

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern
Band: 6 (1949)

Artikel: Der Burgäschisee
Autor: Büren, G. von
Kapitel: Physiographische Verhältnisse
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-319443>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 24.02.2026

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

an dieser Stelle herzlichst gedankt. Die gemeinsamen Arbeitsstunden in einer schönen und friedlichen Natur haben uns viel geistige Erholung und ein glückliches Vergessen in einer sorgenschweren Zeit gebracht. Auch den weiteren Personen, die mich bei meinen Untersuchungen gefördert haben, sage ich meinen besten Dank, ebenfalls meiner lieben Frau, die die Reinschrift des Manuskriptes in sorgfältigster Weise besorgte.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, hier auch dem Stiftungsrat der „Stiftung zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung an der Bernischen Hochschule“ bestens für den finanziellen Beitrag zu danken, den er mir zur Durchführung dieser Untersuchung zugesprochen hat.

Physiographische Verhältnisse

Lage, Morphologie und Genesis des Burgäschisees

(vergleiche hierzu Blatt Nr. 126, Aeschi, des topographischen Atlases der Schweiz (Siegfriedblätter) 1 : 25 000).

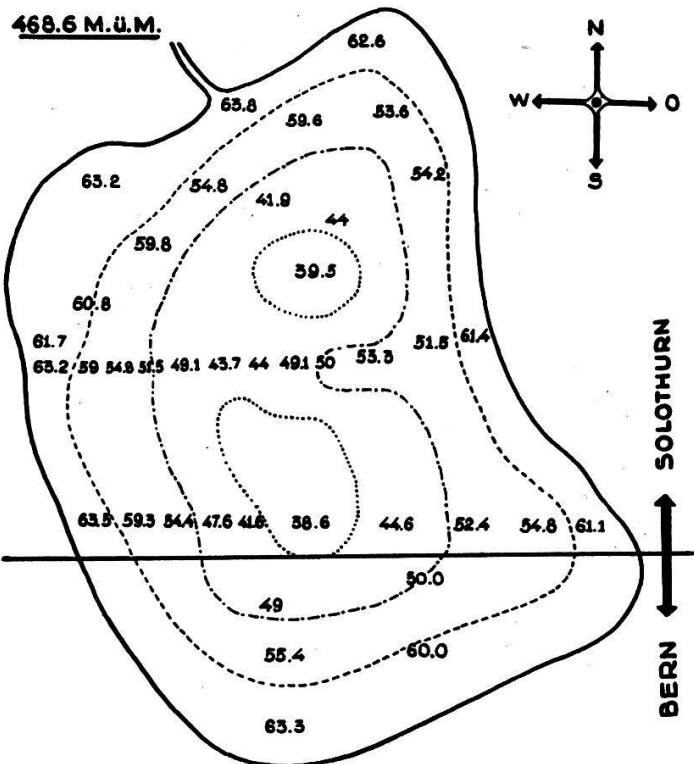
Der Burgäschisee,¹ zirka 3,5 km südwestlich von Herzogenbuche, liegt unter $47^{\circ} 10' 10''$ nördlicher Breite und $5^{\circ} 20'$ östlicher Länge von Paris, in einer Meereshöhe von 466,45 m nH, beim Weiler Burgäsch. Das Seebecken hat eine ausserordentlich regelmässige Form, mit einer grössten Länge von 603 m und einer grössten Breite von 385 m.

Bezüglich der Tiefenverhältnisse gliedert sich der Burgäschisee in zwei Becken, ein nördliches 29,1 m tiefes und ein südliches 32,0 m tiefes Becken. Die tiefsten Stellen dieser Becken liegen ziemlich genau auf der Linie, welche die beiden entferntesten Punkte auf der Längsachse des Sees verbindet. Siehe Lotungsplan Seite 3. Die im Verhältnis zur geringen Oberfläche relativ bedeutende Tiefe, sowie die steilen Uferböschungen (im Mittel $12,8^{\circ}$) sind für diesen See charakteristisch.

In den beifolgenden Tabellen sind alle wichtigen morphometrischen Werte, die den Burgäschisee betreffen, zusammengestellt. Sie sind von der eidgenössischen Landestopographie zu meinen Händen überarbeitet worden, wofür wir der Direktion dieser Anstalt hier bestens danken.

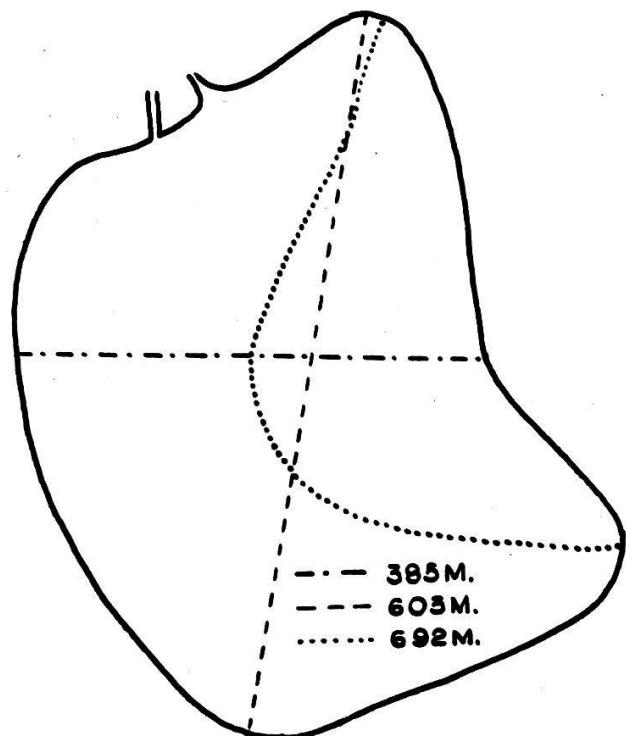
¹ Im Volksmund hat der See noch seinen ursprünglichen Namen „Burgsee“ (nach der heute verschwundenen Burg) behalten.

BURGÄSCHI-SEE



Lotungsplan des Burgäschisees

Reproduktion nach dem Original, das sich im Archiv der eidg. Landestopographie befindet.



Meereshöhe vor der Absenkung (a. H.)	.	.	.	468,6 m
Meereshöhe nach der Absenkung (a. H.)	.	.	.	466,6 m*
Oberfläche nach der Absenkung	.	.	.	191 600 m ²
Grösste Tiefe nördliches Becken	.	.	.	29,1 m
Grösste Tiefe südliches Becken	.	.	.	32,0 m
Mittlere Tiefe im längsten Profil	.	.	.	18,2 m
Mittlere Tiefe Volumen: Oberfläche	.	.	.	12,9 m
Grösste Länge aus Mittellinie	.	.	.	692 m
Grösste Länge gradlinig	.	.	.	603 m
Grösste Breite quer zur Mittellinie	.	.	.	385 m
Mittlere Breite, Oberfläche: Länge	.	.	.	(692) 277 m
Mittlere Breite, Oberfläche: Länge	.	.	.	(603) 318 m
Uferumfang	.	.	.	1 715 m
Uferentwicklung	.	.	.	1,1
Gesamtvolumen	.	.	.	2 482 500 m ³
Anzahl Lotungen (Jahr unbekannt)	.	.	.	40

siehe Rau Seite 2

See- tiefe m	Meeres- höhe m	Isobathen- flächen m ²	Tiefen- differenz m	Volumen in m ³		%
				Teil- volumen	Total- volumen	
0	466,6	191 650	2,5	455 500	—	18,4 —
2,5	464,1	172 800	2,5	406 400	861 900	16,4 34,8
5,0	461,6	151 700	2,5	351 000	1212 900	14,1 48,9
7,5	459,1	129 150	2,5	303 000	1515 900	12,2 61,1
10,0	456,6	113 200	2,5	262 300	1778 200	10,5 71,6
12,5	454,1	96 550	2,5	218 500	1996 700	8,8 80,4
15,0	451,6	78 250	2,5	170 500	2167 200	6,8 87,2
17,5	449,1	58 100	2,5	128 100	2295 300	5,1 92,3
20,0	446,6	44 400	2,5	93 500	2388 800	3,7 96,0
22,5	444,1	30 400	2,5	59 400	2448 200	2,4 98,4
25,0	441,6	*10.850	2,5	27 100	2475 300	1,1 99,5
27,5	439,1	*3 300	2,5	6 300	2481 600	0,3 99,8
30,0	436,6	960	—	900	2482 500	0,0
32,0	434,6	—	2,0			

* 464,25 m bezogen auf den neuen Horizont, n. H., Pierre du Niton = 373,60 m, nach einer Bestimmung von Geometer G. Wenger in Herzogenbuchsee.

* betrifft das südliche Seebecken.

† betrifft das nördliche Seebecken.

Die geomorphologischen und geologischen Verhältnisse des in Frage stehenden Gebietes sind von Baumberger (3) und Nussbaum (20) sehr eingehend behandelt worden. In diesen Arbeiten findet sich auch die weitere einschlägige Literatur.

Der Burgäschisee, wie auch der Inkwilersee, der in einer späteren Arbeit zu behandeln sein wird, liegt innerhalb der randlichen und frontalen Moränenwälle, die der Rhonegletscher zur Zeit seines höchsten Eisstandes (Würm-Eiszeit) aufgeschüttet hat. Das Relief dieses alten Gletscherbodens ist durch drei in west-östlicher Richtung streichende Talzüge gekennzeichnet, die von Norden nach Süden stufenförmig übereinander gelagert sind und durch flache, mit Moränen überdeckte Molasserücken getrennt werden: Das Aaretal in 420 m Höhe bei Wangen, das Tal von Subigen-Inkwil in 465 m Höhe am Inkwilersee und ferner, im südlichsten Teil des Gebietes, das Tal mit dem Burgäschisee, in seinem Niveau von 470 m. Im Westen werden die beiden letztgenannten Talzüge durch die breite Schotterebene der Emme abgeschnitten. Diese Verhältnisse sind aus der geologischen Kartenskizze bei Nussbaum (20), p. 162, gut ersichtlich, während die Orographie des in Frage stehenden Gebietes auf der Spezialkarte des Jura, Blatt IV, 1 : 50 000 (herausgegeben vom Schweiz. Juraverein), besonders gut zum Ausdruck kommt.

Die örtlichen Verhältnisse weisen darauf hin, dass beim Rückzug des Gletschers jeder dieser Talzüge während relativ langer Zeit von einem Gletscherlappen eingenommen war. Während dieser Rückzugsphase mögen die beiden in Frage stehenden Seen, der Burgäschisee und der Inkwilersee, in den entsprechenden Tälern entstanden sein.

Bei ihrer Bildung war, neben der Ausschürfung durch das Eis, die Stauung des Schmelzwassers durch die Endmoräne der hauptsächlich wirkende Faktor. Auf jeden Fall ist die Mächtigkeit der Burgäschimoräne eine ganz bedeutende.

Sicher dürfte bei der Entstehung der kleinen Mittellandseen, insbesondere aber beim Burgäschisee, dem sogenannten Toteis eine gewisse Rolle zukommen, wenn auch das Ausmass und die Auswirkung dieses Faktors sich kaum je wird feststellen lassen.

Die Wirkung des Toteises hat man sich etwa folgendermassen vorzustellen: Zur Zeit des Gletscherrückzuges trennten sich zu-

weilen riesige Eisblöcke oder Eismassen vom Gletscherkörper ab, die in der Folgezeit durch Schmelzwasser von Schotter und Moränenmaterial um- und zum Teil auch überschüttet wurden. Diese toten Eismassen blieben oft lange erhalten, um nach ihrem endgültigen Abschmelzen entsprechende Mulden und Hohlformen zu hinterlassen, die sich mit Wasser füllten. Die Bedeutung, welche dem „Toteis“ bei der Entstehung der Moränenseen zukommt, ist in den interessanten Arbeiten von Wolff (36) und von Woldstedt (35) einlässlich erörtert.

In morphogenetischer Hinsicht sind somit der Burgäschisee und der Inkwilersee nach der Definition von O. Frey (11, p. 495/496) den sogenannten Moränenwannen zuzurechnen.

Seit ihrer Entstehung haben die beiden Seen durch die fortschreitende Verlandung wesentlich an Umfang eingebüsst, was aus den mächtigen Seekreideablagerungen unter den sie umgebenden Mooren hervorgeht.

Besitzesverhältnisse (von Fr. Gygax bearbeitet)

Der Burgäschisee² hat eine Gesamtfläche von 2244 a. Davon entfallen 640 a auf den Kanton Bern und 1604 a auf den Kanton Solothurn. Durch die im Jahre 1943 vorgenommene Absenkung ist die Seefläche allerdings auf 1916 a zurückgegangen. Das entstandene Neuland von 328 a ist ausgemacht und gehört rechtlich zum Wasser. So ergibt sich die merkwürdige Tatsache, dass die meisten Landeigentümer, welche vor der Absenkung Seeanstösser waren, dies heute nicht mehr sind, weil der Neulandgürtel den Besitzern der Wasserfläche gehört.

² In einem Bericht vom Januar 1927 über das Fischereirecht im Burgäschisee schreibt der Staatsarchivar des Kantons Bern: „Eine sorgfältige Ausmessung und Bezeichnung der Landmarche zwischen den Kantonen Bern und Solothurn fand in den Sechzigerjahren des 18. Jahrhunderts statt und wurde 1771/72 von den beidseitigen Staatsbehörden genehmigt. Diese Urkunde bildet noch immer die Grundlage für die heutigen Verhältnisse. Aus dem erwähnten Landmarchbrief von 1771/72 erfahren wir, dass Stein Nr. 276 auf dem Seeberg-Moos unweit des Burgsees stehe, und dass von da die Marche östlich über den Burgsee 1862 Schuh weit an den Stein Nr. 277 unten am Seeknubel gehe.“ Als Seeknubel bezeichnet man die mächtige Moräne im Südosten des Sees. Hier gewinnt man heute noch Kies.

