
¹¹ Dimethyl-p-phenylendiamin und FeCl₃. Vgl. Treadwell, Lehrbuch, Bd. 1, p. 283. (Auflage 1913.) 0,018 mg H₂S im L sind so noch leicht nachweisbar.

¹² Loc. cit., wo auch die Ausführung der Bestimmung genau beschrieben ist.

Cadmiumsulfid CdS und bestimmt später im Laboratorium das Cadmium als Sulfat CdSO₄. Analog verfährt Verda,¹³ der das Wasser auffängt in einer salzsauren Kupfersulfatlösung und aus CuO den H₂S berechnet.

Diese Methoden bieten die Annehmlichkeit, dass die eigentliche Bestimmung erst in einem wohlausgerüsteten Laboratorium gemacht werden muss, dagegen ist ihre Genauigkeit nur dann garantiert, wenn die Möglichkeit einer Oxydation sicher ausgeschlossen ist.

Gegenüber diesen gravimetrischen Methoden ist für die *viel* zweckmässigeren Bestimmungen an Ort und Stelle die Jodtitration geeignet. Sie basiert auf der Gleichung:



Man lässt eine abgemessene Wassermenge zufließen zu einer bekannten Menge $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{100}$ normal Jodlösung und titriert den Ueberschuss an Jod mit entsprechender Thiosulfatlösung zurück.¹⁴ 1 ccm $\frac{1}{100}$ normal Jodlösung entspricht 0,1704 mg H₂S. Als Indikator wird Stärkelösung verwendet. Nach dieser Methode hat Mellet gearbeitet und sie wurde auch bei unseren Untersuchungen ausschliesslich angewendet. Zur Titration der am Ritomsee in Betracht kommenden Konzentrationen von H₂S erwiesen sich $\frac{1}{100}$ normal Lösungen als zweckmässig, meistens genügten dann 100 ccm Wasser für die Analyse.

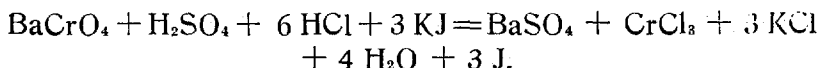
Es sei darauf aufmerksam gemacht, dass zwischen den hier angeführten gravimetrischen und titrimetrischen Bestimmungsmethoden für H₂S erhebliche Differenzen zu Ungunsten der ersteren bestehen. Bei unseren vergleichenden Analysen zur Abklärung dieser Frage ergab die Methode von Bourcart immer etwas kleinere Werte als die Jodtitration. Z. B. wurde in einer Wasserprobe durch Titration gefunden 9,2 mg H₂S im Liter, in demselben Wasser als CdSO₄ bestimmt 7,5 mg H₂S, wobei für jede Analyse 500 ccm Wasser verwendet wurden. Also ein Verlust von rund 20%. Diese Tatsache verdient in unserem Fall besondere Beachtung, da Untersuchungsergebnisse, die nach den verschiedenen Methoden erhalten wurden, erst so richtig gewertet werden können. Die erwähnten gravimetrischen Methoden sind eben nur approximativ richtig. Z. B. könnten die Angaben über den H₂S-Gehalt bei 44—45 m (Bourcart 1903 15,9 und 1904 17,4 mg, Mellet 1913 23,2 mg im L) dazu

¹³ Jahresber. d. kant. Laboratoriums in Lugano, 1918.

¹⁴ Genaueres bei Treadwell, Lehrbuch, Bd. 2, p. 579 ff. (Auflage 1913).

verleiten anzunehmen; dass der H_2S -Gehalt an dieser Stelle in-
nert 10 Jahren um etwa 25 % zugenommen habe. Bei näherem
Zusehen erkennt man aber, dass Differenzen gerade dieser
Größenordnung auch durch die verschiedenen Arbeitsmetho-
den bedingt sein können — m. a. W. der Vergleich dieser
Werte ist unstatthaft und es dürfen aus ihrer Abweichung von-
einander keinerlei Schlüsse gezogen werden.

Sulfatbestimmung. Sulfationen lassen sich nach der Me-
thode von Andrews¹⁵ titrimetrisch bestimmen, basierend auf
der Gleichung:



wobei wiederum das ausgeschiedene Jod mit Natriumthiosul-
fat titriert wird. Die Methode erfordert beträchtliche experi-
mentelle Uebung und mehr Apparatur als unter den gegebenen
primitiven Arbeitsbedingungen wünschenswert war, vor allem
verlangt Gegenwart von Carbonaten ein längeres Kochen der
angesäuerten Lösung, um alle CO_2 zu vertreiben. Infolgedes-
sen gingen wir bald dazu über, die Sulfatbestimmungen
auszuführen in jenen Wasserproben, die zur Bestimmung des
Trockenrückstandes ins Laboratorium geschickt wurden. Bei
allen gravimetrischen Bestimmungen wurde genau nach den
Angaben von Bourcart gearbeitet. Auch Mellet bestimmte den
Sulfatgehalt gravimetrisch.

Bestimmung des Trockenrückstandes. In Uebereinstimmung
mit Bourcart wurde bei 170° getrocknet, da dieser Autor die
genannte Temperatur ermittelt hat als diejenige, bei welcher
sicher alles Kristallwasser ausgetrieben, Carbonate aber noch
nicht zersetzt seien. Diese Bestimmungstemperatur ist beson-
ders auch angebracht bei sulfatreichen Wässern. Aus diesem
Grund und um mit den Bestimmungen Bourcarts direkt ver-
gleichbare Werte zu erhalten, hielten wir an dieser Methode
fest auch gegenüber der Vorschrift des Schweizerischen Lebens-
mittelbuches (IV), welche 105° empfiehlt. Erst nachträglich
wurde uns bekannt, dass Mellet¹⁶ bei 150° trocknet, ein Um-
stand, der leider direkten Vergleich unserer Werte mit den
seinen unzulässig macht: der bei 150° getrocknete Rückstand
hält natürlich mehr Wasser zurück, gibt also relativ höhere
Werte als jener, der bei 170° getrocknet wurde. Ein Um-

¹⁵ Genaueres bei Treadwell, Lehrbuch, Bd. 2, p. 611 (Auflage 1913).

¹⁶ Privatmitteilung.

Tabelle III.

Analysen am Ritomsee nach den Absenkungen.

(Angaben als mg im L, Sauerstoff als cem im L. TR = Trockenrückstand).

i. M.	Juni 1917			August 1917			Oktober 1917			Mai 1918			August 1918			September 1918			Aug. 1919			Aug. 1920																	
	Titel	H ₂ S	SO ₂ ¹	Titel	H ₂ S	RT	SO ₂	Titel	H ₂ S	O ₂	TR	SO ₂	Titel	H ₂ S	TR ²	Titel	TR	SO ₂	Titel	H ₂ S	O ₂	TR	SO ₂	Titel	H ₂ S	O ₂	TR	SO ₂	Titel	H ₂ S	O ₂	TR	SO ₂	Titel	H ₂ S	O ₂			
1838						127,4																																	
1834			6,4	59,4																																			
1831				99,3																																			
1829			6,8	151,8																																			
1826																																							
1824			7,1																																				
1819			7,1																																				
1818																																							
1816																																							
1814			7,5																																				
1811 ¹																																							
1810	15	0																																					
1809	17	2,45	6,5	202,1																																			
1808	18	3,9	0	1,9																																			
1807	27	5,0	0		31	0	149,6	50,7																															
1806	20	5,7	7,6		33	5,1	1290,4	439,8																															
1804	22	6,6	30	8,5	225,8	34	9,2	1358,8	620,4	1	3,5	240,0	226,2	10	738																								
1801	25	8,1			39	10,3	1469,6	810,8	3	1,5																													
1799	35	10,3			6,5	0	1,2	1005,2	556,0	4	1,2	1005,2	556,0	13	857																								
1796	30	10,8			7,5	0	0,36	1192,8	559,1	17	1,8			1,27	857																								
1794										20	3,8	2202,4																											
1793																																							
1791																																							
1790										44	10,3																												

¹ Methode von Andrews.

² 150°, die anderen Angaben 170°.

³ Angaben des oberen Seebeckens.

rechnungsfaktor lässt sich bei der inhomogenen Zusammensetzung des Trockenrückstandes nicht mit genügender Genauigkeit feststellen.

Veränderungen im Chemismus des Ritomsees infolge der Absenkungen.

