Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern

Band: - (1942)

Artikel: Der Moosseedorfsee : neue Beiträge zur Kenntnis seiner Physiographie und Biologie mit Einbezug des Kleinen Moosseedorfsees (Hofwilsee)

Autor: Büren, G. von

Kapitel: I: Die physikalischen und chemischen Verhältnisse

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-319412

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: 11.12.2025

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

Durch die Verarbeitung und die Auswertung des auf dieser Basis gewonnenen Beobachtungs- und Tatsachenmaterials wird es möglich, den Einfluss des Jahreszeitenwechsels auf den See zu erfassen, besonders den Wechsel zwischen Stagnations- und Zirkulationsperioden, der für den limnischen Lebensraum von so ausserordentlich einschneidender Bedeutung ist.

I. Die physikalischen und chemischen Verhältnisse

Optik

Dem Licht, d. h. der direkten Sonnenbestrahlung, als auch dem diffusen Tageslicht, kommt sowohl auf dem Lande als auch im Wasser eine hervorragende Bedeutung zu, indem es direkt und indirekt alle Lebensvorgänge beherrscht.

Von dem auf die Wasseroberfläche auffallenden Licht wird im Mittel 6 % reflektiert, während von dem in das Wasser eindringenden Strahlungsanteil ein Teil zerstreut, ein anderer absorbiert und in andere Energie, hauptsächlich Wärme, umgewandelt wird.

Von der in Wärme umgewandelten Strahlung werden die Temperaturverhältnisse, und damit auch die temperaturbedingten Schichtungsverhältnisse in den Gewässern geregelt, welche ihrerseits die Umschichtung der Wassermassen verursachen. Der transmittierende Strahlungsanteil dagegen, d. h. die in das Wasser eindringenden Strahlen, liefern die Energie für die Kohlensäureassimilation, dem lebenswichtigsten Prozess der grünen Organismen. Nun wird aber die Strahlung schon beim Durchgang von Wasserschichten geringer Mächtigkeit quantitativ und qualitativ stark verändert, wobei die im Wasser gelösten Stoffe und die anorganischen Suspensionen noch wesentlich beitragen.

Heute verfügt man bereits über gut durchgebildete Methoden, um die Strahlungsverhältnisse im Wasser quantitativ und qualitativ zu messen. Neben den kalorimetrischen und physiologischen stehen heute die photoelektrischen Methoden im Vordergrund des Interesses. Mit sogenannten Sperrschichtphotozellen[15]) ist es möglich, nicht nur die Intensität, sondern auch die spektrale Zusam-

[15]) Sperrschichtphotozellen liefern bei Bestrahlung, ohne Hilfsspannung, einen elektrischen Strom, indem hier eine direkte Umwandlung von Strahlungsenergie in elektrischen Strom stattfindet.

mensetzung der in verschiedenen Seetiefen herrschenden Beleuchtung zu ermitteln, was besonders für die Erforschung der Schichtungsverhältnisse der Planktonorganismen und auch ganz allgemein in biologischer Hinsicht von ausserordentlich grosser Bedeutung ist.

Bezüglich der Erforschung des Strahlungsklimas unter den oben angedeuteten Gesichtspunkten, und unter Benutzung der neuen Methoden, speziell der photoelektrischen, bieten die schweizerischen Gewässer noch ein reiches Arbeitsfeld, das besonders Forschern, die über gute mathematische und physikalische Kenntnisse verfügen, empfohlen sein möge. Leider musste ich mich meinerseits, hauptsächlich der Zeitumstände wegen, bei der Untersuchung der Sichttiefe ebenfalls auf die althergebrachte, weniger exakte Methode der Seccischeibe beschränken.

Die Sichttiefe

Unter Sichttiefe versteht man bekanntlich jene Tiefe, bei welcher eine weisse Scheibe von 30 cm Durchmesser verschwindet. Um störende Spiegelungsreflexe bei der Beobachtung der Scheibe zu vermeiden, versenkte ich diese stets im Schatten des Bootes, bei windgekräuselter Seeoberfläche ebenfalls das Schiff als Windschatten benutzend.

Durchsichtigkeitstabelle

1938/39		1939/40		1940/41	
8. März	0,71	14. März	0,90	8. März	1,05
7. April	1,00	22. April	1,20	19. April	1,80
11. Mai	0,95	16. Mai	1,00	Mai	—
8. Juni	0,58	20. Juni	1,20	11. Juni	**0,40**
11. Juli	0,90	13. Juli	0,80	20. Juli	1,20
9. August	1,85	15. August	0,93	19. August	1,20
14. September	2,10	20. September	1,40	20. September	2,15
10. Oktober	1,53	17. Oktober	1,20	22. Oktober	1,42
9. November	1,85	11. November	0,86	25. November	1,48
5. Dezember	1,72	10. Dezember	2,30	16. Dezember	2,00
23. Januar	1,86	Januar	—	18. Januar	**2,70 Eis**
6. Februar	2,00 Eis	7. Februar	0,70	24. Februar	1,20
Mittelwerte	1,42		1,13		1,50
Sichtamplitude	1,34		1,60		2,30

Als Durchsichtigkeitswerte sind in der beifolgenden Tabelle das Mittel von je sechs, bei jeder Terminuntersuchung ausgeführten Beobachtungen eingetragen.