Der See ist kein öffentliches Gewässer. Eigentümerin des bernischen Teils ist die Ortsgemeinde Seeberg, Grundbuch des Amtes Wangen, Parzelle Nr. 1486. Für den solothurnischen Seeanteil von 1604 a ist zunächst im Grundbuch des Wasseramtes das Gesamtblatt Nr. 89 vorhanden. Die ganze Fläche Nr. 89 wurde in der Folge in 11 ungleich grosse Parzellen aufgeteilt und mit Nr. 90 bis 100 bezeichnet. Jeder dieser 11 Teile hat ein eigenes Grundbuchblatt. Aus uns unbekannten Gründen wurde als Teiler die Zahl 144 gewählt.

Also:	Parzelle	Nr.	90	$12/144 =$	133,67 a
	"	"	91	$12/144 =$	133,67 a
	"	"	92	$12/144 =$	133,67 a
	"	"	93	$6/144 =$	66,84 a
	"	"	94	$6/144 =$	66,84 a
	"	"	95	$30/144 =$	334,17 a
	"	"	96	$17/144 =$	189,36 a
	"	"	97	$17/144 =$	189,36 a
	"	"	98	$16/144 =$	178,20 a
	"	"	99	$8/144 =$	89,10 a
	"	"	100	$8/144 =$	89,10 a
				<hr/>	
				$144/144 =$	1 603,98 a

Neun von elf Parzellen wurden im Laufe der Zeit durch Verkauf, Erbgang oder Schenkung weiter zerstückelt. Unverteilt blieben nur die Nr. 93 und 94. Der Seeanteil Nr. 97 hat z. B. einen Halt von 189,36 a, das sind 11,805 % der gesamten solothurnischen Seefläche. Die 189,36 a verteilen sich auf die heutigen Besitzer A, B, C, D wie folgt:

A	5/32	oder	29,59 a	das sind	1,844 %	der solothurnischen Seefläche.
B	3/8	"	71,01 a	"	4,427 %	"
C	3/8	"	71,01 a	"	4,427 %	"
D	3/32	"	17,75 a	"	1,107 %	"
	<hr/>		<hr/>		<hr/>	
	32/32	"	189,36 a	"	11,805 %	"

Ein Seeanteil wird als Seerecht bezeichnet, denn die Parzelle ist ja nur im Katasterplan eingezeichnet, auf dem Wasser jedoch nicht ausgemarct. Die solothurnische Seefläche verteilt sich heute auf 34 Besitzer.

In einem Gutachten, das Herr Dr. jur. M. Bro si, Fürsprecher und Notar, Solothurn, 1931 im Auftrag der Abteilung Vogelschutz des Ornithologischen Vereins Herzogenbuchsee und Umgebung über die Eigentumsverhältnisse der solothurnischen Seefläche verfasste, lesen wir wörtlich: „Die Frage des Eigentumsverhältnisses gehört zweifellos zu den interessantesten. Ich muss vorausschicken, dass eine grundbuchrechtliche Behandlung, wie sie beim Burgäschisee vorliegt, sonst meines Wissens nicht zu finden ist und es sich hier um eine Sonderstellung handelt.“

Wasserhaushalt des Sees

Das Einzugsgebiet des Burgäschisees hat eine Fläche von 3,19 Quadratkilometer³ und ist somit um ein Vielfaches grösser als die Seeoberfläche. Die Speisung des Sees erfolgte früher, vor der Melioration, die in den Jahren 1942/43 ausgeführt wurde, durch zahlreiche Bäche und Gräben, welche namentlich auf der südlichen und westlichen Seite aus den Mösern dem See zuflossen. Heute sind es im wesentlichen vier Dränagekanäle, deren Sole an der Seemündung zirka 1 m unter der umgebenden Terrainoberfläche liegen.

Der Abfluss des Burgäschisees wird durch den sogenannten Seebach gebildet, der den See am Nordufer verlässt. Dieser Bach fliesst dann in einem zirka 3 km langen Lauf, in vorherrschend nordöstlicher Richtung über das Burghölzli gegen Fluhacker, wo er in ein System von Gräben mündet, das der Bewässerung der Wiesen in der Gegend von Niederönz dient. Der früher natürliche Bach, dessen Ufer von Erlen und Weiden umsäumt waren, und der in anmutigen Windungen zu Tale floss, ist heute in seinem oberen Teil in ein gerades, zwischen steilen Böschungen eingefasstes Rinnal verwandelt.

In seinem Mittellauf ist der Bach in Röhren verlegt, wodurch die kleine, schluchtartige Partie am Nordwest-Rand des Burghölzli stark in ihrer landschaftlichen Schönheit beeinträchtigt wird.

Im April 1943, als ich meine regelmässigen Untersuchungen begann, befand sich der See in überstautem Zustand, da wegen der Bauarbeiten am neuen Abzugskanal der Abfluss zeitweise fast vollständig gesperrt war. Die eigentliche Seespiegel-Absenkung begann am 15 Mai 1943.

³ Wir verdanken diese Angabe dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft.

Wir geben hier unsere Beobachtungen über die einzelnen Etappen dieses Vorganges wieder.

Vom 15. Mai 1943 bis zum 19. Mai sank der Seespiegel 17,5 cm

" 19.	"	"	"	30.	"	"	"	47,8	"
" 30.	"	"	"	5. Juni	"	"	"	35,8	"
" 5. Juni	"	"	"	11.	"	"	"	8,0	"
" 11.	"	"	"	19.	"	"	"	7,0	"
" 19.	"	"	"	10. Juli	"	"	"	73,0	"
" 10. Juli	"	"	"	19.	"	"	"	30,0	"
									219,1 cm

Die im Meliorationsprojekt vorgesehene Erniedrigung des Seespiegelniveaus vom Burgäschisee ist also im Zeitraum von zirka 56 Tagen zur Durchführung gelangt.

Was nun die Seespiegelschwankungen seit der Durchführung der Entsumpfungsarbeiten betrifft, so haben unsere Beobachtungen gezeigt, dass sie, abgesehen von Zufälligkeiten, recht gering sind. Im Jahre 1944, nachdem sich die neuen Verhältnisse etwas stabilisiert hatten, hat die Amplitude zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wasserstand 29,5 cm nicht überschritten. Im Jahr 1945 erreichte die Amplitude 31,5 cm. In der letzteren Ziffer ist eine ganz vorübergehende Aufstauung des Seespiegels im März 1945 allerdings nicht eingerechnet, die notwendig geworden war, um eine Dammrutschung auszubessern, die sich im November 1944 kurz oberhalb der Stelle, wo der Bach in die Rohrleitung mündet, ereignet hatte. Die gegenwärtigen Seespiegelschwankungen sind in ökologisch-biologischer Hinsicht durchaus belanglos.⁴

Anmerkung während der Niederschrift.

Während der lang anhaltenden Trockenheit und Dürre des Sommers 1947 erreichte der Seespiegel des Burgäschisees einen ausserordentlichen Tiefstand, indem er um zirka 40 cm unter den Normalstand fiel. Die in den See mündenden Wassergräben trockneten beinahe ganz aus, und der Seeausfluss versiegte sogar vollständig.

Dagegen musste bei einem solchen Ausmass der Tieferlegung des Seespiegels von vornherein erwartet werden, dass sie sich auf

⁴ Ueber die mutmasslichen prähistorischen Schwankungen des Seespiegels siehe die Pollenanalytisch-stratigraphische Untersuchung am Burgäschisee von Weltén (34) speziell auch die Fig. 7 in dieser Publikation.

das Ufergelände und damit auch auf seine reiche Flora und Fauna ganz nachteilig auswirken würde. Das war denn leider auch in hohem Masse der Fall, wir werden im Kapitel über die Vegetation auf diese Angelegenheit zurückkommen. Immerhin möchte ich schon hier feststellen, dass die durch solche Eingriffe hervorgerufenen Schäden meist irreparabel sind, wenn auch die Natur ein erstaunlich grosses Anpassungs- und Regenartionsvermögen hat. Im Landschaftsbild gesehen sind oft die unmittelbaren Schäden solcher Eingriffe bald „vernarbt“, was dem Nichtsachkundigen vortäuscht, es sei alles gut überstanden und wieder in bester Ordnung. In Wirklichkeit sind aber die oekologischen Verhältnisse vollständig veränderte, unter deren Einfluss Floren- und Faunenbestandteile, die für die früheren Zustände charakteristisch waren, verschwunden. Nicht alle Arten reagieren gleich auf veränderte Umweltbedingungen. Es gibt solche, die sofort oder doch nach kurzer Zeit zugrunde gehen, während andere, und sie sind vielleicht die zahlreicheren, sich noch jahrelang, aber immer kümmerlicher werdend, halten, sozusagen vegetieren, bis auch sie schliesslich erlöschen. Unter diesen Gesichtspunkten hat auch die Beurteilung der Auswirkung der Seespiegelabsenkung auf die Umgebung des Burgäschisees zu geschehen.

Sichttiefe und Farbe des Seewassers

Da der Burgäschisee nicht von einem grösseren Bach durchflossen wird, also kein eigentlicher Durchfluss-See ist, so spielen dementsprechend die mineralischen Suspensionen hinsichtlich der Beeinflussung der Durchsichtigkeit des Seewassers nur eine äusserst geringe Rolle. Die Sichttiefe ist ganz vorherrschend planktogen bedingt, z. T. auch die Wasserfarbe.

Die in der Zahlentabelle eingetragenen Werte sind mit der Seccischeibe ermittelt worden. Von je sechs Beobachtungen bei einer Sichttiefenbestimmung, an der sich meist zwei Personen beteiligten, ist der Mittelwert eingetragen. Ausdrücklich sei gesagt, dass auch hier, wie in meinen früheren Untersuchungen, als äusserste Grenze der Sichtbarkeit jener Punkt angenommen wurde, in welchem der Scheibenrand noch deutlich sichtbar ist.

Sichttiefen im Burgäschisee

	1943		1944		1945
	m		m		m
		6. Januar	4,50	—. Januar	—
		—. Februar	—	—. Februar	—
13. April	2,10	26. März	2,10	11. März	2,40
15. Mai	6,10	22. April	1,40	14. April	1,00
5. Juni	6,25	20. Mai	3,45	12. Mai	2,60
19. Juni	4,00	18. Juni	1,25	9. Juni	3,50
19. Juli	3,90	25. Juli	1,35	17. Juli	0,95*
13. August	2,20	24. August	1,00	22. August	1,75
11. September	4,00	21. September	3,20	27. September	1,85
17. Oktober	2,85	15. Oktober	5,20	21. Oktober	3,25
21. November	3,75	22. November	4,00	25. November	3,55
15. Dezember	6,00	17. Dezember	2,40	31. Dezember	3,30

Zusammenfassung der Beobachtungsserien.

1943

Minimum 2,10 m im April

Mittelwert 4,11 m

Maximum 6,25 m im Juni

1944

Minimum 1,00 m im August

Mittelwert 2,71 m

Maximum 5,20 m im Oktober

1945

Minimum 0,95 m im Juli⁵

Mittelwert 2,68 m

Maximum 3,55 m im Juni

Aus dieser Zusammenfassung der Gesamtbeobachtungen lässt sich keine Gesetzmässigkeit hinsichtlich des Auftretens der grössten und der geringsten Sichttiefe ableiten, wir müssen uns damit begnügen festzustellen, dass sie im allgemeinen gering ist und nur selten 4 m wesentlich übersteigen dürfte.

Es wird auffallen, dass im ersten Beobachtungsjahr 1943 die Durchsichtigkeit eine wesentlich grössere war, als in den beiden folgenden Jahren. Dies wird jedoch verständlich, wenn man be-

* *Microcystis*-Hochproduktion.

⁵ *Microcystis* Hochproduktion.

denkt, dass durch die Seeabsenkung die obersten Wasserschichten, in welchen die intensivste Planktonproduktion stattfindet, samt ihrem Inhalt sukzessive abgebaut wurden. Die bedeutend grössere Wasserdurchsichtigkeit des Sees während seiner Spiegelabsenkung beweist nur, wie sehr diese von der Intensität der Planktonproduktion abhängig ist.

Vergleichen wir jetzt den Burgäschisee hinsichtlich seiner Sichttiefe mit jenen der anderen kleinen Mittellandseen, ohne die Messungen des ersten Beobachtungsjahres hier mit auszuwerten, so ergibt sich folgende Zusammenstellung:

	Maximum	Minimum	Mittel
Burgäschisee	5,20	0,95	2,70
Moosseedorfsee	2,70	0,40	1,34
Amsoldingersee	5,40	1,25	
Gerzensee	3,25	0,40	

Erwähnen wir beiläufig noch, um die extremen Verhältnisse zu beleuchten, die zwischen einem oligotrophen Klarwassersee und einem eutrophen Gewässer bestehen, dass ich im Jahre 1944 im Genfersee vergleichsweise maximale Sichttiefen

von 17 m am 21. Januar

von 18,5 m am 27. Februar

und von 16 m am 29. März

erheben konnte. Am 7. Mai war die Sichttiefe auf 6,50 m gefallen. Im Genfersee sind indessen die Trübungen nicht planktогener Natur, sondern sie sind durch mineralische Suspensionen verursacht, die dem See durch die Rhone, insbesondere während der Schneeschmelze, zugeführt werden. Selbst bei intensivster Trübung sah ich im Genfersee die Sichttiefe nie unter 4,50 m fallen, und dann auch nur sehr vorübergehend. Auch in den sehr seltenen Fällen, wo einmal im Genfersee eine „Wasserblüte“⁶ auftritt, „floraison du lac“ (Forel) oder auch „poussière d'eau“ (Chodat), bleibt die Durchsichtigkeit immer noch eine recht grosse. In der dritten Augustdekade 1941 trat z. B. im Genfersee eine solche Wasserblüte auf, die durch *Anabaena flos aquae* verursacht war. Im petit lac war die Erscheinung so intensiv, dass in der Uferzone

⁶ Wasserblüte = aus dem Plankton in das Oberflächenhäutchen aufsteigende Organismen, hauptsächlich Cyanophyceen, im Gegensatz zur Seeblüte, fleur du lac = gelbe Fladen, die durch windverwehten Blütenstaub der Waldbäume verursacht werden „Anemopleuston“.

rahmartige Massen dieser Cyanophyceen angespült wurden. Vor Versoix beobachtete ich sogar im Pelagial wolkenartige Ansammlungen dieser Organismen unter und an der Wasseroberfläche, nichtsdestoweniger stellte ich damals (25. August 1941) eine Sichttiefe von 9,20 m fest.