I. Erste Absenkung, 1917.

Im Februar 1917 wurde der Stollen durchgeschlagen und der Seespiegel sank darauf von 1831 m ü. M. bis auf 1807,4. Dieses Niveau wurde erreicht am 28. April, von da an stieg das Wasser wieder, erreichte am 17. Juni 1826,2, anfangs August 1833,8 und am 27. Oktober 1838,4. An den genannten Zeitpunkten führten wir unsere Untersuchungen aus, deren analytische Daten auf Tabelle III zusammengestellt sind. Sie ergeben für den Sommer 1917 folgendes Bild der Veränderungen im See:

A. Zustand des Sees am 17. Juni 1917. Wie früher findet sich noch immer eine scharfe Grenze zwischen H₂S-freiem und H₂S-haltigem Wasser, die aber jetzt bei 1809,2 m ü. M. liegt, also um 9 m gesunken ist. Wie früher steigt die Konzentration an H₂S gegen die Tiefe, wiederum finden sich einander entsprechende Werte bei gleicher Tiefe überall im See (vgl. Tabelle III), doch beträgt der Maximalgehalt nunmehr nur noch 10,78 mg statt 31,6 mg wie im September 1916. Der Maximalgehalt an H₂S ist also auf $\frac{1}{3}$ des früheren zurückgegangen. Die Rosafärbung der Grenzschicht durch Chromatium wurde diesmal nicht beobachtet. Ausser Wasserproben aus der Tiefe des Sees wurde auch Wasser aus dem Schachtausfluss untersucht, welches 4,28 mg H₂S im Liter enthielt. Dieser Wert entspricht einer Ursprungstiefe des betreffenden Wassers im See von etwa 19 m = 1805 m ü. M. Die Quoten des Stollens sind 1807,7 bis 1805,0. Nach Analysen von Verda¹⁷ zeigt Wasser aus dem Stollen einen Trockenrückstand von 2250 mg im Liter bei einem Sulfatgehalt von 450 mg SO₃. Ein solcher Trockenrückstand ist nach Tabelle II ebenfalls zugehörig einem Wasser, das aus ca. 18 m Tiefe im See = 1806 m ü. M. stammt.

B. Zustand des Sees anfangs August 1917. Seeniveau im Mittel 1834 m ü. M. Die Konzentrationen an H₂S haben sich

¹⁷ Jahresbericht d. kant. Laboratoriums in Lugano 1917 und Privatmitteilung.

gegenüber dem Monat Juni kaum verändert. Zwar steigen die Werte in der Grenzschicht viel rascher an als damals, aber in der Hauptsache ist der H_2S -Gehalt derselbe geblieben, was besonders auch vom Maximalgehalt gilt.¹⁸ Die aus früheren Erfahrungen berechnete Annahme gleicher Konzentrationen bei entsprechender Tiefe überall im See wurde durch Fassen diesbezüglicher Stichproben bestätigt.

Als bemerkenswert sei hervorgehoben, das die H_2S -Grenze seit Juni um mehr als 2 m gesunken ist und nun auf 1807 m ü. M., also der mittleren Quote des Abflusstollens steht. Das Wasser, das dem Stollen entfloß, zeigte — wie anzunehmen, da es ja mindestens zum Teil aus der Reinwasserzone stammen mußte — einen sehr geringen Jodverbrauch, entsprechend nur 0,73 mg H_2S im L am 2. August. Am 8. August bei sehr geringen Mengen ausfließenden Wassers war H_2S qualitativ nicht nachweisbar, der dennoch auftretende Jodverbrauch dürfte vielleicht als SO_2 , entsprechend 2,07 mg, gebucht werden.¹⁹ Natürlich ist die Oxydation von H_2S zu SO_2 eine viel raschere, wenn geringe Wassermengen mit grosser Oberflächenausdehnung langsam am Boden des Stollens hinfließen, als wenn sich ein Strom von mehreren Sekundenkubikmetern durch den ganzen Stollenquerschnitt ergießt.

Chromatium trat diesmal wieder in der Grenzschicht auf, jedoch nicht in genügender Menge, um die frühere rote Färbung hervorzurufen. Ferner ergaben die Untersuchungen von Düggeli,²⁰ dass «auch in jenen Zonen, in denen H_2S nachweisbar ist, solche Bakterien lebend vorkommen, die auf Plattenkulturen von Nährgelatine und Nähragar bzw. Heydenagar sich entwickeln können. Dieses 1917 gewonnene Untersuchungsergebnis steht im Widerspruch mit den 1916 am Ritomsee gemachten Beobachtungen, indem damals in der H_2S -Zone mittelst den oben genannten Kulturarten keine Spaltpilze festgestellt werden konnten. Vermutlich dürfte die Erklärung für die Erscheinung, dass 1917 in der H_2S -Zone gelatinewüchsige Keime vorkommen,

¹⁸ Variationen von 0,5 mg im L liegen innerhalb der Fehlergrenzen. Bei Verwendung von 100 ccm Wasser zur Analyse entspricht dies einem Verbrauch von 0,1 ccm $\frac{1}{100}$ normal Lösung. Ganz abgesehen hiervon kann ein Boot beim Fassen von Proben sich immer neigen und die Tiefenangaben um ± 25 ccm variieren.

¹⁹ Direkte Bestimmung von SO_2 nach Ausfällen allfälligen H_2S ergab ebenfalls 1,94 mg SO_2 .

²⁰ Privatmitteilung vom 13. August 1917. Vgl. auch Jahresbericht der S. N. G. 1917, p. 264.

in der Erniedrigung des H_2S -Gehaltes jener Wasserschichten zu suchen sein». Ein Vergleich des bakteriologischen mit dem chemischen Befund stützt diese Auffassung: 1916 wurden lebende Bakterien gefunden bis zu einer Tiefe von 15 m, bei welcher der H_2S -Gehalt des Wassers 24 mg betrug; 1917 fanden sie sich bis zum Seegrund vor, wo der Maximalgehalt an H_2S damals 10,3 mg betrug. Bakterienformen, die deutliche Zeichen der Schädigung aufwiesen, fanden sich 1916 bei 12,7 m Tiefe (1,34 mg H_2S), 1917 bei 27 m Tiefe (3—5 mg H_2S).

Dass die Begriffe «Chemismus des Wassers» und «Existenzbedingungen für Organismen» sich weitgehend decken, ja häufig direkt zusammenfallen, könnte kaum schöner demonstriert werden als durch dieses Beispiel — haben sich doch hier Lebewesen als Indikatoren bewiesen nicht nur für die Anwesenheit einer bestimmten Substanz, sondern auch für gewisse Konzentrationsgrenzen derselben.²¹

Schon 1916 war konstatiert worden, dass der Sauerstoffgehalt des Reinwassers bei Annäherung an das H_2S -Wasser rapid abnahm, doch wurde damals kein vollständiges Sauerstoffprofil aufgenommen. Dasjenige vom 7. August 1917 ist in Tabelle III angegeben. Die anfängliche Zunahme des Sauerstoffgehaltes in den Schichten unmittelbar unter der Oberfläche (d. h. mit sinkender Temperatur) ist normal und wird auch bei andern Seen konstatiert. Auffallend aber ist das rapide Sinken des Sauerstoffwertes im Intervall von 20 auf 25 m (im Mittel berechnet zu 0,19 ccm pro m) und der scharfe Absturz von 25 auf 27 m (4,95 ccm Abnahme innerhalb 2 m!). Bei 28 m ist kein Sauerstoff mehr nachzuweisen. Die Sauerstoffzehrung des H_2S -Wassers macht sich also schon von der Tiefe 20—25 m an bemerkbar, um in der Dreimeterschicht von 25 auf 28 m eine totale zu werden.

C. Zustand des Sees am 27. Oktober 1917. An obigem Datum wurde bei äusserst ungünstiger Witterung eine Expedition nach Piora unternommen. Ein heftiger Sturm hätte jede Arbeit auf dem See verunmöglicht, wenn nicht die Baufirma Baumann & Stiefenhofer ein grosses Sandboot mit Aussenbordmotor, das trotz des Unwetters seetüchtig war, zur Verfügung gestellt hätte. Unser Dank möge hier zum Ausdruck gebracht werden. Trotz dem grossen Boot und der Mithilfe der bauleitenden Ingenieure war das Fassen der Proben mit

²¹ Vgl. hierzu den Sauerstoffbedarf verschiedener Fische, Plankton- und Mikroorganismen.

so grossen Schwierigkeiten verbunden, dass auf die Ausführung einer Serie von Sauerstoffbestimmungen verzichtet werden musste. Das Seeniveau stand bei dieser Untersuchung auf 1838,4 m ü. M. Die H_2S -Grenze fand sich in 33 m Tiefe, also bei 1805 m, sie war demnach seit August abermals um 1 m, bis auf die Quote der Stollensohle, gesunken.

Damit ist der Zustand des Sees im Verlauf des Sommers 1917 charakterisiert. Eine Besprechung der erfolgten Veränderungen dürfte schon auf Grund dieser Angaben erwünscht sein und besonders auch die Fragestellung für weitere Untersuchungen erleichtern, dabei ist immerhin zu bedenken, dass es sich erst um ein Uebergangsstadium handelt, denn die maximale Absenkung wurde im Winter 1917 noch nicht erreicht.

In erster Linie interessiert uns der Einfluss der Absenkung auf den H_2S -Gehalt des Sees. Diese Frage kann in zwei Teile zerlegt werden, wovon der eine die *Mächtigkeit der H_2S -Zone*, also die Verschiebungen der H_2S -Grenze, der andere dagegen die *Änderungen im H_2S -Gehalt* dieser Zone betrifft.

Ad 1. Das H_2S -Niveau war im unberührten See 1913 und 1916 bei 1821 m ü. M. gefunden worden. Abgesenkt wurde der See 1917 bis auf 1807,4 m ü. M., dennoch fand sich im Juni das H_2S -Niveau bei 1809,19 m, also 1,65 m *über* dem niedrigsten Wasserstand, wenn auch immer noch 12 m tiefer als früher. Im August war es wieder auf 1807 m — etwa die mittlere Stollenquote — und im Oktober bis auf die Quote der Stollensohle gesunken.