Die maximale im Moosseedorfsee beobachtete Durchsichtigkeit betrug 2,70 m, die minimale 0,40 m, im Mittel während der ganzen Beobachtungsperiode 1,34 m. Im Gerzensee stellte ich als Maximum der Durchsichtigkeit 3,25 m fest, als Minimum ebenfalls 0,40 m, während im Amsoldingersee die entsprechenden Werte 5,40 und 1,25 m betrugen.

Aus dieser Zusammenstellung geht also hervor, dass der Moosseedorfsee in seiner Wasserdurchsichtigkeit hinter den beiden letztgenannten Seen zurücksteht. Fügen wir diesen Durchsichtigkeitswerten noch einige aus anderen Seen bei, denen, da ich dieselben innert Monatsfrist erhoben habe, als Vergleichswerte eine gewisse Bedeutung zukommt.

Moosseedorfsee	20. September 1940	2,15 m	stark eutroph
Baldeggersee	29. September 1940	1,60 m	stark eutroph
Hallwilersee	29. September 1940	3,40 m	eutroph
Sempachersee	28. September 1940	4,50 m	Uebergang zu oligotroph
Aegerisee	30. September 1940	4,70 m	Uebergang zu oligotroph
Genfersee	13. Oktober 1940	9,20 m	oligotroph

Die extremen Verhältnisse zwischen einem eutrophen und einem oligotrophen Gewässer hinsichtlich ihrer Durchsichtigkeitsverhältnisse sind aus den beifolgend zusammengestellten Beobachtungsreihen ersichtlich.

Moosseedorfsee			Genfersee		
Datum	Sichttiefe m	$KMnO_4$-verbrauch mg/l	Datum	Sichttiefe m	$KMnO_4$-verbrauch mg/l
10. X. 38	1,65		12. X. 38	8,0	
24. II. 41	1,20	16,55—17,82	16. II. 41	16,20	4,45
15. V. 41	1,40	15,01	10. V. 41	5,70	4,36—5,30
19. VI. 41	0,75		15. VI. 41	5,70	

Die starke Wassertrübung im Moosseedorfsee ist hauptsächlich auf die intensive Planktonproduktion zurückzuführen, ferner auch auf Humusstoffe, die aus dem angrenzenden Moorgebiet eingeschwemmt werden, während mineralische Partikel hier nur eine untergeordnete Rolle spielen. Auch die relativ hohen Permanganatwerte weisen darauf hin, dass organische Suspensionen im Moosseedorfsee eine sehr wesentliche Ursache der geringen Was-

serdurchsichtigkeit sind. Der Kaliumpermanganatverbrauch beträgt im Durchschnitt 17,3 mg/l.

Nach dem eben Gesagten sollte man nun erwarten, dass Planktonmenge und Durchsichtigkeit umgekehrt proportional sind. Vergleiche zwischen der Menge des sedimentierten Planktons und den Durchsichtigkeitswerten zeigen aber, dass dies nicht unbedingt zutrifft. Es ist eben auch zu berücksichtigen, dass es nicht nur auf die Menge, sondern auch auf die Beschaffenheit der Organismen ankommt inwiefern diese die Durchsichtigkeit und die Färbung ihres Milieus beeinflussen.

Immerhin konnte festgestellt werden, dass in den Wintermonaten, hauptsächlich während der Eisbedeckung des Sees, das Phytoplankton quantitativ ganz bedeutend zurückgehen kann und dann dementsprechend, sogar unter der Eisdecke, verhältnismässig grosse Durchsichtigkeitswerte erhoben werden können. Dies war besonders auffallend, als ich am 18. Januar 1941, bei einem ausgesprochenen Minimum an Plankton, die während der ganzen Beobachtungsperiode grösste Durchsichtigkeit von 2,70 m mass. Ausserdem sind bei der absoluten Wasserruhe, die unter der Eisdecke herrscht, die besten Voraussetzungen zu einer ungestörten Sedimentation toter Suspensionen gegeben.