Die Wasserfarbe des Burgäschisees, in der halben Sichttiefe über der weissen Seccischeibe beurteilt, ist meist gelblichbraun, punschfarbig. Zuweilen wird diese Färbung durch das intensive Auftreten gewisser Phytoplankter etwas nach grün hin verschoben. Die gelbbraune Färbung des Wassers wird hauptsächlich durch im Wasser gelöste Humusstoffe verursacht, die dem See aus den umgebenden Moorgebieten zugetragen werden.

Zur besseren Erfassung der Eigenfarbe des Seewassers bediente ich mich der von Ohle (21) angegebenen kolorimetrischen Methode⁷, vermittelst welcher auch ein Vergleich mit anderen Gewässern ermöglicht wird.

Für den Burgäschisee fanden wir für Wasserproben

von der Oberfläche	5 — 9 ⁸
aus 15 m Tiefe	7 — 10
aus 32 m Tiefe über dem Seegrund	7,5—12

Zur Zeit der Homothermie beträgt der ausgeglichene Methylorange-Wert 8—9. Die Werte über 10 wurden nur vorübergehend in der Seetiefe am Ende der Sommerstagnation erreicht. Die Methyloangewerte sind durchwegs etwas niedriger als im Moosseedorfsee.

Der Burgäschisee reiht sich hinsichtlich der Wasserfarbe vollständig in die Gruppe der eutrophen Seen.

In diesem Zusammenhang sei noch darauf hingewiesen, dass die im Wasser gelösten Gelbstoffe auf die Durchsichtigkeit keinen sehr wesentlichen Einfluss ausüben. Intensiv gelb-braun gefärbte Gewässer können mitunter eine erstaunlich hohe Durchsichtigkeit besitzen. Dagegen wissen wir, durch Messungen vermittelst photoelektrischer Apparate (Sauberer)⁹, dass die im Wasser gelösten Gelbstoffe stark absorbierend auf die ins Wasser eindringenden

⁷ Methode vgl. bei Ohle (21).

⁸ 5 bedeutet z. B., dass die Eigenfärbung des Seewassers der Farbenintensität einer Standartlösung entspricht, die $5/100$ mg pro Liter Methylorange gelöst enthält.

⁹ Internat. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr. 39 1938.

Lichtstrahlen wirken, insbesondere macht sich dies im kurzweligen Bereich des Spektrums bemerkbar.

Wollen wir nun auf Grund dieser Feststellungen und Durchsichtigmessungen das Lichtklima des Burgäschisees beurteilen, so können wir sagen, dass in 5—6 m Tiefe gerade noch eine genügende Lichtintensität herrscht, um einen normalen Verlauf der Assimilation zu gewährleisten, während dagegen das in 8 m Tiefe kaum mehr der Fall sein dürfte, worauf übrigens die Tiefenlage der Temperatursprungschicht, sowie auch die Sauerstoffverhältnisse hinweisen.

Thermik

Da die Temperatur zweifellos derjenige Faktor ist, der den gesamten Stoffhaushalt, und damit auch alle sich im See abspielenden Lebensvorgänge beherrscht, so war ich auch hier wiederum darauf bedacht, den Gang der Temperaturen des Seewassers im Jahresverlauf möglichst lückenlos zu erfassen, wie aus den folgenden Zahlen- und Kurventabellen hervorgeht.

Die Temperaturlotungen sind mit dem Friedinger'schen Kippthermometer in der üblichen Weise über der tiefsten Seestelle ausgeführt worden. Zur Zeit der ausgesprochenen Temperaturschichtung (Sommerstagnation und herbstliche Teilzirkulation) habe ich die Temperaturen im Tiefenraum von 0—10 m von Meter zu Meter gelotet. Im Tiefenraum zwischen 10 und 32 m legten wir die Lotabstände so, dass sie eine richtige Uebersicht des jeweiligen Temperaturzustandes gewährleisteten.

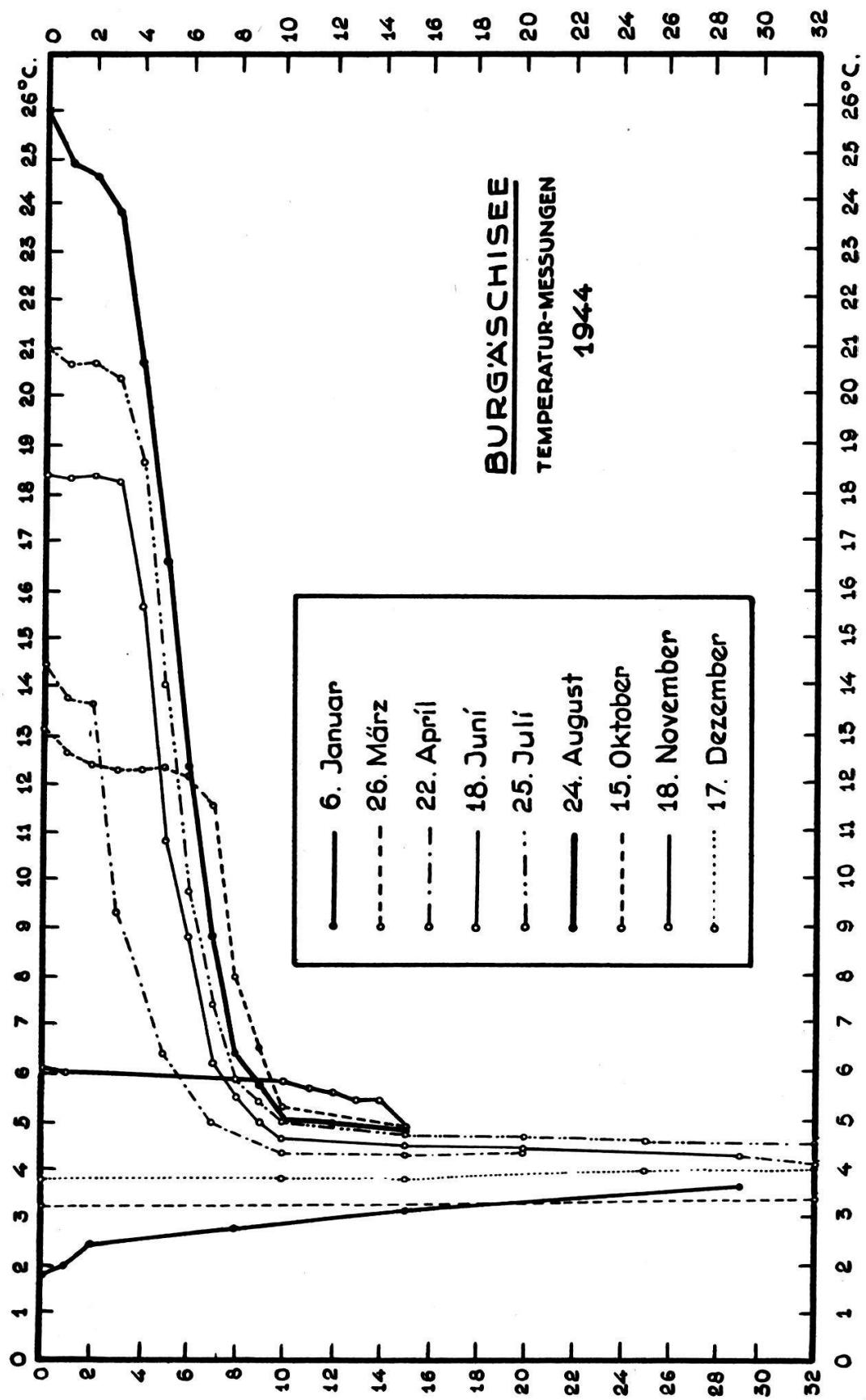
Im Burgäschisee haben wir zirka 380 Temperaturlotungen ausgeführt, wobei diejenigen, die zur Erfassung der Thermokline innerhalb der Temperatursprungschicht notwendig waren, nicht eingerechnet sind.

Ich glaube, auf die nähere Beschreibung der einzelnen thermischen Phasen; die der See im Laufe eines Jahres durchläuft, verzichten zu können, um so mehr, als das in meiner Arbeit über den Moosseedorfsee bereits einlässlich geschehen ist.

Nur sei darauf hingewiesen, dass entsprechend der Tatsache, dass sich die Wassertemperatur am Seegrund nur wenig über 4°C erhebt, die Homothermie am Ende der herbstlichen Vollzirkulation im Dezember mit der Gefrierbereitschaft des Sees zusammenfällt.

Temperaturmessungen im Burgäschisee aus dem Jahre 1943

Meter Tiefe	13. April	15. Mai	19. Juni	19. Juli	13. Aug.	11. Sept.	17. Okt.	21. Nov.	15. Dez.
0	10,2	19,6	18,0	24,2	23,6	22,0	14,2	5,8	3,6
1	9,6	19,0	17,2	23,2	22,5	20,8	13,8	5,5	—
2,5	8,8	14,2	17,2	22,0	22,3	20,4	13,8	—	—
3	—	—	16,6	18,0	22,1	20,0	—	—	—
4	—	12,0	15,4	14,2	19,6	19,2	13,8	—	—
5	7,0	9,0	10,8	10,4	12,6	15,3	13,8	5,5	3,6
6	—	—	9,2	—	—	11,3	13,6	—	—
7	—	—	—	7,8	—	8,8	10,2	—	—
8	6,8	7,0	7,6	—	7,3	7,2	8,4	—	—
9	—	—	6,6	6,4	—	6,4	6,6	—	—
10	5,9	6,2	6,2	5,6	6,7	5,8	6,0	5,5	3,6
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	—	—	5,4	5,3	—	—
13	—	5,2	—	—	5,0	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	4,6	4,8	5,0	4,8	4,8	5,0	5,0	5,5	3,6
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	4,4	4,4	4,6	4,6	4,6	4,8	5,0	5,4	3,6
21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	4,4	4,4	4,5	4,6	4,6	4,8	4,9	5,2	3,6
26	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	4,4	4,4	4,6	4,6	—	—	—	—
31	—	—	—	—	—	4,8	—	—	—
32	—	—	—	—	—	—	—	4,9	3,9
33	—	—	4,4	—	—	—	4,8	—	—
34	4,2	4,4	—	—	—	—	—	—	—



Temperaturmessungen im Burgäschisee aus dem Jahre 1945

Meter Tiefe	11. März	14. April	12. Mai	9. Juni	17. Juli	22. Aug.	27. Sept.	21. Okt.	25. Nov.	31. Dez.
	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C
0	4,3	15,4	21,4	22,0	23,0	19,6	17,2	11,8	5,8	2,0
1	4,3	14,6	19,2	22,0	23,0	19,6	17,3	11,8	5,9	3,0
2	—	11,4	14,6	22,0	23,0	19,6	17,3	11,7	5,9	—
3	—	10,4	13,0	20,0	23,0	19,6	17,3	11,7	5,8	—
4	—	9,3	11,7	16,5	19,2	18,9	17,3	11,7	—	—
5	4,0	6,8	10,5	11,9	15,2	17,7	17,2	11,6	5,8	3,2
6	—	4,9	7,5	8,5	10,3	13,8	15,0	11,6	—	—
7	—	4,3	5,4	6,8	7,3	10,8	11,2	11,4	—	—
8	—	4,2	4,9	5,8	6,3	7,4	8,7	9,4	—	—
9	—	—	—	4,8	5,2	6,2	6,8	6,8	—	—
10	4,0	4,1	4,3	4,3	4,6	4,8	5,4	5,8	5,8	3,4
11	—	4,0	—	—	—	—	4,7	4,9	5,8	—
12	—	—	3,9	—	4,2	4,1	4,4	—	5,0	—
13	—	3,9	—	—	—	—	—	—	4,5	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	3,6	3,8	3,8	3,8	4,0	4,0	4,2	4,3	4,3	3,6
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	—	4,0	—	—	—	—	3,9
19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	3,4	—	3,7	—	—	—	4,2	4,2	4,2	4,2
21	—	3,6	—	—	—	—	—	—	—	—
22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	3,4	3,6	—	3,6	—	—	—	4,1	—	—
26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29	—	—	—	—	—	—	—	4,1	—	—
30	—	3,6	—	—	—	—	—	—	—	—
31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	—	—	3,6	3,6	3,7	—	—	—	4,2	4,2
33*	3,4	—	—	—	—	3,9	4,1	—	—	—

* Vor zirka 40 Jahren hat Sti n g e l i n (30) durch wiederholte Lotungen eine grösste Tiefe von 34,5 m festgestellt. Nach der Spiegelabsenkung um 2,20 m im Mai/Juli 1943 käme dem See noch eine Tiefe von 32,30 m zu. Ich fand aber bei meinen vielen Temperaturlotungen, selbst bei einem mittleren Wasserstand, des öfteren noch eine Tiefe von 33 m.