Was kann diese Verschiebungen verursacht haben? Es kommen drei Möglichkeiten in Betracht:

- a) Neubildung von H_2S könnte das Niveau verschieben, entweder durch Diffusion (deren Effekt in diesem Sinne am Ritomsee allerdings nie beobachtet worden war) oder durch Bildung desselben in bisher davon freien Schichten. Solche Neubildung würde zugleich im Sinne einer Vergrösserung der H_2S -Konzentrationen wirken, also hätte im Zeitintervall Juni-August-Oktober 1917 eine mehr oder weniger starke Vermehrung des H_2S -Gehaltes und ein langsames weiteres Ansteigen des H_2S -Niveaus beobachtet werden müssen.
- b) Durch Heraufdrängen der unteren Wasserschichten infolge Zuflusses von Wasser aus einer in der Tiefe mündenden Quelle. Auch hier wäre eine Konzentrationsänderung des H_2S wahrscheinlich, von Juni bis August

lässt sich keine solche nachweisen, die Werte vom Oktober zeigen eine geringe Abnahme.

Diese beiden Annahmen sind also mit den experimentellen Befunden nicht gut in Einklang zu bringen, höchstens die zweite wäre noch als Nebenerscheinung in Betracht zu ziehen. Beide sind kontinuierliche Vorgänge, während die Tatsachen zu deuten scheinen auf einen *einmaligen* Eingriff in die Ruhe des sich stauenden Sees, welcher Eingriff in der Zeit von April bis Juni 1917 stattfand, eventuell in Wiederholungen, dann aber nicht mehr wirksam war. Ein solcher wäre:

- c) Heraufdrücken der unteren Wasserschichten durch das Material der Rutschungen am Ufer und im Delta. Welch beträchtliche Erdmassen diese loslösten, ist direkt sichtbar, wenn man das Gebiet in seinem früheren Aussehen kannte. Auch die Trübheit des Wassers²² und die grosse Menge Detritus, die teilweise schon makroskopisch darin zu konstatieren war, sprach für Anwesenheit von viel losem Material im See, ebenso auch der Umstand, dass es trotz Suchens im Umkreis der früheren tiefsten Stelle des Sees nicht gelang, die Quote 1784 m zu erreichen.²³

Nach beendeten Rutschungen würde die H₂S-Grenze zum mindesten stationär bleiben, keinesfalls weiter steigen. Dies ist mit den Tatsachen in Einklang. Es ist also anzunehmen, dass das H₂S-Niveau anfänglich infolge der Rutschungen bis über die Absenkungsquote stieg. Als dann Ruhe eintrat, lief allmählich das über Stollenniveau liegende H₂S-Wasser durch diesen ab²⁴ und wurde durch von oben nachpressendes Reinwasser ersetzt. Tatsächlich scheint nur das Wasser oberhalb 1807 m abgeflossen zu sein, denn im August finden wir bei dieser Quote einen H₂S-Gehalt von 4,8 mg, im Juni (durch Interpolation) 4,7—4,9 mg.

Ad 2. Ein klareres Bild der Absenkungsvorgänge im See lässt sich auch gewinnen durch nähere Betrachtung der Aenderungen in den H₂S-Konzentrationen. Zu diesem Zwecke wurden die H₂S-Werte von Mellet vom Jahr 1913, sowie die unsrigen vom Jahre 1917 graphisch aufgezeichnet; in den bei-

²² Durchsichtigkeit im Juni weniger als 2 m, vgl. auch Collet und Mellet, loc. cit.

²³ Vgl. Roth, Bauzeitung. Collet, loc. cit.

²⁴ Laut den Aufzeichnungen der Bauleitung war während der Monate Juni bis August der Stollen immer etwas geöffnet, da das Seeniveau wegen der Arbeiten am Damm nicht rasch steigen durfte.

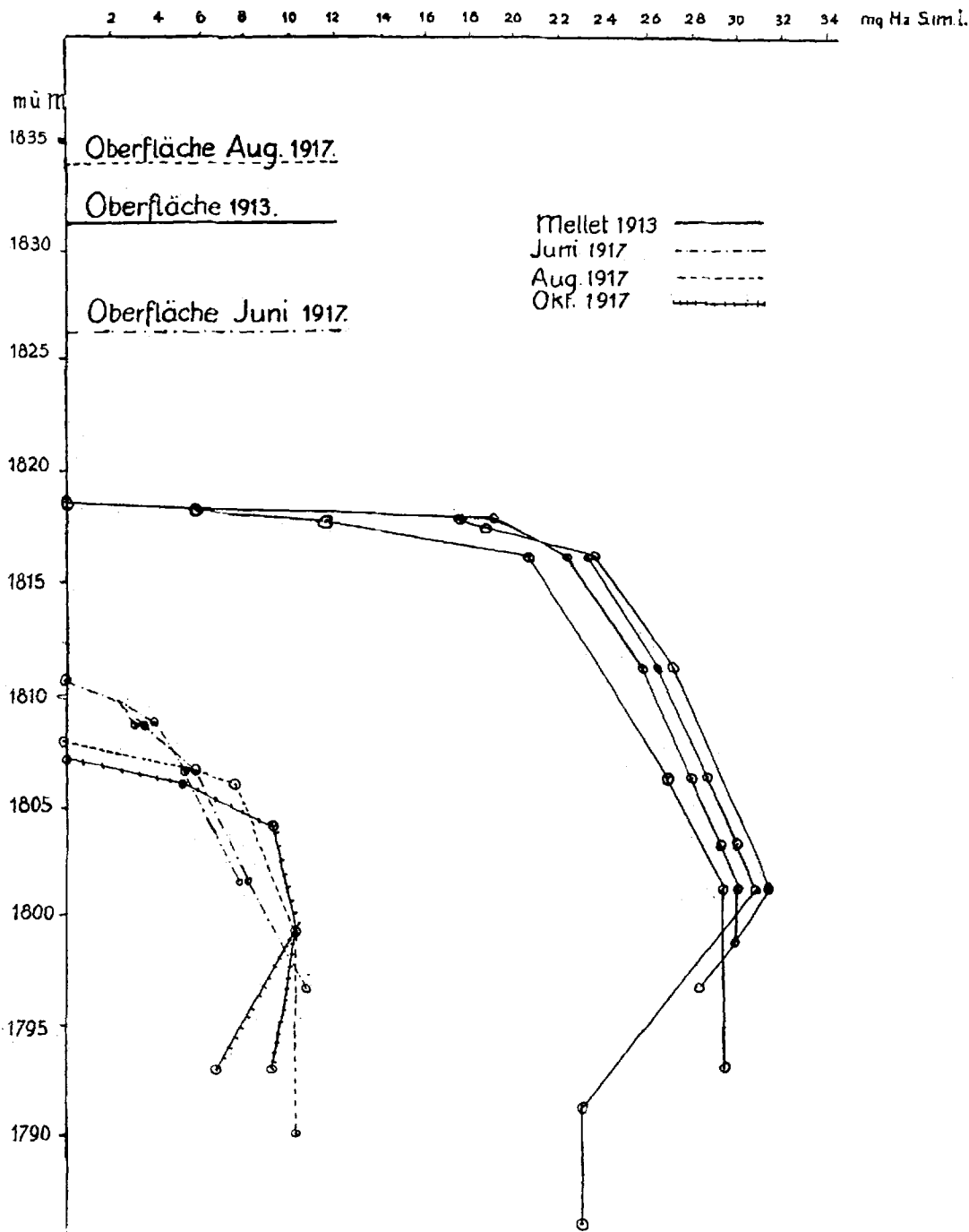


Fig. 2. Schwefelwasserstoffgehalt des Ríto-sees.

liegenden Kurven sind auf der Abszisse die mg H_2S im Liter, auf der Ordinate die zugehörigen Quoten über Meeresniveau eingetragen. Die graphische Methode wurde angewendet in der Hoffnung aus dieser Darstellung den Charakter der Kurve zu erkennen, vielleicht eine Gleichung für dieselbe wahrscheinlich zu machen, um dann für jede Tiefe den H_2S -Gehalt voraus-sagen und die Gesamtmenge H_2S in jedem beliebigen Wasser-quantum angeben zu können. Leider gelang dies nicht, doch führt schon eine rein geometrische Betrachtung der Kurven zu interessanten Schlüssen. (Vgl. Figur 2.)

Erstens ist ersichtlich, dass eine ganz gewaltige Abnahme des Gesamt- H_2S durch die Absenkung verursacht worden ist, d. h. die durch die Kurve begrenzte Fläche ist viel kleiner geworden. Klarer sichtbar wird diese Abnahme, wenn statt der üblichen Darstellung eine solche gewählt wird, bei der die H_2S -Werte symmetrisch rechts und links einer Senkrechten aufgetragen werden. Man erhält so symmetrische Figuren, die genau dasselbe darstellen wie die gewöhnlichen Kurven, deren relativer Flächeninhalt jedoch augenfälliger hervortritt. (Fig. 3.)

Lässt sich nun an Hand der graphischen Darstellung eine Schätzung der prozentualen Abnahme des *Gesamt- H_2S* einiger-massen begründen? Wir sind uns klar, dass die folgenden Ueberlegungen nur approximativ richtige Zahlenwerte er-geben, glauben aber, sie als Basis einer Ueberschlagsrechnung verwenden zu dürfen.