Wollen wir jetzt auf Grund dieser Ergebnisse die Strahlungsverhältnisse unseres Sees beurteilen, so müssen wir zunächst in Betracht ziehen, dass vergleichende Untersuchungen vermittelst der Seccischeibe einerseits und photoelektrischen Apparaten anderseits gezeigt haben, dass Sichttiefe und Lichtdurchlässigkeit des Wassers in keiner unmittelbaren Abhängigkeit voneinander sind. SAUBERER (55, p. 49—51).

In trübem Wasser verschwindet die Seccischeibe ziemlich rasch, indem die Suspensionen die Strahlen diffus zerstreuen (Okkultation) und das Bild der Scheibe bald unscharf wird. Trotzdem können die Lichtverhältnisse in einem solchen Gewässer noch recht gut sein. In gelblich gefärbten Wässern dagegen ist die Sichttiefe im Vergleich zur Lichtdurchlässigkeit immer sehr gross. Die im Wasser gelösten Substanzen (Humusstoffe) wirken aber stark absorbierend auf die eindringenden Lichtstrahlen, so dass auch in einem klaren Gewässer in jener Tiefe, in welcher die Seccischeibe verschwindet, nur noch eine geringe Lichtintensität herrscht.

Sowohl Trübungen als auch Färbungen des Wassers durch Humusstoffe, namentlich die letzteren, haben eine besonders starke Transparenzverminderung für Blau, Violett und Ultraviolett, also dem kurzwelligen Bereich des Spektrums zur Folge. Dagegen ist der Einfluss dieser Faktoren auf die Durchlässigkeit für langwelliges Licht viel geringer.

Wenn also nach dem oben Auseinandergesetzten die geringe Durchsichtigkeit des Moosseedorfsees infolge der Suspensionen nicht auf ein entsprechend schlechtes Eindringungsvermögen des Lichtes schliessen lässt, so ist anderseits anzunehmen, dass ziemlich viel Licht von den im Seewasser gelösten Stoffen [16]) schon in den oberen Schichten absorbiert wird. Im Moosseedorfsee dürfte schon in einer geringen Wassertiefe der prozentuale Anteil der Gesamtstrahlung ein recht geringer sein.

Ich hoffe später, auf Grund vorgesehener lichtelektrischer Messungen, über das Lichtklima des Moosseedorfsees und anderer Seen genauere Angaben mitteilen zu können.

Um die Eigenfarbe (Wasserfarbe) des Moosseedorfseewassers möglichst objektiv festzustellen, habe ich das von OHLE (47) angegebene kolorimetrische Verfahren angewendet. Aus verschiedenen Seetiefen entnommene Wasserproben werden im Lunzer Kolorimeter (Röhren von 30 cm Länge, 1,5 cm Durchmesser und 50 cm^3 Inhalt) gegen eine Methylorange Lösung verglichen, deren Gehalt 0,01 mg/l als Einheit beträgt. Die Wasserfarbe findet ihren Ausdruck zweckmässig in absoluten Zahlen. So bedeutet beispielsweise 5 den Farbton, der einer Lösung entspricht, die $^5/_{100}$ mg Methylorange im Liter enthält. Durch dieses Verfahren sind wir in der Lage, die Wasserfarbe verschiedener Gewässer zu vergleichen, sowie Farbveränderungen festzustellen, die im jahreszeitlichen Verlauf eintreten können.

OHLE teilt die Gewässer auf Grund der so bestimmten Wasserfarbe in drei Gruppen:

Gruppe I = 0— 5 oligotroph—schwach eutroph
Gruppe II = 5—15 eutroph
Gruppe III = > 15 eigentliche Braunwasserseen.

In den oligotrophen Seen gehören die Farben aller Wasser-

[16]) Vergl. den folgenden Abschnitt.

schichten zu jeder Jahreszeit in die Gruppe I.[17]) In den Uebergangsseen leiten die Farben der bodennahen Wasserschichten, nur selten in schwachem Grade auch diejenigen geringerer Tiefen, über zu der Gruppe II. Dagegen gehören am Ende des Sommers die hypolimnischen Proben in den Seen schwacher Eutrophie zu der Gruppe II, in jenen stärkerer Eutrophie reichen die Farben sogar bis in die III. Gruppe.

Für die Oberflächenproben fand ich im Moosseedorfsee die entsprechenden Methylorange-Werte 5—13, der am häufigsten vorkommende Wert betrug 9. In 10 m Tiefe war der Durchschnittswert 12, während er in den bodennahen Schichten in den Monaten August, September und Oktober auf über 20 stieg. Die Auswertung meiner Farbenbestimmung nach der von OHLE gegebenen Einteilung und Deffinition weist darauf hin, dass der Moosseedorfsee in die Gruppe der stark eutrophen Seen einzureihen ist.