Im übrigen beschränken wir uns darauf, einige Eigenarten der Temperaturverhältnisse des Burgäschisees etwas eingehender zu besprechen, nämlich:

1. Die Temperaturen der Seetiefe.
2. Die Temperatursprungschicht.
3. Die Eisverhältnisse, nebst einigen Bemerkungen über besondere thermische Zustände, die im Lauf der dreijährigen Beobachtungsperiode im Burgäschisee erfasst werden konnten.

Temperaturen der Seetiefe

Beim Lesen der Zahlentabellen und Kurven werden die niedrigen Temperaturen auffallen, die den Seeraum von 10 m abwärts bis auf den Grund beherrschen.

Ueber dem Seegrund in 32 m Tiefe steigt im Burgäschisee die Wassertemperatur nur selten über $4,5^{\circ}\text{C}$,¹⁰ die Amplitude zwischen höchster und niedrigster Seetemperatur ist hier äusserst gering.¹¹ Im Jahre 1944 registrierte ich bei 32 m im Burgäschisee Temperaturen von $3,4$ — $4,5^{\circ}\text{C}$, während ich im gleichen Jahr und in gleicher Tiefe im Genfersee Temperaturen von $5,0$ — $9,5^{\circ}\text{C}$ feststellte. Hier betrug also die Temperaturamplitude $4,5^{\circ}\text{C}$, im Burgäschisee dagegen nur $1,1^{\circ}\text{C}$.

Die sommerliche Erwärmung dringt in erheblichem Mass nur bis in 10 m Tiefe vor, das sind aber immerhin 71,6 % des gesamten Seevolumens. Eine nennenswerte Erwärmung des übrigen Sees (28,2 %) findet nicht statt.

Diese Tatsache kommt wohl in der beifolgenden Zusammenstellung der registrierten Maximalschwankungen der Seewassertemperaturen für einzelne Tiefenstufen am besten zum Ausdruck.

Während des Jahres 1944 untersuchte ich vergleichend die Aus-

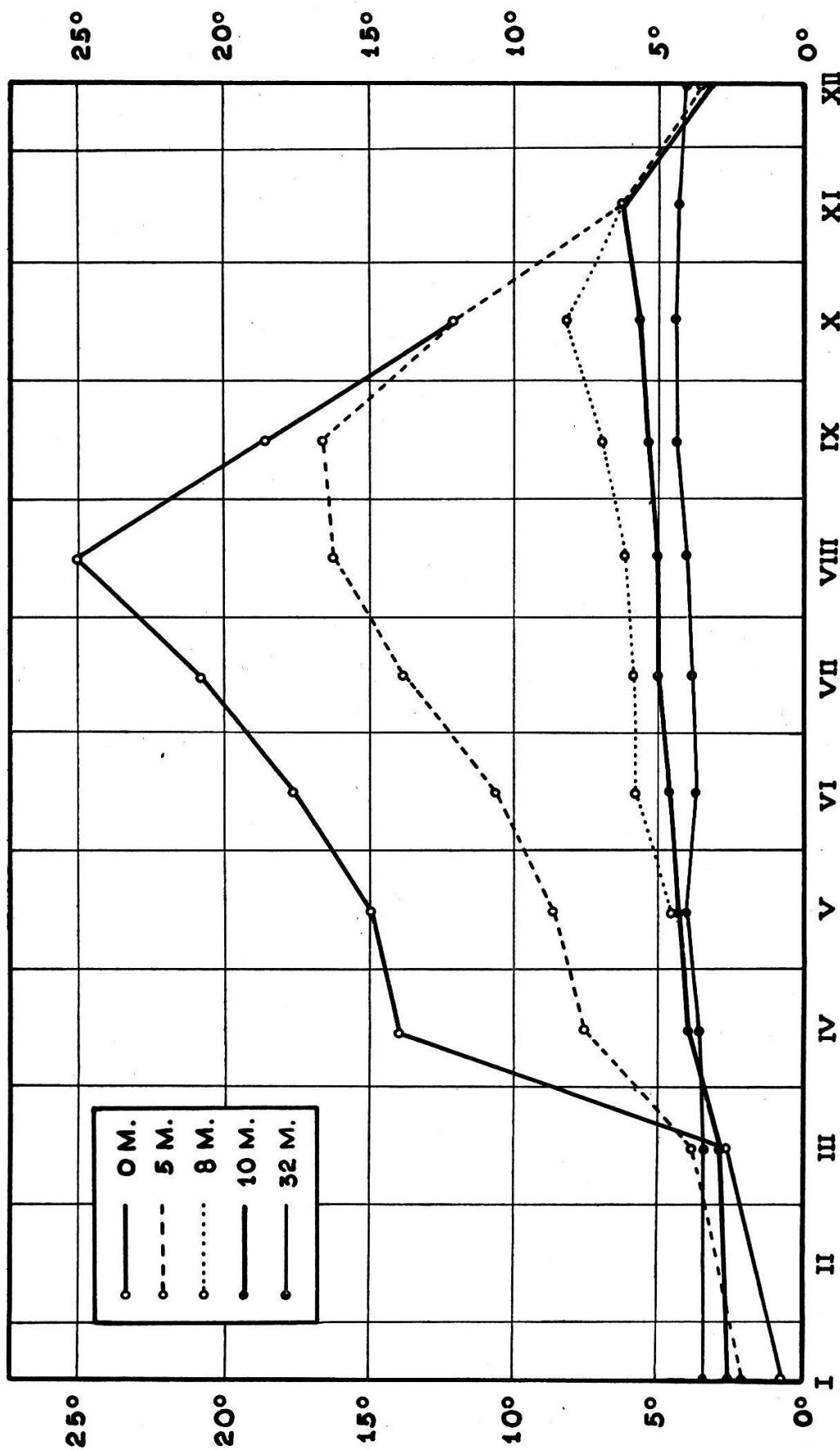
¹⁰ Ueber die Ursachen der von Jahr zu Jahr auftretenden geringen Temperaturschwankungen am Seegrund vergleiche meine Arbeit über den Moosseedorfsee (v. Büren 7).

¹¹ Weisen wir in diesem Zusammenhang noch kurz darauf hin, dass in Seen ähnlicher Tiefenordnung, aber ganz anderer geographischer Gebiete ebenfalls sehr niedrige Bodentemperaturen festgestellt worden sind. So hat Lotte Möller (18) im 35 m tiefen Sakrowersee bei Potsdam Temperaturen von 4 — $4,5^{\circ}\text{C}$ gefunden.

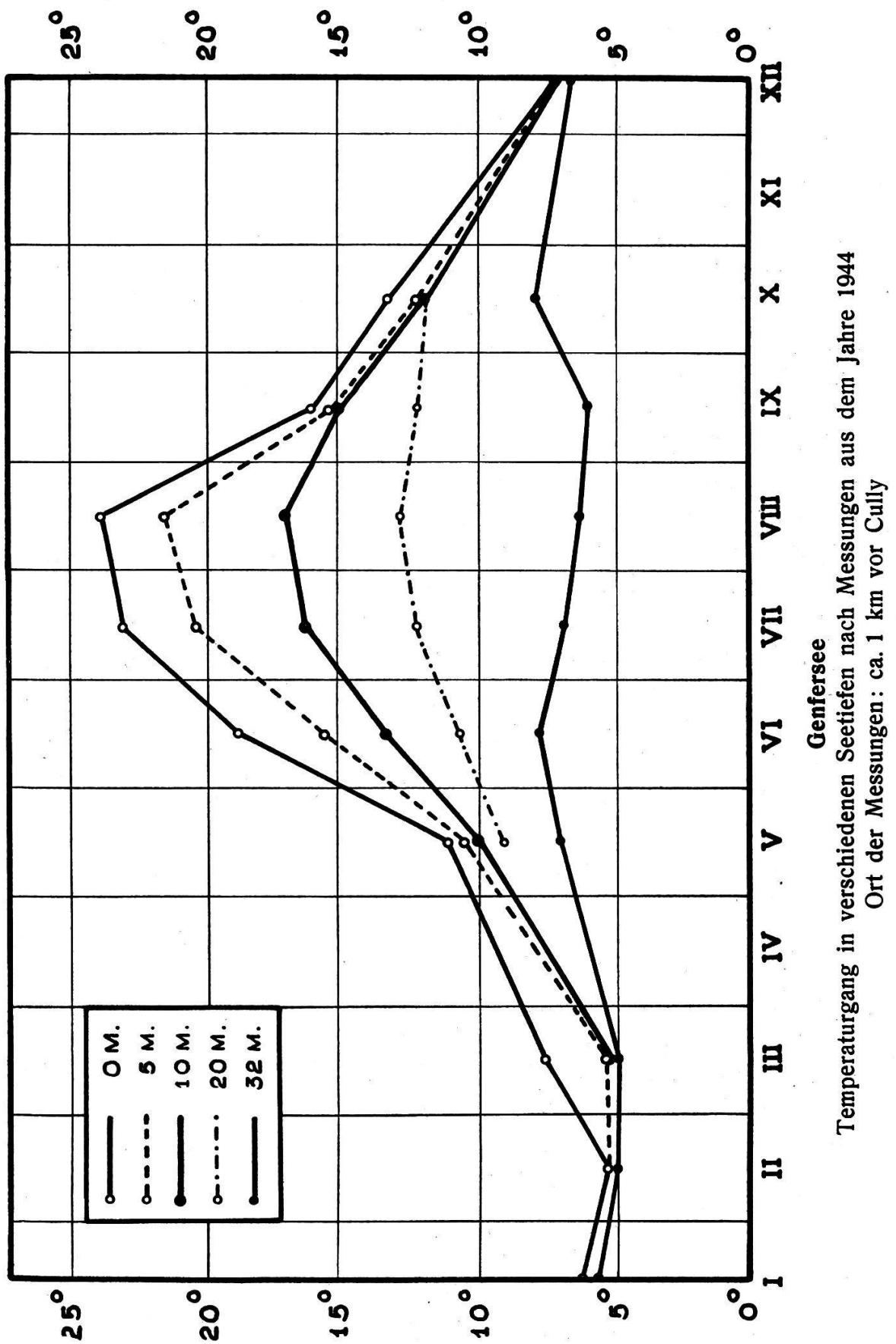
Temperaturschwankungen in verschiedenen Tiefenstufen
Vergleich zwischen Burgäschisee und Genfersee

Burgäschisee			Genfersee		
Jahr	Temperatur-schwankungen in °C	Ampli-tude °	Jahr	Temperatur-schwankungen in °C	Ampli-tude °
	<i>in 0 m Tiefe</i>			<i>in 0 m Tiefe</i>	
1943	3,6—24,2	20,6	1944	5,3—24	18,7
1944	1,8*—26*	24,2			
1945	2,0—23	21,0			
	<i>in 5 m Tiefe</i>			<i>in 5 m Tiefe</i>	
1943	3,6—15,3	11,7	1944	5,2—21,9	16,7
1944	3,2—17,2	14,0			
1945	3,2—17,7	14,5			
	<i>in 8 m Tiefe</i>			<i>in 8 m Tiefe</i>	
1943	3,6—8,4	4,8	1944	5,2—19,4	14,2
1944	2,4—8,0	5,6			
1945	3,2—9,4	6,2			
	<i>in 10 m Tiefe</i>			<i>in 10 m Tiefe</i>	
1943	3,6—6,7	3,1	1944	5,2—17,0	11,8
1944	3,2—5,9	2,7			
1945	3,4—5,8	2,4			
	<i>in 15 m Tiefe</i>			<i>in 15 m Tiefe</i>	
1943	3,6—5,0	1,4	1944	5,2—15,1	9,9
1944	3,2—4,8	1,6			
1945	3,6—4,3	0,7			
	<i>in 20 m Tiefe</i>			<i>in 20 m Tiefe</i>	
1943	3,6—5,4	1,8	1944	5,0—12,8	7,8
1944	3,3—4,8	1,5			
1945	3,4—4,2	0,8			
	<i>in 32 m Tiefe</i>			<i>in 32 m Tiefe</i>	
1943	3,9—4,9	1,0	1944	5,0—9,5	4,5
1944	3,4—4,5	1,1			
1945	3,4—4,2	0,8			

* Beeinflusst durch die Januar-Temperaturmessung.



Burgäschisee
Temperaturgang in verschiedenen Seetiefen nach Messungen aus dem Jahre 1944



Genfersee

Temperaturgang in verschiedenen Seetiefen nach Messungen aus dem Jahre 1944

Ort der Messungen: ca. 1 km vor Cully

bildung der Temperaturschichtung in den entsprechenden Tiefenstufen eines grossen, oligrothrophen Klarwassersees, nämlich des Genfersees.¹² Wir haben die Lotungstermine möglichst so gelegt, dass sie einen Abstand von wenigen Tagen von jenen im Burgäschisee hatten. In Anbetracht des Umstandes, dass diese Temperaturmessungen vom gleichen Beobachter mit dem gleichen Instrument und in einem relativ geringen Zeitabstand zur Durchführung gelangten, kommt diesen ein absoluter Vergleichswert zu. Durch zahlreiche Untersuchungen von Birge (4), Wedderburn, Schmidt u. a., wissen wir, dass die Wärmeverteilung in einem See ganz vorherrschend durch den Wind herbeigeführt wird. Durch die vom Wind verursachten Strömungen, die ihrerseits turbulente Wirbelbildungen auslösen, wird der Austausch der Wasserteilchen in vertikaler Richtung vermittelt und eine teilweise oder vollständige Durchmischung herbeigeführt. Diese Durchmischung ist um so vollkommener und in grössere Tiefen vordringend, je stärker der Wind ist und je kleiner die Dichteunterschiede im See. Da sich auf einer grossen, weiten Seefläche stärkere Luftströmungen auszubilden vermögen als auf einer kleinen, so wird durch das oben Ausgeführte auch gut verständlich, dass im Genfersee eine weit bessere und mehr in die Tiefe greifende Wasserdurchmischung und dementsprechende Erwärmung möglich ist, als im Burgäschisee, bei welchem das Verhältnis der kleinen Oberfläche zur relativ grossen Tiefe besonders auffallend ist.