Der H_2S -Gehalt ist überall in mg im L angegeben. Denkt man sich ein Wasservolumen von 1 cm Breite, 10 cm Länge, 100 cm Höhe, so wären hierin die angeführten mg H_2S ent-halten. (In Wirklichkeit ist der H_2S -Gehalt des obersten Dezi-liters ein anderer als der des untersten, da ja die H_2S -Werte sich stetig ändern, für unsere Betrachtungen dürfen wir jedoch für eine solche meterhohe Schicht einen Durchschnittswert einsetzen und beim Uebergang eines Liters in den nächsten einen Sprung annehmen.) Haben wir nun Meter für Meter, sei es direkt, sei es durch Interpolation, den H_2S -Gehalt eines Liters bestimmt, so ergibt die Summe der ermittelten Werte den Gesamtgehalt an H_2S in einer Wassersäule vom Quer-schnitt 10 cm^2 und beliebig zu wählender Tiefe. Für diese Wassersäule sei der Name «typisches Volumen» eingeführt.

Nun lassen sich aber dieselben Werte, die auf diese Art mühsam durch viele Analysen gewonnen werden müssen, aus der graphischen Darstellung direkt ablesen. Die Grösse der Fläche, die von der Kurve, zwei beliebigen Ordinaten und der

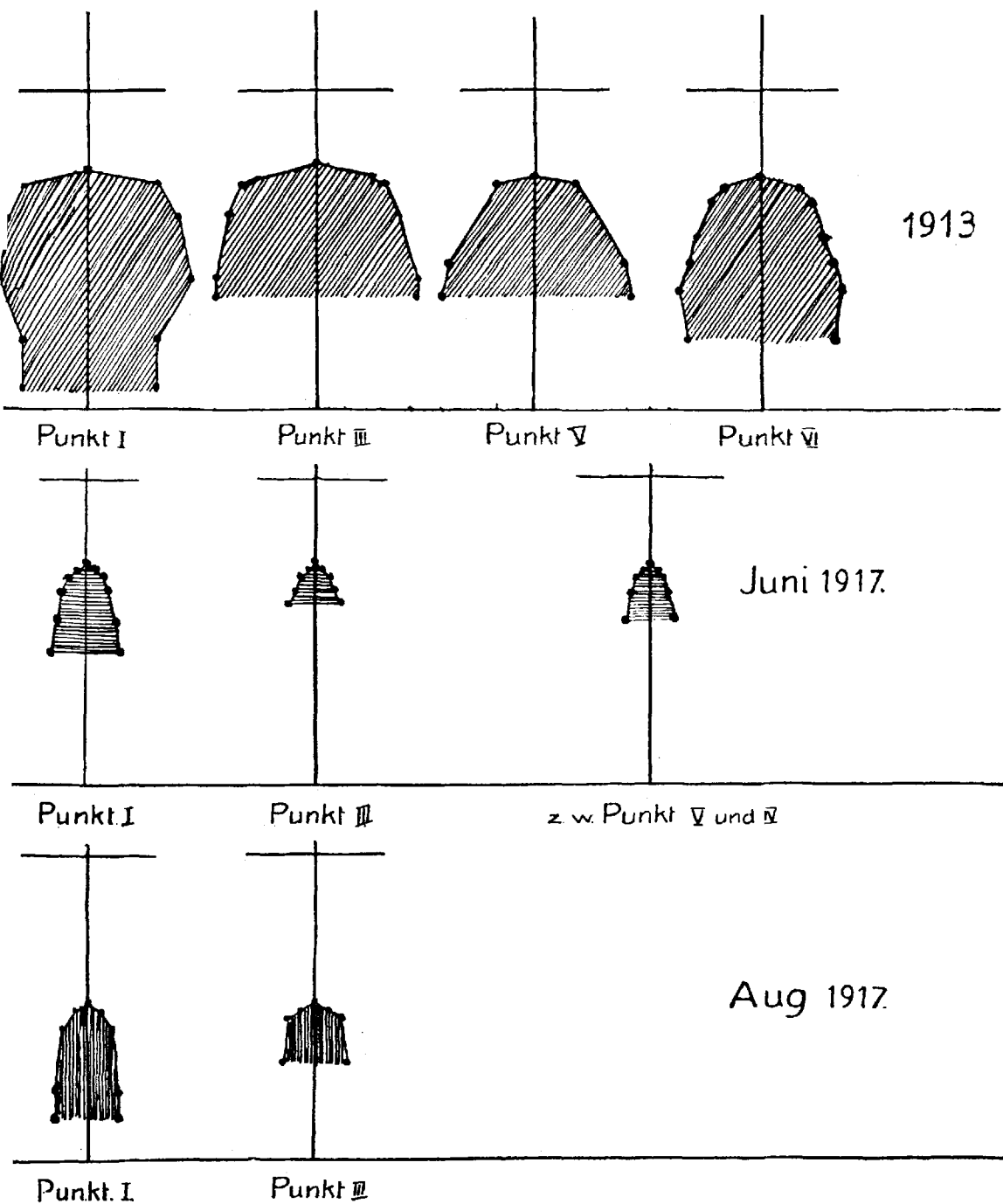


Fig. 3. Schwefelwasserstoffgehalt des Ritomsees.

Abszissenachse eingeschlossen wird, gibt die Gesamtmenge des in einem typischen Volumen vorhandenen H_2S direkt an. Wir brauchen also nur die entsprechenden Flächen zu messen, um typische Volumina des Seewassers unter verschiedenen Bedingungen zahlenmässig vergleichen zu können.

Man kann nun die typischen Volumina nach verschiedenen Gesichtspunkten auswählen. Einerseits kann die Tiefe der Wassersäule bis zu einer beliebigen Anzahl Meter unter der Seeoberfläche gemessen werden. Hieraus erhält man den Gesamt- H_2S eines typischen Volumens in den obersten n-Metern Wasser. Für drei Punkte sei dies hier erläutert:

- a) Punkt III, bis 22 m Tiefe
 1913 und 1916 = 212 mg,
 Juni 1917 = 20 mg.

Der ursprüngliche Gehalt an H_2S war also 10,6 mal grösser; im Juni 1917 betrug der H_2S -Gehalt in dieser Schicht noch 9,4 % des Gehaltes vom September 1916.

- b) Punkt V und VI, bis 25 m Tiefe
 1913 bezw. 1916 = 256 mg,
 Juni 1917 = 42 mg.

Ursprünglicher Gehalt 6,09 mal grösser; im Juni nur noch 16,4 % des Gehaltes vom September 1916.

- c) Punkt I, bis 30 m Tiefe
 1916 = 496 mg,
 1917 = 93 mg.

Ursprünglicher Gehalt 5,3 mal grösser, im Juni nur noch 16,7 % des Gehaltes vom September 1916.

Richtiger vergleichbar als diese Werte sind jedoch solche, die die Reinwasserschichten nicht berücksichtigen — diese sind ja auch seit Februar 1917 in ihrer Mächtigkeit Veränderungen nicht naturgewollter Art unterworfen — sondern die typischen Volumina *von der H_2S -Grenze an* nach abwärts wählt, d. h. den Gesamtgehalt an H_2S in einer meterhohen Säule von 10 cm² Querschnitt des H_2S -Wassers betrachtet. So berechnet, ergeben sich für dieselben Punkte wie oben folgende Zahlen:

- a) Punkt III, Höhe des typischen Volumens 5 m
 1913 = 82 mg,
 Juni 1917 = 20 mg.

Ursprünglicher Gehalt 4,1 mal grösser; im Juni noch 24,4 % des früheren Gehaltes.

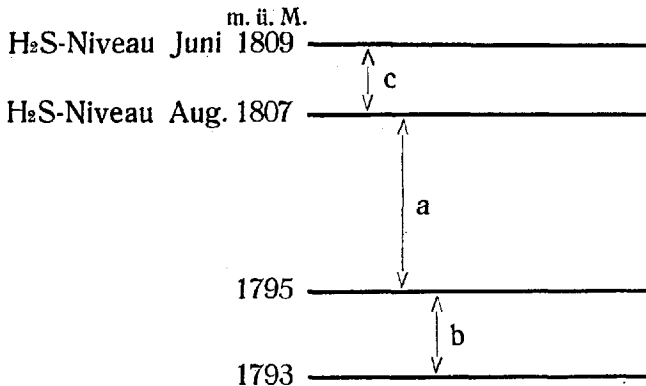
- b) Punkt V und VI, Höhe des typischen Volumens 8 m
 1913 und 1916 = 159 mg,
 Juni 1917 = 42 mg.

Ursprünglicher Gehalt 3,78 mal grösser, im Juni noch 27,04 % des früheren Gehaltes.

- c) Punkt I, Höhe des typischen Volumens 14 m
 1913 und 1916 = 334 mg,
 Juni 1917 = 93 mg.

Ursprünglicher Gehalt 3,6 mal grösser, im Juni noch 27,8 % des früheren Gehaltes.