Aus dem Vergleich der Temperaturprofile, die ich für den Burgäschisee und den Genfersee kurvenmässig zur Darstellung gebracht habe, sind diese Unterschiede der Erwärmung des Wassers nach der Tiefe hin deutlich ersichtlich. Aus den Kurven geht auch hervor, dass im Burgäschisee, die Erwärmung nach der Tiefe hin gegenüber dem Genfersee nicht nur geringer, sondern auch verzögert ist. So werden im Genfersee die Temperaturmaxima zwischen 0 und 20 m Tiefe im August erreicht, im Burgäschisee dagegen wird das Temperaturmaximum in 5 m Tiefe um einen Monat, in 10 m Tiefe sogar um drei Monate verzögert.

¹² Die einzelnen Monatsergebnisse meiner im Genfersee zwischen Oberfläche und 35 m Tiefe ausgeführten Temperaturlotungen stehn in sehr guter Uebereinstimmung mit jenen von Delebeque, Forel und Hörlmann aus den Jahren 1879—1896. Vgl. Delebeque: *Les Lacs Français*, Paris 1898, p. 138—140).

Temperatursprungschicht

In fast allen Seen beobachtet man bekanntlich die Tatsache, dass von der Oberfläche nach der Tiefe hin die Temperaturabnahme nicht eine gleichmässige ist. In einer bestimmten Tiefe, die je nach den zeitlichen und örtlichen Verhältnissen eine sehr verschiedene sein kann, bemerkt man einen ziemlich unvermittelten Temperaturabfall. Es ist dieses die sogenannte Temperatursprungschicht; ihre Lage zeigt die Grenze der Ausbreitung der von der Oberfläche ausgehenden Austauschströme an.

Die Erscheinung der Temperatursprungschicht ist im Burgäschisee sehr gut ausgebildet, und wir haben deshalb auch die Gelegenheit wahrgenommen, sie von ihren ersten Anfängen an im Frühjahr, bis zu ihrem vollständigen Erlöschen im Herbst, messend zu verfolgen.

Im Sommer 1943 konnte sich eine eigentliche Sprungschicht erst dann ausbilden, nachdem sich der Seespiegel auf dem neuen Niveau etwas stabilisiert hatte; das war gegen Ende Juli der Fall.

Datum	Sprungschicht		Gradient von	Lage zwischen
	Lage	Breite		
19. Juli 1943	2 und 5 m		4°	2 und 3 m
13. August 1943	3 und 6 m		7°	4 und 5 m
11. September 1943	4 und 7 m	3 m	4°	5 und 6 m
17. Oktober 1943	6 und 9 m		3,4°	6 und 7 m

Wie aus der obigen Tabelle hervorgeht, betrug die Mächtigkeit der Sprungschicht 3 m.

Ein Gradient (d. h. der Temperaturunterschied innerhalb einer Schicht von 1 m Höhe) von 7° C, wie wir ihn am 13. August 1943 zwischen 4 und 5 m fanden, ist ausserordentlich hoch. In der Literatur finde ich einen ähnlich hohen Wert nur für das Ulmener Maar mit 6,85° C zwischen 3 und 4 m Tiefe, den Thiemann (32) im August 1911 registrierte. Ferner finde ich in meinem Protokollheft vom ersten Hydrobiologischen Demonstrations- und Exkursionskurs am Vierwaldstättersee vom 30. Juli bis 12. August 1911 eine Notiz, wonach wir im Rotsee bei Luzern eine Thermo-kline von 7,8° C in 3—4 m Tiefe fanden. Was den hohen Temperaturgradienten vom August 1943 im Burgäschisee betrifft, so muss

hervorgehoben werden, dass von Ende Juli bis Anfang August 1943 eine Hitzeperiode herrschte, im Verlauf welcher das Berner Observatorium Maximaltemperaturen von $29,6^{\circ}\text{C}$ am 31. Juli und $29,8^{\circ}\text{C}$ am 2. August registrierte. Die Tagestemperaturmittel erreichten an diesen Tagen $21,7^{\circ}\text{C}$, resp. $23,4^{\circ}\text{C}$.

Ob diese ausserordentlichen meteorologischen Verhältnisse allein an der Ausbildung dieses scharfen Gradienten schuld sind, oder ob möglicherweise die durch die Seespiegelabsenkung etwas gestörten Schichtungsverhältnisse mitschuldig sind, lässt sich schwer beurteilen.

Datum	Sprungschicht		Gradient	Lage des Gradienten zwischen
	Lage zwischen	Mächtigkeit in m		
1944				
22. April	2 und 3 m	1	$4,3^{\circ}$	2 und 3 m
20. Mai	3 und 5 m	2	$4,4^{\circ}$	4 und 5 m
18. Juni	3 und 6 m	3	$5,0^{\circ}$	4 und 5 m
25. Juli	4 und 7 m	3	$4,8^{\circ}$	4 und 5 m
24. August	4 und 8 m	4	$4,4^{\circ}$	5 und 6 m
21. September	5 und 8 m	3	$3,9^{\circ}$	6 und 7 m
15. Oktober	7 und 9 m	2	$3,6^{\circ}$	7 und 8 m
1945				
14. April	1 und 2 m	1	$3,2^{\circ}$	1 und 2 m
12. Mai	1 und 2 m	1	$4,6^{\circ}$	1 und 2 m
9. Juni	3 und 5 m	2	$4,6^{\circ}$	4 und 5 m
17. Juli	3 und 7 m	4	$4,9^{\circ}$	5 und 6 m
22. August	5 und 8 m	3	$3,8^{\circ}$	7 und 8 m
27. September	5 und 8 m	3	$4,0^{\circ}$	6 und 7 m
21. Oktober	7 und 9 m	2	$2,6^{\circ}$	8 und 9 m

Die Zahlen betreffend die Temperatursprungschicht des zweiten und dritten Beobachtungsjahres zeigen, dass sich die Sprungschicht normalerweise schon im April auszubilden beginnt, dann im Lauf des Sommers tiefer sinkt und endlich im Oktober in 7 bis 9 m Tiefe erlischt.

Zu Beginn ihrer Ausbildung hat die Sprungschicht zunächst eine geringe Mächtigkeit, um später auf 3—4 m anzuwachsen und sich

dann vor ihrem Erlöschen wieder zu verschmälern. Der Gradient scheint 5° nicht zu übersteigen.

Die Temperatursprungschicht ist nicht nur in mechanischer Hinsicht von Interesse, sondern es kommt ihr auch biologische Bedeutung zu, indem sie den See in zwei Teile teilt, die sich in Bezug auf den Stoffwechsel ganz verschieden verhalten.

Die obere Schicht, das Epilimnion, ist mit der Atmosphäre in Berührung. Hier sind dauernd durch den Wind ausgelöste turbulente Strömungen vorhanden. Jedes Wasserteilchen, und damit auch alle passiv im Wasser schwebenden Organismen, das sind insbesondere die Phytoplankter, haben die Möglichkeit, sich zwischen Oberfläche und Sprungschicht zu bewegen. In dieser Zone ist eine Schichtung nur vorübergehend möglich.

In der Tiefenschicht, dem Hypolimnion, und ebenso in der Zwischenschicht, oder Metalimnion, können vertikale Bewegungen nur innerhalb eines Niveaus stattfinden, und auch da nur in ganz bescheidenem Ausmass. Die Sprungschicht wirkt somit als Sperre nach oben hin, eine Sperre, die für die schwebenden Organismen ein unüberwindliches Hindernis darstellt.

Eisverhältnisse

Ueber die Termine des Zufrierens und des Wiederverschwindens der Eisdecke am Burgäschisee während der Jahre unserer Untersuchungen konnten die folgenden Daten beigebracht werden.

Im Dezember 1943 beobachtete Herr Gygax am Weihnachtstage die erste Eisbildung im südlichen und südöstlichen Teil des Sees. Am Silvester und Neujahrstag war der See gefroren, dann taute er wieder auf und war am 4. und 5. Januar 1944 ganz eisfrei. Unmittelbar vor dem völligen Wiedereinfrieren am 6. Januar war es uns eben noch möglich, im Eis¹³ offen gebliebene Kanäle mit dem Boot zu befahren und über der tiefsten Stelle des östlichen Seebbeckens eine Temperaturlotung vorzunehmen. (Ueber ihre Resultate vergleiche die Tabelle.) Im weiteren Verlauf des Winters soll

¹³ Schon eine Eisdicke von nur 5—8 mm, wie sie damals vorhanden war, bildet für ein Ruderboot einen fast unüberwindlichen Widerstand, abgesehen davon, dass sowohl die Bootsaussenwände, wie auch namentlich die Ruder, durch die scharfen Eiskanten sehr stark mitgenommen werden.

der See vom 28. Januar bis zum 6. Februar, also während zirka zehn Tagen wiederum partiell eisfrei gewesen sein. Dagegen war ein relativ sehr spätes Datum des vollständigen Eisfreiwerdens in diesem Frühjahr zu registrieren, nämlich erst am 23. März 1944. Noch am 26. März, anlässlich einer Terminuntersuchung, beobachtete ich vormittags zwischen 9 und 10 Uhr an manchen Uferpartien einen zirka 50 cm breiten Streifen dünnen Eises, der sich in der vorangehenden Nacht neu gebildet hatte (Oberflächentemperatur $3,6^{\circ}\text{C}$.) So weit die Verhältnisse zu überblicken sind, war der See mit zwei kurzen Unterbrechungen etwas mehr als zwei Monate unter vollständigem Eisverschluss.

Der Gang der Vereisung entspricht durchaus den meteorologischen Verhältnissen des Winters 1943/44, indem nämlich der Januar in unserer Gegend bedeutend zu warm war, zirka $3,5^{\circ}\text{C}$ über dem Mittelwert. Im Februar und März dagegen blieben die Temperaturen beträchtlich hinter dem Normalbetrag zurück. Ebenso war die Sonnenscheindauer für beide Monate zu gering.

Im Winter 1944/45 befand sich der See vom 27. Dezember bis zum 27. Februar 1945, also zwei Monate kontinuierlich unter Eisverschluss.

Hierzu ist zu bemerken, dass sich der Januar 1945 durch ungewöhnlich niedrige Temperaturen auszeichnete. Die Abweichungen vom Normalwert erreichten $3,5-4^{\circ}\text{C}$! Laut dem monatlichen Witterungsbericht der meteorologischen Zentralanstalt sind die Januartemperaturen von 1945 mit den bisher tiefsten vergleichbar, nämlich denen der Jahre 1891 und 1893. Damit wird durchaus verständlich, dass eine entsprechend dauerhafte Eisdecke entstehen konnte.

In der Nacht vom 9. auf den 10. März bildete sich noch einmal eine dünne Eisschicht, die aber bereits gegen Mittag wieder verschwand.

Im Jahre 1945 begann die Eisbildung in den Uferpartien des Sees am 12. Dezember, nachdem am 8. des Monats scharfer Frost eingesetzt hatte. Am 13. Dezember war schon die ganze Seefläche von einer Eisdecke überzogen. Weiterhin änderte sich am 18. des Monats der Witterungscharakter vollständig, indem ein atlantisches Tiefdruckgebiet ganz Westeuropa zu beherrschen begann, was in der Schweiz eine Föhnlage herbei führte, die hinwiederum ein starkes Steigen der Temperaturen zur Folge hatte. Unter dem Einfluss

des Föhnsturmes wurde im Lauf des 28. Dezembers der Burgäschisee wieder vollständig eisfrei.

Diese erste Periode des Eisverschlusses hatte also 15—16 Tage gedauert.

Durch einen glücklichen Umstand war es möglich, am Silvester 1945 ein fahrbereites Boot zu bekommen und am gewohnten Arbeitsplatz über der tiefsten Stelle des Sees eine vollständige Temperaturlotung auszuführen. Diese Temperaturlotung ist eine der interessantesten aus der ganzen Serie und soll hier kurz besprochen werden.

Die ersten am 31. Dezember 1945 zwischen 9 Uhr und 9.30 Uhr erhobenen Oberflächentemperaturen betrugen $2,2^0\text{C}$, um 9.45 Uhr $2,4^0\text{C}$.

Gegen 10 Uhr begann sich ein dichter Nebel über den See zu lagern, so dass während einer halben Stunde die Ufer von der Seemitte (Arbeitsplatz) aus unsichtbar blieben. Nachdem sich der Nebel gelichtet hatte, schien die Sonne und um 11.15 Uhr, kurz vor Schluss der Untersuchung, war das Oberflächenthermometer schon auf $3,2^0\text{C}$ gestiegen.

Die Tiefentemperaturen (die Messungen sind in jeder Tiefenstufe zweimal ausgeführt worden) haben die folgenden Resultate ergeben:

Meter Tiefe	Grad Celsius
0,5	2,4
1	3,0
5	3,1
10	3,2
15	3,3
17,5	3,45
20	4,1
33	4,1

Der See befand sich also in einer ausgesprochen inversen Temperaturschichtung, wie man sie über offenem Wasser selten die Gelegenheit hat, festzustellen. Kälteres Wasser lag somit über schwererem, wärmerem. Die Tatsache, dass in 20 m Tiefe und darunter genau dieselben Temperaturen wie am 25. November 1945 registriert wurden, zeigt, dass sowohl in der Periode vor dem Zufrieren, als auch unmittelbar nach dem Wiederauftauen, ruhiges

Wetter herrschte. Eine Wasserdurchmischung bis auf den Seegrund konnte nicht stattfinden.

In der Folge überzog sich die Seefläche in der Nacht vom 3. zum 4. Januar 1946 abermals mit einer Eisdecke, die schon wenige Tage später so fest war, dass sich Schlittschuhläufer darauf tummeln konnten. Am 6. Februar begann der See aufzutauen, um am 9. vollständig eisfrei zu sein.

Die Eisbedeckung vor und nach Neujahr hatte insgesamt zirka 47 Tage gedauert.

Im Lauf des Februars bildeten sich auf dem See in kalten Nächten wiederholt dünne Eisdecken, die aber meist schon mittags wieder verschwanden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Burgäschisee in der Regel jeden Winter für $1\frac{1}{2}$ bis 2 Monate zufriert. Die „*congélation printanière*“, wie Forel (10), Bd. II, p. 389 ff., die Bildung dünner, sehr vergänglicher Eislamellen in den kalten Vorfrühlingsnächten bezeichnet hat, scheint sich auch am Burgäschisee recht häufig zu ereignen.

Wir haben diese Verhältnisse hier absichtlich etwas eingehender erörtert, weil man über die „Seegfrönen“ der kleinen, meist abgelegenen Seen viel weniger gut unterrichtet ist, als über jene der grösseren Seen, die sehr aufmerksam und fleissig registriert werden.

Chemismus

Sämtliche zu Analysen verwendeten Wasserproben sind dem See im Pelagial über der tiefsten Stelle, meist unmittelbar im Anschluss an die Temperaturlotungen, entnommen worden.

Die Bestimmung des Trockenrückstandes, sowie der dazugehörigen Werte wurde jeweilen im November an Wasserproben aus 15 m Tiefe vorgenommen, zu einer Zeit also, in welcher die thermisch bedingte Wasserzirkulation schon ziemlich fortgeschritten ist. Die Wassertemperatur betrug zirka 5°C .

Der Trockenrückstand setzt sich zusammen aus:

1. Der Summe der im Wasser gelösten Salze,
2. den im Wasser gelösten organischen Stoffen,

3. den im Wasser suspendierten Lebewesen, die durch das Filter gehen (Nannoplankton),
4. Schwebestoffen gleicher Größenordnung.

Aus den verschiedenen Abdampfungen,¹⁴ die wir vorgenommen haben, ergibt sich ein Trockenrückstand von durchschnittlich 205,7 mg/l. Als extreme Werte fanden wir 196—214 mg/l.

Für den Glührückstand, also nach Verkohlung der organischen Substanzen, erhielten wir einen Durchschnittswert von 181,2 mg/l, die Extreme betrugen 174—194 mg/l.

Der Glühverlust, d. h. Trockenrückstand minus Glührückstand, der im wesentlichen die Summe der gelösten und suspendierten organischen Stoffe sowie der flüchtigen Substanzen darstellt, ist immer mehr oder weniger ungenau. Für das Burgäschiseewasser beträgt er 24,5 mg/l, die Extreme sind 20—34 mg/l.

Verglichen mit den kleinen Mittelandseen, insbesondere dem Moosseedorfsee,¹⁵ sind die Werte für den Burgäschisee bedeutend niedriger, selbst die für den Burgäschisee gefundenen Maximalwerte für Trocken- und Glührückstand bleiben weit hinter jenen des Moosseedorfsees zurück. Dieser Unterschied dürfte vor allem, wie wir noch sehen werden, auf den geringen Kalkgehalt des Burgäschiseewassers zurückzuführen sein.

Oxydabilität

Vermittelst der Oxydabilität kann die Menge der im Wasser gelösten organischen Stoffe erfasst werden, ohne dass aber ihre Natur näher definiert werden könnte. Aus den zahlreichen Oxydabilitäts-Bestimmungen, die ich im Lauf der Untersuchung durchführte, ergibt sich für den Burgäschisee folgendes:

Die Oxydabilität erwies sich auch hier im Jahresverlauf als ein recht konstanter Faktor, sie schwankte zwischen 21,26 und 24,39 mg/l.

¹⁴ Zur Abdampfung gelangten jeweilen 200 cc Wasser. Wir überzeugten uns davon, dass bei sorgfältigem Arbeiten sowohl mit der Achatschale, als auch mit der Platinschale gute und übereinstimmende Resultate erhalten werden können.

¹⁵ Die Werte sind durchaus vergleichbar, weil die Wasserproben ebenfalls dem See im November entnommen worden sind.

Verbrauch von mg/l KMnO₄In Klammer: der in die entsprechende O₂-Menge umgerechnete Wert

Tiefe	19. Juni 1943	21. November 1943
0 m	22,18 (5,61)	22,27 (5,64)
15 m	22,18 (5,61)	— —
32 m	24,39 (5,97)	22,27 (5,64)

An der Oberfläche liessen sich nur ganz unbedeutende Veränderungen nachweisen, während dagegen in Wasserproben, die zur Zeit der Sommerstagnation über dem Seegrund entnommen wurden, meist eine Zunahme der Oxydabilität festzustellen ist. Diese Zunahme wird wahrscheinlich durch Stoffe bewirkt, die aus dem Grundschlamm in das Wasser überdiffundieren. Der ausgeglichene Permanganatwert dürfte etwa 22,27 mg/l betragen, d. h. also, dass 22,27 mg Kaliumpermanganat notwendig sind, um die im Burgäschiseewasser gelösten organischen Stoffe zu oxydieren. Die entsprechende O₂-Menge ist 5,64 mg/l. Die Permanganat-Werte des Burgäschisees sind, verglichen¹⁶ mit jenen, die wir im Moosseedorfsee mit durchschnittlich 17,3 mg/l fanden, recht hoch.

Alkalinität

Dem Calcium-Bicarbonat-Gehalt eines Gewässers kommt eine hervorragende Bedeutung zu. Durch die Alkalinitätsbestimmung lassen sich die im Wasser vorhandenen kohlensauren Salze der Erdalkalien, vor allem aber die an CO₂ gebundenen Salze des Calciums und Magnesiums ermitteln. Die sogenannte Titrationsalkalinität ist diejenige Menge von $\frac{n}{10}$ HCl, die 100 cc des zu untersuchenden Wassers hinzugefügt werden muss, um den Farbumschlag des Indikators (Methylorange) von Orange nach Zwiebelrot herbei zu führen. Die so gefundenen Alkalinitätswerte für den Burgäschisee liegen zwischen 2,30 und 3,64. Die bei Homother-

¹⁶ Vergleichswerte sind bei der Bestimmung der Oxydabilität nur dann zu erhalten, wenn sie nach dem gleichen Verfahren und unter peinlichster Innehaltung der Vorschriften durchgeführt wird. Vgl. Schweiz. Lebensmittelbuch (29).

mie, also auch chemisch ausgeglichenen Verhältnissen (Dezember 1943 und März 1944) gefundene Alkalinität von 3,2 setzen wir als ausgeglichenen Alkalinitätswert ein.

Bei der Berechnung des CaCO_3 sowie der Karbonathärte (deutsche und französische Härtegrade) ist der Magnesiumgehalt des Seewassers nicht berücksichtigt worden.

Alkalinität	CaCO_3 mg/l	Karbonathärte	
		deutsche °	französische °
2,30 Minimalwert	115	6,4 °	11,5 °
3,32 Ausgeglichener Wert	166	9,2 °	16,6 °
3,64 Maximalwert	182	10,1 °	18,2 °

Zur Kontrolle habe ich wiederholt auch Härtebestimmungen mit dem Seifenverfahren von Boutron-Boudet ausgeführt und dabei mit jenen, aus den Alkalinitätswerten errechneten, recht gut befriedigende Ergebnisse erhalten. Hierfür ein Beispiel:

Wasserproben vom 18. Juni 1944

Tiefe	Alkalinität	aus der Alkalinität berechnet	mit Seifenlösung gefunden
0 m	2,56	12,8 franz. °	13 franz. °
5 m	3,32	16,6 franz. °	16,5 franz. °
32 m	3,40	17,0 franz. °	17 franz. °

Aus der Zusammenstellung: Alkalinität- CaCO_3 -Karbonathärte, geht hervor, dass das Wasser des Burgäschisees nach der von Klut (15) gegebenen Einteilung zu den mittelharten Wässern gehört. Nur während der Sommerstagnationsperiode rücken die oberen Wasserschichten infolge eines noch zu erörternden biologischen Vorganges in den Bereich der sogenannten weichen Wässer (4 ° bis 8 ° deutsche Härtegrade). Sein Wasser hat, verglichen mit jenem vom Moosseedorfsee, durchschnittlich einen um 80 mg/l geringeren Gehalt an CaCO_3 . Wenn wir jetzt zunächst einmal die für das Jahr 1944 zusammengestellten Alkalinitätswerte betrachten, so

wird sofort auffallen, dass diese keineswegs konstant sind, sondern sich im Lauf des Seejahres ändern. Diese Veränderungen finden in dem Sinne statt, dass die Alkalinität zu Beginn der Sommerstagnation zunächst in den Oberflächenschichten 0—2,5 m, eventuell 3 m, abnimmt. Später greift dann diese Abnahme noch auf etwas tiefer liegende (5 m)¹⁷ Wasserschichten über. Am Seegrund dagegen ist eine deutliche Zunahme der Alkalinität vom Hochsommer bis gegen den Herbst hin festzustellen. Durch die Herbstteil- und Wintervollzirkulation werden dann diese Unterschiede wieder ausgeglichen und der ganze Wasserkörper von der Oberfläche bis zum Grund zeigt eine Alkalinität von 3,32.

Diese Schwankungen im Kalkgehalt des Seewassers, insbesondere der Oberflächenschichten (trophogene Zone), lassen sich auf biogene Lebensvorgänge zurückführen, nämlich die sogenannte biogene Entkalkung. Die obersten Wasserschichten sind bekanntlich jene, in welchen das Phytoplankton, die pflanzlichen Schweborganismen, ihre grösste Entfaltung erlangen. In diesen relativ gut durchleuchteten Wasserschichten findet eine intensive Assimilation statt, die bewirkt, dass dem Calcium-Karbonatmolekül Kohlensäure entrissen wird und so das Monokarbonat zur Auskristallisierung gelangt. Im Burgäschisee haben wir zwar diese Ausfällung nicht direkt beobachten können, wie das z. B. im Moosseedorfsee der Fall war, und wie es im Zürichsee beobachtet werden kann, wo dieser Vorgang erstmals durch Minder (17) bekannt geworden ist. Es ist aber anzunehmen, dass die biogene Entkalkung im Burgäschisee, schon wegen seines an und für sich geringen Gehaltes an CaCO_3 , nicht besonders intensiv in die Erscheinung tritt. Immerhin kommt das Vorhandensein dieses Vorganges durch die im Lauf des Seejahres erhobenen Alkalinitätswerte deutlich zum Ausdruck.

Unterwerfen wir jetzt noch die Zusammenstellung der im Jahre 1943 gefundenen Alkalinitätswerte einer kurzen Betrachtung, so fällt sofort, im Gegensatz zur Tabelle aus dem Jahre 1944, die Gleichförmigkeit der Oberflächenwerte auf. Es ist gerade so, als ob die oben beschriebene biogene Einwirkung ausgefallen wäre.

¹⁷ Ein Beweis übrigens auch dafür, dass in dieser Tiefenzone die Grenze erreicht wird, an welcher autotrophe Organismen noch zu gedeihen vermögen. Im Burgäschisee werden ja Sichttiefen von über 3—4 m nur ausnahmsweise und vorübergehend erreicht.

Erinnern wir uns im Zusammenhang mit dieser Feststellung, dass dem See vom 15. Mai bis zur ersten Augustwoche 1943 zeitweise kontinuierlich, und dann wieder etappenweise, zirka 4 000 000 m³ Wasser samt den darin enthaltenen Schwebeorganismen entzogen worden ist. Es betraf also gerade einen Teil jener durchleuchteten Oberflächenschichten, die den Hauptwohnraum des Phytoplanktons darstellen. Durch diese Umstände wird es durchaus verständlich, dass sich im Frühjahr und Vorsommer 1943 der Vorgang der biogenen Entkalkung im Burgäschisee keineswegs normal vollziehen konnte.

Alkalinität 1943

Tiefe m	April	Mai	Juni	Juli	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
0	3,20	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,26	3,30
15	3,26	3,32	3,32	3,34	3,52	3,50	3,30	3,32
32	3,32	3,36	3,36	3,38	3,64	3,64	3,46	3,36

Alkalinität 1944

Tiefe m	März	April	Mai	Juni	Juli	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
0	3,32	2,76	2,60	2,56	2,30	2,48	2,72	3,02	3,10
2,5	—	—	2,62	2,56	2,32	—	2,72	—	—
5	—	3,32	3,28	3,32	3,10	2,50	2,72	—	—
15	3,32	3,32	3,30	3,32	3,32	3,40	3,38	3,36	3,08
32	3,32	3,36	3,30	3,40	3,44	3,64	3,62	3,50	3,16

Wasserstoffionen-Konzentration (aktuelle Acidität)

Zur Zeit des thermischen Schichtungsausgleiches ist das pH (pondus hydrogenii) des Burgäschiseewassers bei 7,5. Aus der tabellarischen Zusammenstellung der im Lauf des Jahres in den verschiedenen Seetiefen erhobenen pH-Werte ist ersichtlich, dass die Reaktion des Wassers gewissen Veränderungen unterworfen ist. Die Ursache dieser Veränderungen ist auch hier wiederum biogen.