Im folgenden sei noch an Hand eines Beispiels gezeigt, wie vorsichtig man in der Auswahl wirklich vergleichbarer typischer Volumina verfahren muss. In Punkt I ergibt sich, bei Wahl eines typischen Volumens von 14 m Höhe von der H_2S -Grenze an gemessen, für Juni 1917 ein Gehalt von 93 mg, für August 1917 ein solcher von 120 mg — diese wäre also von Juni bis August eine Zunahme von 27 mg oder 33 % !! Aber diese Zahlen *täuschen*, weil in der Auswahl der typischen Volumina ohne genügende Ueberlegung vorgegangen wurde. Denn wir haben gesehen, dass vom Juni bis August die obersten Schichten des H_2S -Wassers abgeflossen sind ohne wesentliche Konzentrationsänderungen in den unteren Schichten. Wie



beistehende Skizze zeigt, ist hier nur die Schicht a (12 m) beiden Untersuchungszeiten gemeinsam, im August tritt aber im obigen Beispiel an Stelle der Schicht c mit niedrigem Gehalt die Schicht b mit bedeutend höherem. Folglich war das Resultat fehlerhaft um den Betrag + (Gehalt b — Gehalt c), weil eben die typischen Volumina nicht vergleichbar gewählt wurden. Betrachten wir aber richtigerweise das Intervall von 1807 bis 1795 m ü. M. (Schicht a), so ergibt sich:

Höhe des typischen Volumens 12 m

Juni = 90 mg,

August = 98 mg.

Ein Unterschied von 8 mg auf 12 Liter bedeutet einen solchen von durchschnittlich 0,66 mg pro L, welcher Wert völlig innerhalb der analytischen und rechnerischen Fehlergrenzen der angewendeten Methoden liegt. Es darf daher tatsächlich behauptet werden, dass in den 44 Tagen, die zwischen den beiden Untersuchungen liegen, keine Zu- oder Abnahme des H_2S in den durch den Stollenabfluss unbeeinflussten Wasserschichten stattgefunden hat.

Werden die Ergebnisse vom Oktober 1917 in obige Betrachtungen einbezogen, so ändert sich das Bild nicht wesentlich für die oberen H_2S -Schichten. Leider ist die Kurve vom Oktober infolge des Sturmes wenig genau: das Boot wurde vom Wind getrieben und das Seil der Schöpfflasche dadurch um einen nicht bestimmbareren Betrag von der Vertikalen abgezogen. Je länger das Seil, um so grösser der Fehler, die Tiefen, aus der die Proben stammen, sind daher nicht genau anzugeben. Es ist dies um so bedauernswerter, als einige Analysen dieser Serie auf eine Verdünnung der tieferen Schichten deuten würden, während sonst die Konzentrationen stabil geblieben sind. Der Umstand aber, dass nach allen bisherigen Erfahrungen Abnahme des H_2S stets auch mit Abnahme des Trockenrückstandes einherging, in diesem Fall aber die tieferen Schichten keine Verminderung des letzteren aufweisen, lässt den aus einigen Werten entstehenden rückläufigen Verlauf der H_2S -Kurve zum mindesten unsicher erscheinen.

Bevor jedoch die Veränderungen im See weiter besprochen werden, mögen nun die Analysenresultate der Jahre 1918, 1919 und 1920 folgen.

II. Zweite Absenkung, 1918.

Im Winter 1918 erreichte der See zum ersten Mal seinen niedrigsten Stand, 1803,8 m ü. M.

A. Zustand des Sees am 19. Mai 1918. An diesem Tag war der See seit 24 Stunden gestaut, das Seeniveau stand bei 1804,8 m. Die Eisdecke war 51 cm dick, darauf lag noch Schnee. An zwei Punkten im unteren Seebecken wurden Löcher geschlagen. Das Wasser war sehr trüb, makroskopische Partikel waren wenige sichtbar, aber es zeigte sich die milchige Opaleszenz, die typisch ist für colloidale Schwefellösun-

gen und die bei der Oxydation von Schwefelwasserstoffwasser häufig auftritt.²⁵ Die H₂S-Grenze fand sich in 7 m Tiefe = 1797,8 m ü. M. Die Analysendaten sind in Tabelle III angeführt. Es fällt in ihnen vor allem der sehr geringe Sauerstoffgehalt auf, der, zusammen mit der erwähnten Opaleszenz des Wassers, zu dem Schlusse berechtigt, dass die Abnahme an H₂S nicht nur durch Abfluss von H₂S-Wasser bedingt, sondern dass in dem zurückbleibenden Wasser H₂S oxydiert worden sei. Diese Auffassung wird bestätigt durch die trotz starken Zuflusses von Reinwasser²⁶ noch immer sehr hohen Trockenrückstände.

B. Zustand des Sees am 8.—9. Juni 1918 (Mellet, loc. cit.). Das Seeniveau stand auf 1812,5 m, die H₂S-Grenze bei 16 m Tiefe, war also in 20 Tagen um 1,3 m gesunken. Die Analysenwerte von Mellet sind in Tabelle III angegeben. Schlammproben aus der Tiefe des Sees waren schwarz, ebenso solche im freiliegenden Seegrund. Mellet betrachtet den mit Sulfatwasser durchtränkten humusartigen Seeboden als das «laboratoire naturel» der H₂S-Bildung, eine Auffassung, die durchaus zutrifft, wenn auch der Prozess der H₂S-Bildung ein anderer ist, als dort angenommen wird. Wir kommen später auf diesen Punkt zurück.

C. Anfangs August 1918 ergaben qualitative Proben völlige Abwesenheit von H₂S im ganzen See. Der maximale Trockenrückstand betrug 846 mg im L, war also nicht nur gegenüber früheren Jahren, sondern auch gegenüber dem Monat Mai stark zurückgegangen. Die Analysen wurden besonders in der Zone 1808—1795 m ü. M. ausgeführt, da in dieser die H₂S-Grenzen dieses und des vorangehenden Jahres gelegen hatten. Wir konnten dabei konstatieren, dass nun zum ersten Mal offenbar eine Mischung des zugeflossenen Reinwassers mit Seewasser aus tiefen Schichten stattgefunden hatte.

D. Am 17. September 1918 stand das Seeniveau bei 1835,1 m ü. M. Das Wasser war klar,²⁷ im Gegensatz zu den Beobachtungen im Mai und August, die viel geringere Durchsichtigkeiten feststellten. Es fand sich kein H₂S, weder im Wasser noch im Schlamm, auch war der letztere nicht schwarz wie früher, sondern grau und geruchlos. Das Naumannsche Rohr

²⁵ Z. B. tritt sie häufig auf bei der Jodtitration — die ja auch ein Oxydationsprozess ist — und kann wegen ihres bläulichen Schimmers störend wirken bei der Feststellung des Endpunktes der Titration.

²⁶ Schmelzwasser und Zuflüsse.

²⁷ Durchsichtigkeit (Secchischeibe) 10,4 m.

zur Aufnahme eines Schlammprofils stand uns leider damals noch nicht zur Verfügung, es wäre von Interesse gewesen zu wissen, ob die tieferen Schlammschichten noch schwarz waren (humus- und eisensulfidhaltig) oder nicht. Die tiefste Quote, die erreicht wurde, war 1789 m.

Obwohl nun der H_2S schon im August verschwunden war, bestand offenbar noch immer ein Faktor, der den Ausgleich des Sauerstoffdefizites erschwerte. Es gelang uns nicht, zu entscheiden, ob die Fortdauer des letzteren nur eine Folge der Langsamkeit des Ausgleiches oder aber einer noch immer bestehenden Sauerstoffzehrung sei, — z. B. noch immer andauernde Neubildung und Oxydation geringer Mengen H_2S oder Zufluss sauerstoffarmen Wassers. Da aber dieselbe Erscheinung im folgenden Jahr ebenfalls beobachtet wurde, gewinnen die beiden letzteren Vermutungen an Wahrscheinlichkeit.

Die Beschäftigung mit der Frage nach dem Ursprung des hohen Trockenrückstand- und Sulfatgehaltes zwang uns folgerichtig dazu, einmal festzustellen, ob derselbe nicht durch einen der sichtbaren Zuflüsse in den See gelange. Folgende Tabelle stammt aus einer diesbezüglichen Analysenreihe, die nach längerer Trockenperiode gemacht wurde. Die Zahlen zeigen klar, dass die oberirdischen Zuflüsse nicht für den hohen Mineralisationsgrad des Seewassers verantwortlich gemacht werden können, vielmehr muss dieser entweder durch chemische Vorgänge im Seebecken oder durch sublakustre Zuflüsse bzw. Quellen bedingt sein.

Tabelle IV.

Oberirdische Zuflüsse des Ritomsee.

	Temp.	O ₂ ccm im L	Trocken- rückstand mg im L	SO ₄ mg im L
Canariscio di Ritom	9 °	8,7	40,0	7,6
Canariscio di Campo	8,5 °	9,2	24,0	9,6
Erster Deltabach	8,0 °	8,9	30,4	18,5
Dritter Deltabach	8,0 °	4,4	85,6	4,5
Murinascia (am Fusse der Felsen)	9,0 °	7,9	88,0	18,2
Cadagnobach (Strom- schnellen unterh. Fall)	13,0 °	7,6	260,8	128,6
Tombach	—	8,5	40,0	—

III. Dritte Absenkung, 1919. Untersuchungen 1920 und 1921.

Im Jahre 1919 bietet der Ritomsee etwa dasselbe Bild wie im September 1918. Trotz gänzlicher Abwesenheit von H_2S noch ein starkes Sauerstoffdefizit in der Tiefe, das trotz gründlicher Durchmischung²⁸ nicht behoben wurde. Der Schlamm war schwarz. — Für die Existenzfähigkeit von freiem H_2S ist ein Sauerstoffdefizit unerlässliche Vorbedingung. Für eine völlige Sanierung des Sees in Bezug auf H_2S — was technisch sehr wichtig wäre — ist die Prognose also noch nicht durchaus günstig, es ist zu erwarten, dass nur die jährlichen Absenkungen ihn frei bewahren von H_2S . Bliebe er einige Jahre unberührt, so dürfte sehr wahrscheinlich wieder H_2S auftreten.