Das Phytoplankton benötigt nämlich ausser den im Wasser gelösten Nährsalzen zur Gewinnung des besonders wichtigen Koh-

Wasserstoffionenkonzentration 1944

Tiefe m	März	April	Mai	Juni	Juli	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
0	8,0	8,2	8,4	8,4	8,1	8,1	8,1	7,75	7,5
2,5	—	—	8,4	8,4	8,1	—	8,0	—	—
5	—	7,75	7,7	7,5	7,6	7,9	8—7,9	—	—
10	—	7,7	7,65	7,4	—	—	—	—	—
15	7,7	7,6	7,3	7,4	7,4	7,3	7,3	7,5	7,5
32	7,6	7,6	7,3	7,3	7,3	7,25	7,3	7,4	7,5

lenstoffes noch ein gelöstes Gas, das Kohlendioxyd, CO_2 . Die Kohlensäure wird von der Pflanze in ihre beiden Bestandteile zerlegt, wobei der frei werdende Sauerstoff wieder ins Wasser abgeschieden wird.

Das Auftreten von Phytoplankton in den Oberflächenschichten (Epilimnion), hat also zur Folge, dass das Wasser an Nährsalzen und Kohlensäure ärmer wird, während der Sauerstoffgehalt zunimmt (siehe O_2 -Tabellen und Kurven). Hier interessiert uns speziell das Verhalten der Kohlensäure. Die Menge dieses im Epilimnion gelösten Gases ist im Vergleich zum starken Konsum, zumal in den Sommermonaten, in planktonreichen Seen gering. Für die pflanzlichen Organismen ist es daher von prinzipieller Bedeutung, dass im Seewasser durch den Zerfall von doppelkohlensaurem Kalk in einfachsauren Kalk und Kohlensäure Ersatz für den Verbrauch dieses Gases geschaffen werden kann. Dauert dieser Prozess längere Zeit fort, wird also immer mehr Bikarbonat in einfaches Karbonat übergeführt, so wird die Reaktion des Seewassers auch dementsprechend alkalischer.

Nun ist es bekanntlich allgemein üblich, die Reaktion des Wassers durch den negativen Logarithmus der in der Volumeinheit einer wässrigen Lösung vorhandenen freien Wasserstoffionen (H-Jonen), als den Trägern der sauren Reaktion, anzugeben. Für eine Säure ist $\text{pH} = 0$, für eine Lauge $\text{pH} = 14$, während einer neutralen Reaktion, also weder sauer noch alkalisch, der pH-Wert von 7 entspricht. Die numerisch niedrigen Werte entsprechen einer hohen, die numerisch hohen Werte dagegen einer geringen Wasserstoffionenkonzentration.

In diesem Zusammenhang ist auch die „Alkalinität“ von Be-

deutung. Wir sehen denn auch im Lauf der Vegetationsperiode, wie in den Oberflächenschichten von 0—2,5 m, eventuell bis 3 m, in dem Mass als die Alkalinität abnimmt, das pH steigt, um im Burgäschisee einen Maximalwert von 8,4 zu erreichen (vergleiche die Tabellen der Alkalinität und des pH). Die pH-Werte weisen also ebenfalls darauf hin, dass eine normale Assimilation des Phytoplanktons in der Tiefenregion von zirka 5 m seine Grenze erreicht. Die hohen pH-Werte, die unsere Tabelle für die Monate September und Oktober in dieser Zone verzeichnet, sind nicht biogen bedingt, sondern der Ausdruck der einsetzenden Herbstteilzirkulation, die das kälter gewordene „alkalische“ Oberflächenwasser in die Tiefe sinken lässt. Die pH-Werte von 7,3—7,25, wie sie sich im Lauf der Stagnationsperiode am Seegrund herausbilden, deuten darauf hin, dass die Reaktion des Wassers dort durch die Zersetzungssprozesse organischer Substanzen, wobei CO_2 gebildet wurde, beeinflusst ist. Immerhin scheint auch hier keine Gefahr der Säurung zu bestehen.

Ganz allgemein kann gesagt werden, dass die Pufferung des Burgäschiseewassers durch das Mono-Bikarbonat-System so gut ist, dass sich die Schwankungen der Reaktion in verhältnismässig engen Grenzen halten, die Einheit nur um ein Geringes überschreitend.

Sauerstoff

Den Sauerstoffgehalt des Seewassers haben wir in der üblichen Weise mit dem von Winkler angegebenen Verfahren bestimmt. Sämtliche für die O_2 -Analyse vorgesehenen Wasserproben sind sofort nach Entnahme aus dem See bromiert worden. (Ueber das Methodische vergleiche meine früheren Arbeiten.) Wir haben regelmässig in Tiefen von 0, 5, 10, 20 und 32 m den Sauerstoffgehalt des Wassers analysiert, während der Sommerstagnation wiederholt auch in 2,5 m Tiefe. Im ersten Jahr der Untersuchung (1943) hatten wir verschiedentlich auch Stichproben aus 8, 15 und 27 m Tiefe entnommen.

Der Besprechung über die Sauerstoffverhältnisse im Burgäschisee während des Jahresverlaufes legen wir die Analysenresultate der Jahre 1943 und 1944 zugrunde, weil aus diesen Jahren die

vollständigsten Analysenserien vorliegen. Die in den drei verschiedenen Untersuchungsjahren gewonnenen Resultate stehen im allgemeinen in guter Uebereinstimmung miteinander, wenn auch, wie dies nicht anders zu erwarten ist, da und dort die absoluten Zahlenwerte etwas abweichende sind.

Im Burgäschisee ist von April bis November eine mehr oder weniger ausgeprägte Sauerstoffschichtung festzustellen, die hauptsächlich durch biogene Vorgänge hervorgerufen wird. Einerseits durch die intensive assimilatorische Tätigkeit der pflanzlichen Planktonorganismen in den gut durchleuchteten oberen Wasserschichten, anderseits durch die Verwesung der in die Tiefe gesunkenen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Organismen. Dazu kommen noch die temperaturbedingten Zirkulationsströmungen, die bei der Verteilung des Sauerstoffes im Seeraum das ihrige beitragen.

Im frühen Frühjahr, im März, zur Zeit der Homothermie, und noch im April, nachdem sich in den oberen Wasserschichten bereits eine Temperaturschichtung ausgebildet hat, herrschen im ganzen Seeraum noch sehr gute O_2 -Verhältnisse. Da zu dieser Jahreszeit meist auch die Planktonproduktion eine sehr intensive ist, so findet man an der Oberfläche mitunter entsprechend hohe Sauerstoffwerte. Wir stellten als Maximalwert 10,9 cc/l fest (22. 4. 1944), was bei der damals herrschenden Wassertemperatur einer Sättigung von 161 % entsprach, also eine ganz enorme Uebersättigung. Diese gelegentliche O_2 Uebersättigung der oberen Wasserschichten ist in den eutrophen Seen eine bekannte Erscheinung. Für den Moosseedorfsee vergleiche v. Büren (7), S. 156—157. Auch Schickendantz (27) fand im Sakrowersee, ebenfalls im April, an der Oberfläche einen ganz ähnlich hohen Sauerstoffwert, nämlich 10,89 cc/l. Dieser Havelsee hat bezüglich seiner O_2 -Verhältnisse, als auch hinsichtlich seines jährlichen Temperaturganges, worauf schon im Kapitel über die Thermik hingewiesen wurde, eine grosse Aehnlichkeit mit dem Burgäschisee.

Die oberen Wasserschichten bis in 5 m Tiefe (Epilimnion) bleiben im Burgäschisee den ganzen Sommer hindurch mehr oder weniger sauerstoffreich, 80 % der Sättigung werden hier kaum unterschritten. Im Hypolimnion dagegen macht sich im Lauf der Sommerstagnation eine starke O_2 -Zehrung geltend, hier fällt die Sättigung mitunter bis gegen 18 %. Dabei ist aber nicht ausser acht

Burgäschisee: Sauerstoffverhältnisse im Jahre 1943

13. April 1943					15. Mai 1943				
T	Tp	O ₂	S	% S	T	Tp	O ₂	S	% S
0	10,2	8,53	7,55	112,58	0	19,6	5,86	6,15	95,28
5	7,0	8,10	8,13	100,00	5	9,0	8,15	8,46	93,94
10	5,9	7,30	8,33	85,23	10	6,2	4,51	8,24	53,50
15	4,6	4,52	8,55	52,86	15	4,8	2,08	8,46	24,58
20	4,4	4,46	8,77	50,85	20	4,4	1,70*	8,68	19,58
30	—	—	—	—	30	4,4	2,05	8,68	23,61
32	—	—	—	—	32	—	—	—	—
34,5	4,2	3,60	8,77	41,04	—	—	—	—	—
19. Juni 1943					19. Juli 1943				
T	Tp	O ₂	S	% S	T	Tp	O ₂	S	% S
0	18,0	6,50	6,34	102,52	0	24,2	5,96	5,43	109,94
5	10,8	6,40	7,40	86,48	5	10,4	6,81	7,39	92,15
10	6,2	3,28	8,33	39,37	10	—	—	—	—
15	5,0	3,08	8,55	36,02	15	4,8	3,77	8,37	45,04
20	4,6	2,15	8,77	24,51	20	4,6	3,90	8,37	46,59
27	4,5	2,10	8,77	23,94	27	4,6	2,08	8,37	24,85
30	—	—	—	—	30	4,6	1,52	8,37	18,16
32	4,4	2,35	8,77	26,79	32	—	—	—	—

T = Tiefe in Metern.

Tp = Temperatur in C°.

O₂ = Sauerstoff in cm³/l-Gehalt.S = Sättigungswerte des Wassers mit Sauerstoff in cm³/l, berechnet nach den Absorptionskoeffizienten von Winkler bei der jeweiligen Wassertemperatur und dem jeweiligen Barometerstand am Burgäschisee.

% S = Sauerstoffgehalt in Prozenten der Sättigung.

* Die etwas eigenartigen O₂-Verhältnisse im Mai 1943, insbesondere die starke O₂-Zehrung in 15 und namentlich in 20 m Tiefe, dürften mit der Seespiegelabsenkung im Zusammenhang stehen. Eine Sprungsschicht konnte sich damals erst Ende Juli ausbilden (vergleiche das darüber Gesagte im Kapitel Thermik). Infolgedessen bestand zwischen Epi- und Hypolimnion keine Schranke, was den absterbenden und verwesenden Planktonorganismen ermöglichte, ungehindert in tiefere Wasserschichten abzusinken. In die Zone des starken Temperaturgefälles und damit auch der zunehmenden inneren Reibung angelangt, wird ihre Sinkgeschwindigkeit vermindert. Hier werden also die verwesenden Massen längere Zeit aufgehalten, wodurch die sauerstoffzehrende Wirkung plötzlich stark in die Erscheinung tritt.

Burgäschisee: Sauerstoffverhältnisse im Jahre 1943

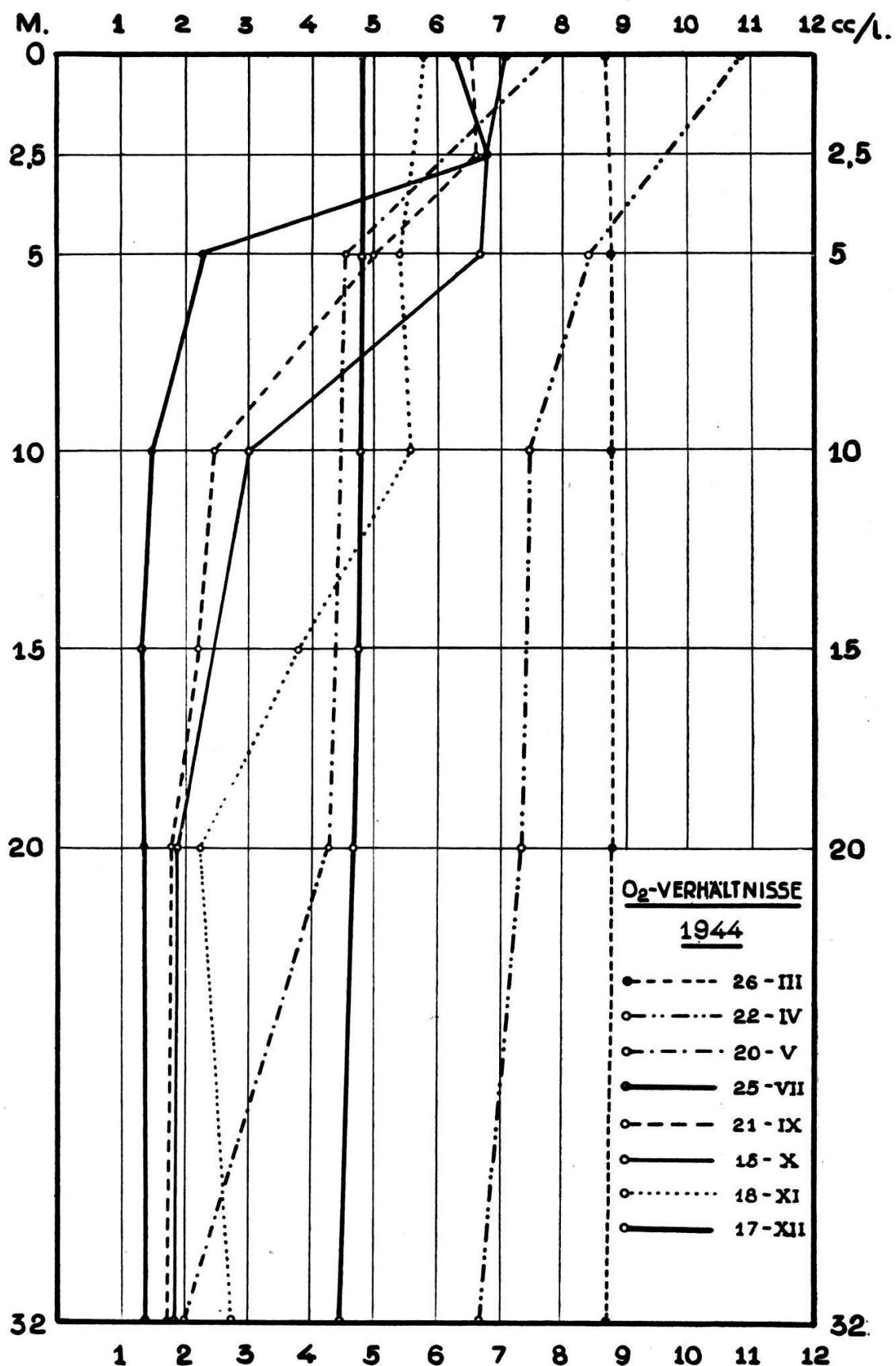
11. September 1943					17. Oktober 1943				
T	Tp	O ₂	S	% S	T	Tp	O ₂	S	% S
0	22,0	5,91	5,91	100,00	0	14,2	7,04	6,75	104,39
5	15,3	5,44	6,68	81,43	5	13,8	6,91	6,75	102,37
8	7,2	2,97	8,04	36,94	8	8,4	2,96	7,76	38,81
10	5,8	1,82	8,24	22,08	10	6,0	2,47	8,15	30,30
20	—	—	—	—	20	5,0	1,65	8,37	19,71
30	4,8	1,62	8,46	19,14	30	—	—	—	—
32	—	—	—	—	32	4,8	1,57	8,37	18,75
21. November 1943					15. Dezember 1943				
T	Tp	O ₂	S	% S	T	Tp	O ₂	S	% S
0	5,8	3,08	8,24	37,37	0	3,6	4,31	8,77	49,14
5	—	—	—	—	5	3,6	4,27	8,77	48,68
10	5,5	3,28	8,46	38,77	10	3,6	4,34	8,77	49,48
20	5,4	2,34	8,46	27,65	20	3,6	4,54	8,77	51,76
32	4,5	1,84	8,46	21,63	32	3,9	4,59	8,77	52,33

zu lassen, dass der Seeraum mit gutem bis genügendem Sauerstoffgehalt immerhin 49 % des gesamten Seevolumens ausmacht.

Die Verteilung des im Wasser gelösten Sauerstoffes wird sofort verständlich, wenn man die Temperaturkurven in Betracht zieht, aus welchen hervorgeht, dass im Burgäschisee während der Sommerstagnation eine wesentliche Erwärmung des Wassers nicht über 5—6 m Tiefe hinaus geht. Die in dieser Tiefenzone befindliche Temperatursprungschicht bildet eine Sperrre für die Austauschströmungen zwischen Epi- und Hypolimnion, und damit wird auch verhindert, dass das O₂-reiche Wasser der trophogenen Schicht in das Hypolimnion gelangen kann.

Erst die fortgeschrittene Herbstteilzirkulation im November, und die Herbstvollzirkulation im Dezember führen wiederum zu einer gleichmässigen Verteilung des Sauerstoffes im ganzen Seeraum.

Beim Studium der Zahlentabellen und der Kurventabelle wird auffallen, dass unmittelbar nach der Herbstvollzirkulation am



15. 12. 1943 und auch wieder am 17. 12. 1944 aus der Wasserdurchmischung zwischen O_2 -reichem Epilimnion und O_2 -armem Hypolimnion im ganzen Seeraum ein relativ niedriger Sauerstoffwert resultiert. Der im Wasser gelöste Sauerstoff betrug im Mittel 4,4 cc/l im Dezember 1943, im Dezember 1944 bei etwas weniger fortgeschrittener Wasserdurchmischung 4,8 cc/l. Wir dürfen aber bei der Beurteilung der Verhältnisse die niedrigen Wassertemperaturen nicht ausser acht lassen. Wenn wir nämlich unter Berücksichtigung der physiologischen Sättigungswerte den sogenannten Respirationswert¹⁸ berechnen, so stellt sich heraus, dass hinsichtlich des im Wasser gelösten Sauerstoffes im ganzen Seeraum ein durchaus normaler Zustand besteht, indem wir 119 respektive 159,5 % finden.

Dagegen waren beispielsweise hinsichtlich des Respirationswertes die Verhältnisse im November 1943 ganz besonders ungünstige, insofern als damals im gesamten Seeraum die Norm von 100 % nicht erreicht wurde, selbst an der Oberfläche fanden wir einen Respirationswert von nur 81,6 %.

Kieselsäure, SiO_2

Für den Kieselsäure-Gehalt eines Gewässers sind hauptsächlich die petrographischen Verhältnisse seiner Umgebung, namentlich auch diejenigen seiner Zuflüsse, massgebend. Zur Zeit der Homothermie im Dezember und März fanden wir jeweilen im Seewasser des Burgäschisees, sowohl der oberen als auch der tieferen Schichten, eine Kieselsäure-Konzentration von 3—3,5 mg/l.

Biologisch interessant sind gewisse Schwankungen im Kieselsäure-Gehalt des Wassers, die mit der Diatomeen-Vegetation in Zusammenhang gebracht werden können, also biogen bedingt sind. So beobachteten wir in allen drei Jahren der Untersuchung, dass nach dem Massenauftreten der Bacillariaceen¹⁹ im März und April

¹⁸ Respirationswert (RW) = Quotient zwischen O_2 -Gehalt des Wassers und dem physiologischen O_2 -Sättigungswert mal 100.

Vergleiche hierzu auch Brehm und Ruttner (5), sowie das in meiner Arbeit über den Moosseedorfsee über dieses Thema Ausgeführte. v. Büren (7), p. 153—154.

¹⁹ Ausser den *Bacillariaceen* kommen als SiO_2 -Konsumenten auch die *Mallomonadaceae* in Frage, deren Hüllen aus Kieselschuppen bestehen.

die Kieselsäure-Konzentration im Tiefenraum von 0—3 m, zuweilen sogar bis 5 m, von 3,5 auf 2 mg/l fiel, einmal sogar bis auf 1,5 mg/l. Hier hatten also die Diatomeen während ihrer grossen Vermehrungsperiode die Kieselsäure teilweise aus dem Seewasser abgebaut. Eine vollständige Erholung der Oberflächenschichten hinsichtlich der Kieselsäure findet meist erst bei der herbstlichen Teil- und Vollzirkulation statt. Die entsprechende Zunahme des Kieselsäure-Gehaltes nach dem Abklingen der Diatomeen-Hochproduktion in der Tiefe erreicht hier 4—4,5, ausnahmsweise sogar 5 mg/l, und ist durch die auf den Seegrund niedersinkenden, abgestorbenen Diatomeen bedingt.

Zum besseren Verständnis des Kieselsäure-Kreislaufes sei noch folgendes gesagt: Nicht alle abgestorbenen Diatomeen erreichen den Seegrund, denn solche mit zarten Schalen fallen schon während des Sinkprozesses der Zerstörung anheim, so dass die Kieselsäure sofort wieder in den Stoffkreislauf gelangt. Nur die resistenten, festgebauten Formen gelangen in die Tiefe, wo auch nur ein Teil davon erhalten bleibt, während ein anderer ebenfalls der Auflösung unterliegt. Ein gewisser Teil der Kieselsäure wird also auch hier dem Kreislauf zurückgegeben.

Für die lebende Diatomeenzelle bildet die Kieselmembran eine feste, schützende Hülle, die keineswegs der Auflösung unterliegt. Bei abgestorbenen Zellen dagegen treten veränderte Bedingungen ein, indem die Zerfallstoffe der Protoplasten die Auflösung der in der Membran eingelagerten Kieselsäure herbeiführten.

Eisen

Im sauerstoffhaltigen Wasser des Epilimnions ist gelöstes Eisen nicht zu erwarten und konnte auch im Burgäschisee nicht nachgewiesen werden. Im Wasser gelöstes Eisen kommt meist als Ferro-Bikarbonat vor, das aber in Gegenwart von Sauerstoff sofort unter CO_2 -Abgabe in unlösliches Ferri-Hydroxyd übergeht.

Dagegen gelang der Nachweis von gelöstem Eisen im sauerstoffarmen Wasser in der Tiefe des Burgäschisees. Insbesondere fanden wir dort vom September bis November, also nach einer längeren Periode geringer Sauerstoffspannung, Eisen-Konzentrationen von 0,3—0,45 mg/l, ausnahmsweise einmal, im September

1943, sogar 0,5 mg/l. Im Dezember desselben Jahres hatte ich die Gelegenheit, Wasserproben aus 0,15 und 32 m Tiefe unmittelbar nach dem Einsetzen der Herbstvollzirkulation, hinsichtlich ihres Eisengehaltes zu untersuchen. Das im Wasser gelöste Eisen musste sich zu dieser Zeit auf die ganze Wassermasse des Sees verteilt haben, wie es auch tatsächlich der Fall war. Selbst die damals verhältnismässig niedrige Sauerstoffspannung von 4,3—4,5 cc/l hatte aber offenbar bereits genügt, um in kürzester Zeit das im Wasser gelöste Eisen in allen Schichten bis auf den geringen Betrag von 0,04 mg/l²⁰ verschwinden zu lassen, respektive in unlösliches Ferri-Hydroxyd überzuführen.

Die während der Sommerstagnation am Seegrund im Wasser gelösten Eisenoxydul-Verbindungen ermöglichen und begünstigen eine Eisenbakterien-Vegetation. Wir finden denn auch besonders im Herbst eine ausserordentlich intensive Produktion von Ockerbakterien, *Leptothrix, ochracea* Kütz. Ueber die Morphologie, Physiologie (namentlich Eisenstoffwechsel) und Oekologie der Eisenorganismen vergleiche die Monographie von Cholodny (8), wo selbst auch ausgezeichnete Mikrophotographien reproduziert sind.

Ammoniak, NH₃

Im Epi- und Metalimnion ist in der Regel Ammoniak nicht, oder höchstens spurenweise, nachzuweisen. Dagegen kann vom Beginn bis zum Ende der Stagnationsperiode über dem Seeboden eine schrittweise Zunahme der NH₃-Konzentration festgestellt werden, und zwar in der Grössenordnung von 0,2—0,9 mg/l, in der halben Seetiefe um 15 m 0,1—0,15 mg/l am Ende der Stagnationsperiode.

Dieses Ammoniak wird durch Fäulnisprozesse pflanzlicher und tierischer Eiweissstoffe, die sich im und über dem Seeboden abspielen, frei. (Reduktive Vorgänge.)

Sobald diese sauerstoffarme, ammoniakhaltige über dem Seegrund liegende Wasserschicht von der thermisch bedingten Umenschichtung, resp. Zirkulation, erfasst wird, gelangt sie auch mit

²⁰ Dieser Wert liegt schon beinahe an der Erfassungsgrenze der angewandten Methode: Kaliumrhodanid unter Zuhilfenahme des Lunzer-Kolorimeter-Komparator.

sauerstoffreicherem Wasser in Berührung. Als bald setzt dann die Nitrifikation ein, und das Ammonium wird über Nitrit, unter Mitwirkung von Mikro-Organismen, in Nitrate übergeführt, denen für die pflanzlichen Organismen ein grosser Wert als N-Quelle zukommt.

In diesem Zusammenhang sei nochmals auf die grosse Bedeutung hingewiesen, die der thermischen Vollzirkulation für den Stoffkreislauf des Sees zukommt, nicht nur für den Stickstoff, sondern für sämtliche im Wasser gelösten Stoffe, insbesondere auch den sogenannten Minimum-Stoffen, wie z. B. die Phosphate u. a., die hier nicht näher untersucht und besprochen worden sind. Durch diesen Vorgang werden nämlich die in die Seetiefe abgesunkenen organischen Substanzen, welche dort durch bakteriellen Abbau in ihre anorganischen Bausteine zerlegt worden sind, als gelöste Nährstoffe wiederum in den Stoffkreislauf einbezogen. Auf diese Weise kann sich das durch die intensive Planktonproduktion im Lauf der Sommermonate an Nährstoffen stark verarmte Epilimnion (trophogene Schicht) wieder „erholen“.

So wird uns auch die enorme Phytoplankton-Produktion verständlich, die wir alljährlich schon im frühesten Frühjahr (März) in unseren kleinen Mittellandseen beobachten können, sobald die Lichtverhältnisse günstiger geworden sind.

Hinsichtlich des Stickstoffkreislaufes im Burgäschisee wäre noch zu bemerken, dass das Ammoniak offenbar sehr rasch oxydiert wird, denn schon kurz nach dem Einsetzen der Vollzirkulation fanden wir im freien Wasser Konzentrationen von höchstens 0,13 bis 0,15 mg/l, und selbst diese waren nach kürzester Zeit verschwunden.

Die Ergebnisse der physikalisch-chemischen, sowie der biologischen Untersuchungen, die im folgenden behandelt werden, zeigen, dass der Burgäschisee ein eutrophes* Gewässer ist.

* Es muss ausdrücklich hervorgehoben werden, dass es sich hier um eine natürliche, autogene Eutrophie handelt, im Gegensatz zu jenen Fällen, in welchen der eutrophe Zustand durch veränderte äussere Verhältnisse herbeigeführt wurde (allogen). Beispielsweise kann ein oligotrophes Gewässer (grosser Klarwassersee) durch überreiche Mengen von Nährstoffen (Abwässer) eutrophiert werden. In extremen Fällen erlangt die Eutrophierung Ausmasse, die vollständig veränderte biologisch-chemische Verhältnisse schaffen, wodurch der ursprünglich normale Stoffkreislauf derart gestört wird, dass man von einem „kranken“ See sprechen kann.