1920 fand sich wiederum kein H_2S , im August war auch der Schlamm grau statt schwarz, und geruchlos, erst beim Ansäuern trat der bekannte Geruch auf. Sauerstoffprofile an zwei Orten (unteres Seebecken beim Stauwehr und oberes Seebecken an der tiefsten Stelle des Sees) ergaben verschiedenes Bild.

Das untere Seebecken verhielt sich normal in Bezug auf Sauerstoff, das obere hingegen zeigte in der Tiefe noch ein Defizit. Dies erschien einigermaßen befremdend, da wir bisher bei gleicher Tiefe überall im See analoge chemische Zustände angetroffen hatten. Es wäre nun denkbar und wird von anderen Forschern angenommen, dass im See eine hochmineralisierte, sauerstoffarme Quelle mündet. Gestützt wird diese Ansicht durch die Tatsache, dass Wasser von der fraglichen Stelle hohen Sulfatgehalt aufweist. Andererseits lässt sich aber folgendermassen eine ganz zwanglose und genügende Erklärung dieser Erscheinung geben: Betrachtet man das Längsprofil des Sees (Figur 1), so sieht man auf dem Seegrund zwei Einsenkungen, deren tiefere im oberen Teil des Sees liegt. Die Saugkraft des abfliessenden Wassers kann auf die Einsenkung nahe der Stollenöffnung ungehindert einwirken, dagegen muss das «schwere» (stärker mineralisierte) Wasser aus der weiter entfernten quasi herausgehebert werden oder herausdiffundieren, bevor auch hier normale Verhältnisse eintreten können. Aus dem genetischen Zusammenhang des vorliegenden Zustandes des Sees scheint diese Auffassung durchaus wahrscheinlich.

²⁸ Temperaturverlauf normal; Verflachung der TR-Kurve.

Im Oktober 1920 hatte sich denn auch die Wahrscheinlichkeit der Quellenhypothese (auf die wir übrigens noch an anderer Stelle zu sprechen kommen werden) bedeutend vermindert, da der Unterschied zwischen oberem und unterem Seebecken in Bezug auf Sauerstoff sich inzwischen ausgeglichen hatte. Es findet sich nämlich nun auch im unteren Seebecken ein beträchtliches Sauerstoffdefizit in einer Tiefe (35 m) nahe derjenigen (33 m), die im August noch normalen Gehalt aufwies, während umgekehrt im oberen Seebecken normale Sauerstoffmengen sich finden in einer Tiefe, die bei der letzten Untersuchung ein Defizit zeigte.

Da der See seit den Wasserverlusten des Stollens, im Frühsommer 1920, gestaut war und kein Wasser abgelassen wurde, befand er sich im Oktober wieder in Ruhezustand. Die Untersuchungen im Sommer 1920 zeigen also deutlich,

1. dass *normalerweise* der See bei gleicher Tiefe überall gleiche Sauerstoffwerte aufweist.
2. dass aber die gleichmässige Sauerstoffschichtung durch technische Eingriffe gestört werden kann, sich jedoch langsam wieder herstellt, wenn Ruhe eintritt.

Da ferner eine weitere Ausdehnung der Wasserschichten, die ein Sauerstoffdefizit aufweisen, stattgefunden hat, ist klar,

3. dass noch immer eine Sauerstoffzehrung in der Tiefe des See stattfindet.

Und da ausserdem der Seeschlamm wieder schwarz war und stark nach H_2S roch, ist es höchst wahrscheinlich,

4. dass die Ursache der Sauerstoffzehrung zu suchen ist in einer H_2S -Entwicklung, die vom Bodenschlamm des Sees ausgeht.

Zusammengefasst machen es diese letzten Untersuchungen in hohem Grade wahrscheinlich, dass ein längeres Ruhenlassen des Sees mit erneutem Auftreten von H_2S in den tiefen Wasserschichten verbunden sein würde.

Anhangsweise mögen hier noch einige Analysen folgen, die von Proben vom 19.—20. Oktober 1920 ausgeführt wurden von der Eidg. Prüfungsanstalt für Brennstoffe zu Händen der Schweizerischen Bundesbahnen und uns von der Direktion der letzteren in zuvorkommender Weise zur Einsicht überlassen wurden. Verglichen mit den Analysen der Tabelle I geben sie ein schönes Bild des erfolgten Ausgleichs der chemischen Zustände des Sees.

Tabelle V.

Analysen von Ritomseewasser vom 19.—20. Oktober 1920.

Ausgeführt von der Eidg. Prüfungsanstalt für Brennstoffe.

	Oberfläche	Stollen (Quote 1805—1807)
Trockenrückstand ²⁰	140,4	332,8
Glührückstand	130,4	295,2
SiO ₂	1,6	1,2
CaO	41,6	95,4
MgO	12,6	26,1
Na ₂ O	1,3	5,0
SO ₃	51,6	151,6
CO ₂	18,2	22,6
Cl	—	—

Schlussbetrachtungen.

Die beschriebenen Untersuchungen des Ritomseewassers während einer Anzahl Jahre geben uns ein Bild vom ungefähren Verlauf der chemischen Aenderungen, die infolge der Absenkungen eingetreten sind. In den Jahren 1920 und 1921 bietet der See nicht mehr ein sehr ungewöhnliches chemisches Bild. Der H₂S ist verschwunden, ebenso die frühere Trennung des Wassers in zwei scharf gekennzeichnete übereinanderliegende Schichten, d. h. der frühere Sprung in Trockenrückstand bzw. spezifischem Gewicht ist nicht mehr vorhanden. Der Trockenrückstandsgehalt des Wassers hat sich langsam ausgeglichen, wenn auch dessen Werte noch immer hoch sind und ihre Kurve (als Funktion der Tiefe) nicht linear verläuft. Der See ist in Bezug auf H₂S saniert, dagegen nicht völlig in Bezug auf Sauerstoff, an dem in der Tiefe noch immer ein gewisses Defizit zu verzeichnen ist.

Interessant ist es, näher zu untersuchen, auf welche Art die Abnahme an H₂S zustande gekommen sein kann. Erstens floss eine 13 m hohe Schicht von H₂S-Wasser durch den Stollen ab. Dadurch kamen die tieferen H₂S-Schichten in direkten Kontakt mit der Luft, wodurch eine rasche Oxydation begünstigt wurde. Gleichzeitig wurde auch eine bessere Durchmischung des Wassers möglich, da die spezifisch verschiedenen schweren Schichten nicht mehr bestanden und die thermische Durchmischung nicht mehr verhinderten. — Durchmischung und

²⁰ Temperatur nicht angegeben.

Oxydation gingen also Hand in Hand. Erstere wirkte ausgleichend auf den Gehalt an Trockenrückstand wie an H_2S , letztere nur auf jenen an H_2S . Die Verminderung der H_2S -Werte muss also relativ grösser sein, als die Abnahme des Trockenrückstandes. Die Analysen, wie auch die folgende kleine Rechnung bestätigen diese Ueberlegung.

Man betrachte das Verhältnis H_2S :Trockenrückstand an gleicher Stelle des Sees zu verschiedener Zeit. Haben sich die einzelnen Zahlenwerte unter Wahrung der Proportionalität verändert oder nicht? Einwirkung eines Faktors, wie etwa der Durchmischung, der sowohl auf H_2S wie auf TR wirkt, bewahrt das Verhältnis unverändert. Die Analysen ergeben:

Quote 1799 zeigt einen TR von 2369 mg,
 H_2S -Gehalt 30,1 mg.

Quote 1799 zeigt im Oktober 1916 einen TR von 1469 mg,
 H_2S -Gehalt 9,2—10,3.

Bildet man aus diesen Worten die Gleichung:

$$\frac{\text{TR 1916}}{\text{H}_2\text{S 1916}} = \frac{\text{TR 1917}}{X}$$

so berechnet sich x (H_2S -Gehalt 1917) zu 14,3 mg. Gefunden wurden ca. 10 mg; die Abnahme an H_2S ist relativ grösser als jene an TR. Es wurde also H_2S entfernt durch einen Faktor, der TR nicht verminderte, vielleicht sogar vergrösserte.

Ein solcher Faktor ist aber eben die Oxydation.

Dass sich dagegen SO_3 und TR in gleichbleibendem Verhältnis geändert haben, ergibt sich folgendermassen:

Quote 1799 zeigte im Juli 1916 TR = 2365 mg,
 SO_3 = 1376 mg.

Quote 1799 zeigte im Oktober 1917 TR = 1469 mg,
 SO_3 = 810 mg.

Aus dem Verhältnis:

$$\frac{\text{TR 1916}}{\text{TR 1917}} = \frac{y}{\text{SO}_3 \text{ 1916}}$$

berechnet sich y, der SO_3 -Gehalt 1917, zu 854 mg. Gefunden wurden 810 mg, die beiden Werte sind somit gleicher Grössenordnung und rechtfertigen die Aufstellung obiger Gleichung.

Eine analoge Berechnung

$$\frac{\text{H}_2\text{S 1917}}{\text{H}_2\text{S 1916}} = \frac{\text{SO}_3 \text{ 1917}}{\text{SO}_3 \text{ 1916}}$$

ergibt dagegen für SO_3 1917 Werte, die keineswegs übereinstimmen mit den gefundenen. Also sobald auf Basis des H_2S -Gehaltes gerechnet wird, ist Proportionalität nicht mehr vorhanden.

Es möge hier noch bemerkt werden, dass im unveränderten See aus 2 H_2S -Zahlen und einem SO_3 - oder Trockenrückstandwert auf Grund analoger Gleichungen der vierte Wert ziemlich genau berechnet werden konnte.

Schon im Jahre 1918 war der völligen Sanierung des Sees in Bezug auf H_2S und O_2 weitgehend vorgearbeitet. Vor allem fand sich im Frühjahr jenes Jahres keine scharfe Trennung spezifisch verschieden schwerer Schichten, es konnte also die thermische Durchmischung des Wassers unbehindert vor sich gehen. Im Sommer 1918 fand sich dementsprechend zum erstenmal normaler Verlauf der Temperaturkurven, der zeitlich zusammenfällt mit dem völligen Verschwinden von H_2S . Auch die Trockenrückstandswerte verschiedener Schichten glichen sich aus.

Trägt man die Trockenrückstandswerte für die vier Untersuchungen des Jahres 1918 graphisch auf, so erhält man die vier Kurven in Fig. 4. Werden diese Kurven übereinandergelegt, so zeigt es sich, dass sie sich mit der Zeit um einen Punkt auf Quote 1802 gedreht haben, derart, dass oberhalb dieser Quote die Werte mit der Zeit zu-, unterhalb dagegen abnehmen — also ein Ausgleich stattfindet.

Der gesamte Schwefelwasserstoffgehalt des Ritomsees.

Wie grosse Mengen H_2S im Ritomsee infolge der Absenkung verschwunden sind, zeigt am besten eine Schätzung der Gesamtmenge H_2S im See in seinem normalen Zustand. Wird das Volumen der H_2S -Schichten an Hand der Siegfriedkarte und ihr Gehalt an H_2S an Hand der vorliegenden Analysen berechnet, so erhält man folgende Werte:

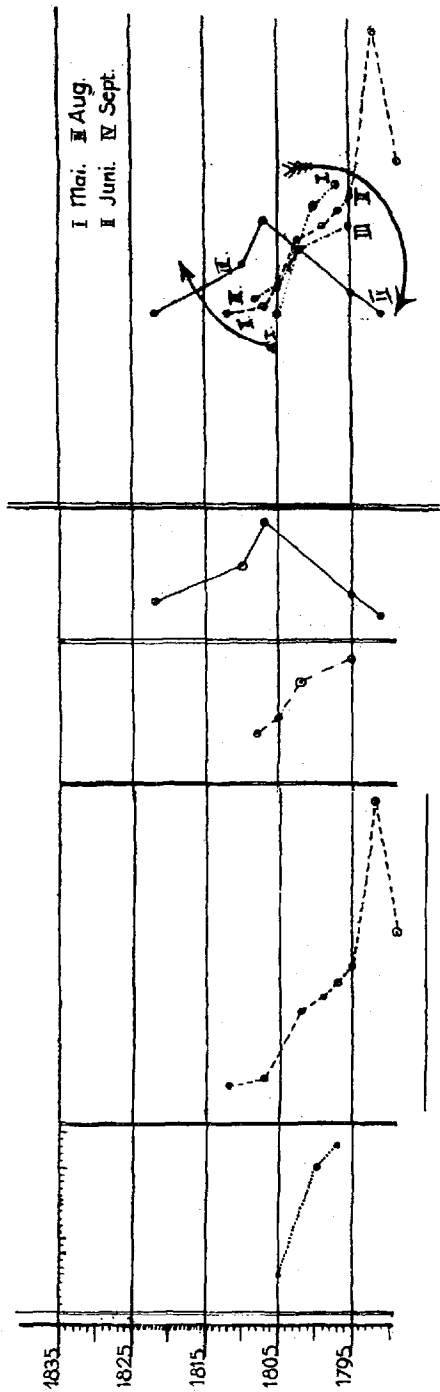


Fig. 4. Kurven des Gehaltes an Trockenrückstand 1918.

Tabelle VI.

Gesamt mengen H₂S im unveränderten Ritomsee.

m. ü. M	Querschnitt (Mittelwert) m ²	Höhe m	Volumen m ³	H ₂ S i. L (Mittelwert, mg)	H ₂ S i. m ³ kg	Ges.-H ₂ S kg
1818—1808	635 000	10	6 350 000	24,3	0,0243	154 305
1808—1798	490 000	10	4 900 000	29,5	0,0295	144 550
1798—1794	312 500	4	1 250 000	27,8	0,0278	34 750
1798—1794	Kegel, Q = 110 000	4	146 600	28,5	0,0285	4 178
1794—1784	„ „ = 230 000	10	766 600	23,8	0,0238	18 244
1818—1784			13 413 200			356 027

Diese unerwartet grossen Mengen H₂S lassen sich folgendermassen in Beziehung setzen zu bekannten Gesteinen:

1 CaSO₄ → 1 H₂S. Gips hat die Formel CaSO₄ · 2 H₂O, spez. Gewicht etwa 2,2. 356 027 kg H₂S entsprechen 1 802 800 kg Gips oder 819,5 m³ Gips.

Oder: 2 FeS₂ + 6 HOH = Fe(OH)₃ + 3 H₂S + S. Pyrit ist FeS₂, sein spezifisches Gewicht etwa 5,0. Dann entsprechen 356 027 kg H₂S 837 530 kg Pyrit oder 167,5 m³ Pyrit.

Der gesamte Sulfatgehalt der H₂S-Schichten des Ritomsees, als Gips ausgedrückt, lässt sich folgendermassen schätzen:

Maximaler Sulfatgehalt nach Bourcart 2960 mg CaSO₄ · 2 H₂O im L = 2,96 kg im m³. Nach unseren Erfahrungen (vide p. 59) besteht die Gleichung:

$$\frac{\text{H}_2\text{S im Punkt A}}{\text{H}_2\text{S im Punkt B}} = \frac{\text{SO}_3 \text{ im Punkt A.}}{\text{SO}_3 \text{ im Punkt B.}}$$

$$\frac{\text{H}_2\text{S im Punkt A}}{\text{H}_2\text{S im Punkt B}} = \frac{\text{SO}_3 \text{ im Punkt A.}}{\text{SO}_3 \text{ im Punkt B.}}$$

Auf unseren Fall angewendet, lautet die Gleichung:

$$\frac{\text{H}_2\text{S (Durchschnittswert)}}{\text{H}_2\text{S (Maximum)}} = \frac{\text{Gips (Durchschnittswert)}}{\text{Gips (Maximum)}}$$

$$\frac{\text{H}_2\text{S (Maximum)}}{\text{oder in Zahlen:}}$$

$$\frac{2,71}{3,01} = \frac{x}{2,96}$$

x = 2,66 kg CaSO₄ · 2 H₂O durchschnittlich im m³ Tiefenwasser des Ritomsees.

Der Sulfatgehalt der H₂S-freien Schichten betrug 102,9 mg CaSO₄ · 2 H₂O im Liter oder 0,103 kg im m³. Diese Sulfatmenge darf, als schon normalerweise im Wasser dieser Gegend enthalten, abgezogen werden von obigen 2,66 kg. Die verbleibenden 2,5 kg pro m³

sind also über das Normale hinausgehende Mengen und ihre Provenienz wäre zu erforschen. Der unerklärte Sulfatgehalt der gesamten H₂S-Schichten als Gips ausgedrückt beträgt demnach

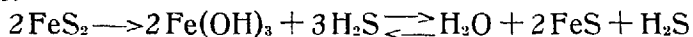
$$35\,679\,112 \text{ kg Gips} = 16\,217 \text{ m}^3 \text{ Gips.}$$

Es wäre sehr verlockend gewesen, den tieferen Ursachen der eigentümlichen Verhältnisse, die am Ritomsee angetroffen worden waren, nachzugehen und dieselben womöglich aufzuklären. Dies ist uns leider nicht restlos gelungen, immerhin können wir über einige Punkte weitere, begründete Aussagen machen. Es sind dies die folgenden: Woher stammt und wie entstand der H₂S, der in so grossen Mengen im See vorhanden gewesen ist? Auf welche Ursachen sind die hohen Trockenrückstandswerte des Tiefenwassers und die scharfe Trennung zweier Schichten zurückzuführen?

Betrachten wir zuerst die *mutmassliche Entstehungsweise des H₂S im Ritomsee*.

Der erste Schritt zu diesen Betrachtungen ist natürlich die Feststellung des Ausgangsmaterials, aus dem er entstehen konnte. Wir wissen, dass H₂S in der Natur überall da auftreten kann, wo Schwefel — sei es in elementarer oder gebundener Form — der Einwirkung reduzierender chemischer Prozesse ausgesetzt ist. Ein Blick auf die geologischen Verhältnisse des Ritomsees zeigt uns, dass hier als Schwefellieferanten in erster Linie CaSO₄ (in Lösung, sowie als Gips und als Anhydrid) in Frage kommt, daneben noch eventuell Sulfide von Eisen und Blei. Eine grosse Gipsschicht wird vom Seebecken angeschnitten, und im Quarzit tritt häufig Pyrit auf.

Es kommen also von den theoretisch möglichen Bildungsweisen für H₂S am Ritomsee wohl nur zwei in Betracht: aus Pyrit durch Einwirkung alkalischen Wassers, etwa nach dem Schema:



oder aus einer der Formen des CaSO₄ durch reduzierende Vorgänge.

Wir haben nun beobachtet, dass die H₂S-Bildung ziemlich gleichmässig vom ganzen Seegrund ausgeht. Sulfide des Eisens sind unlöslich, ferner sind Mineralien wie Pyrit, Bleiglanz etc. immer in anderen Gesteinen eingelagert als Adern, Gänge, Lager etc., also in ihrer Ausdehnung streng lokalisiert. Der lokalisiert auftretende Pyrit kommt daher als Ausgangsmaterial für die im Seegrund ubiquitäre H₂S-Bildung nicht in

Betracht, und auch andere Gründe rein chemischer Natur führen uns dazu, die Annahme der Entstehung des H_2S aus Pyrit oder ähnlichen Sulfiden durchaus abzulehnen.

Es kommt somit nur die Reduktion des $CaSO_4$ in Betracht. Da der Prozess im Seegrund lokalisiert ist, fragt es sich nun, welche Faktoren im Seegrund vorhanden sind, die diese Reduktion bewirken?

Die Zusammenarbeit chemischer und bakteriologischer Untersuchung hat uns in die Lage versetzt, die Entstehungsweise des H_2S im Ritomsee mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit angeben zu können:

Es gelang M. Düggeli,³⁰ aus Schlammproben des Seegrundes vom Jahre 1916 und später ein Bakterium, *Mikrospira desulfuricans*, zu isolieren, das die Fähigkeit besitzt, aus Sulfaten unter Entzug von Sauerstoff H_2S zu bilden.³¹ Die Kultur dieses Bakteriums ist diffizil und gelingt nicht immer. Es ist also höchst wahrscheinlich, dass dasselbe seit langer Zeit im Seeschlamm vorhanden ist und dessen Anwesenheit gibt uns eine zwanglose Erklärung des Auftretens von H_2S . Kommt doch dieser biologischen H_2S -Bildung durch *Mikrospira desulfuricans* überhaupt grosse Bedeutung zu, sie gilt als «die ergiebigste unter den natürlichen H_2S -Quellen biogener Natur».³¹

Demgegenüber wird die Annahme von Collet und Mellet, dass in dem humusartigen Seeboden die H_2S -Bildung durch Fäulnisprozesse und deren reduzierende Einwirkung auf Sulfat vor sich gehe, kaum mehr aufrecht zu halten sein. Der Ritomsee ist ein wenig verunreinigtes Gewässer, seine Zufuhr an organischen Substanzen, besonders Purinkörpern, ist gering, auch enthält das Wasser auch in den tieferen Schichten keinen Ammoniak, keine Nitrite und wenig Permanganat verbrauchende Substanzen, was nicht der Fall sein könnte, wenn Fäulnisprozesse grösseren Stiles im Seegrund vor sich gingen.

Nimmt man an, es habe einmal im Seegrund infolge einer starken Flora von *Mikrospira desulfuricans* H_2S -Bildung eingesetzt, so spielten sich nun folgende Vorgänge ab:

³⁰ Vgl. die Publikation von M. Düggeli über die bakteriologischen Untersuchungen am Ritomsee.

³¹ Vgl. M. Düggeli, Die Schwefelbakterien, Neujahrsblatt d. Naturf. Ges. in Zürich auf das Jahr 1919.

Damit sind wir am Ende unserer Ausführungen über die chemischen Verhältnisse des Rítomsees. Unsere Arbeit umfasst folgende Punkte:

1. Es wurde der Chemismus des Rítomsees in seinem normalen Zustand an Hand der Literatur und eigener Analysen beschrieben.

2. Die von verschiedenen Forschern zur Feststellung dieses Zustandes benutzten Arbeitsmethoden wurden beschrieben und kritisch beleuchtet, insbesondere in der Absicht, die Vergleichszulässigkeit zwischen verschiedenen Analysenangaben klarzulegen.

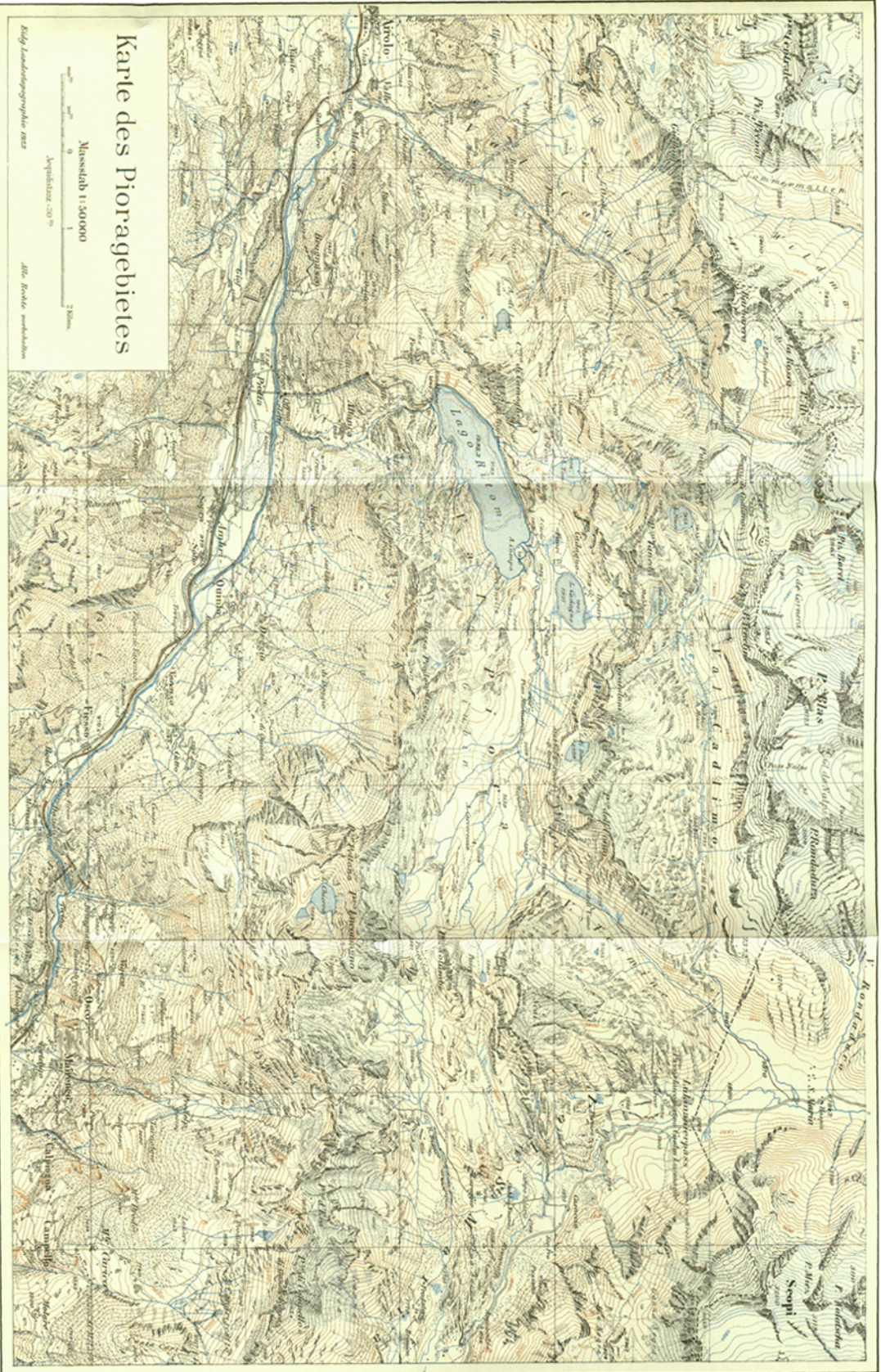
3. Es wurden die im See infolge der wiederholten Absenkungen erfolgten Veränderungen während den Jahren 1917 bis 1921 studiert, wobei sich ergab, dass Schwefelwasserstoff verschwand, der Trockenrückstandsgehalt sich ausglich, der Sauerstoffgehalt bis auf ein Defizit in den tiefsten Schichten normal wurde. Es bestand jedoch 1921 immer noch eine Sauerstoffzehrung, wahrscheinlich durch andauernde Schwefelwasserstoffbildung bedingt, infolgedessen ist es wahrscheinlich, dass, wenn der See längere Zeit in Ruhe bliebe (nicht abgesenkt würde), freier Schwefelwasserstoff wieder auftreten würde. Dagegen ist eine Hauptbedingung für dessen Anreicherung, die Existenz einer von Konvektionsströmen unberührten Schicht stagnierenden, hochmineralisierten Tiefenwassers, nicht mehr vorhanden

4. Die Verarbeitung des Analysenmaterials führte

a) zu genauer Einsicht in die Art und Weise, in der die Absenkung auf Schwefelwasserstoff-, Sauerstoff-, Trockenrückstands- und Sulfatgehalt des Sees wirkten,

b) in Verbindung mit den bakteriologischen Arbeiten zur Feststellung der Ursache der Schwefelwasserstoffbildung, welche letztere ihrerseits die starke Sauerstoffzehrung bedingte.





Karte des Pioragebietes

Maßstab 1:50000

Äquidistanz 20 m

Blg. Landvermessungsamt 1882