In Ergänzung dieser Farbenbestimmung habe ich auch Wasserproben ebenfalls im Kolorimeter-Komparator untersucht und mit den Farbskalen des Code Universel des Couleurs von SEGUY (60) verglichen. Die meisten auf diese Weise geprüften und verglichenen Proben aus dem epilimnischen Seeraum zeigten eine sehr gute Uebereinstimmung mit dem Farbton 270, der ein lichtes Gelb darstellt.

Die Eigenfarbe eines Seewassers wird nicht nur von den darin gelösten organischen Substanzen (Gelbstoffe) und anorganischen Suspensionen bestimmt, sondern auch die Schwebeorganismen sind oft mitbestimmend, zeitweise sogar ausschlaggebend für die Wasserfarbe. Zahlreiche Planktonorganismen sind zwar farblos und durchsichtig, andere dagegen, besonders die Phytoplankter, sind stark pigmentiert. Treten diese in grosser Menge auf, so kann die Eigenfarbe des Wassers durch die Planktonsuspensionen über-

[17]) Die Wasserfarbe oligotropher Seen ist zuweilen so gering, dass sie im Kolorimeter-Komparator vom reinen destillierten Wasser kaum zu unterscheiden ist. Das war z. B. der Fall bei Wasser aus dem Genfersee, von dem ich am 16. Februar 1941 Proben im Pelagial entnommen und untersucht habe, deren Methylorangewert 1 nicht erreichte, während am 24. Februar 1941 die Färbung des Wassers im Moosseedorfsee den Wert 13 hatte. Wasserproben aus dem Genfersee von Mitte Mai und Juni des gleichen Jahres hatten die Farbe 1—1,5, die entsprechenden Färbungen im Moosseedorfsee waren 7 und 9.

tönt oder auch verstärkt werden, was zu Vegetationsfärbungen führt. Eine Vegetationsfärbung ist um so intensiver, je näher die Algenansammlung an der Wasseroberfläche liegt. Bei massenhafter Ansammlung der Organismen an der Wasseroberfläche kommt es zu eigentlichen Wasserblüten. Beide Erscheinungen habe ich Gelegenheit gehabt, im Lauf der Jahre im Moosseedorfsee zu beobachten.

Eine Verstärkung der Eigenfärbung des Seewassers (Methylorangewert 9) in den oberen Schichten wird besonders durch *Synedra* und auch *Stephanodiscus* herbeigeführt, die dort im frühen Frühjahr, Februar und März, gelegentlich auch noch später, zu einer enormen Entfaltung gelangen. Die braun bis braungelben Assimilationspigmente dieser Diatomeen verstärken die gelbliche Eigenfarbe des Wassers gelegentlich so stark, dass der entsprechende Methylorangewert fast einen Betrag erreicht, der sonst nur eigentlichen Braunwässern zukommt. Der Beweis, dass diese Farbenverstärkung wirklich von den Organismen herrührt, ergibt sich aus der Tatsache, dass Filtrate solcher Wasserproben, die ein Porzellanfilter passiert haben, eine leicht gelbliche Farbe haben, deren Methylorangewert der durchschnittlichen Eigenfarbe des Wassers entspricht.

Auch in der Tiefe des Sees kann, besonders am Ende der Stagnationsperiode, als Folge einer intensiven Vegetation von Eisenorganismen *(Leptothrix)* die Eigenfarbe des Wassers ganz bedeutend verstärkt werden.

Eine gelbgrüne Wasserfarbe erzeugen *Uroglena volvox* und *Dinobryon,* wenn sie zur Massenentwicklung gelangen. Auffallend ist bei letzterem Organismus, dass er zugleich auch eine milchige Trübung des Wassers hervorruft. Eine ausgesprochen grüne Wasserfarbe habe ich nur selten beobachtet, sie scheint durch das starke Auftreten der Chrysomonadine *Mallomonas* hervorgerufen zu werden, besonders dann, wenn zugleich etwa die sonst stark vorherrschende Diatomeenflora im Rückgang begriffen ist. In diesen Fällen ist die Ueberlagerung der gelblichen Eigenfarbe durch grün so stark, dass die Bestimmung der Wasserfarbe mit der Methylorangemethode vollständig versagt. Im Kolorimeter, bei einer Schichthöhe von 30 cm geprüft, zeigen dann die Wasserproben eine gute Uebereinstimmung mit Nr. 395 der SEGUYschen Farbenskala.

Diese von gelb und gelbbraun abweichenden Wasserfarben habe ich, wie gesagt, nur selten und sehr vorübergehend beobachtet. Sowohl durch die im Wasser gelösten Gelbstoffe, als auch durch die Assimilationspigmente der Planktonorganismen, besonders wenn diese in grösserer Dichte auftreten, wird nicht nur die Strahlungsintensität, sondern auch die spektrale Zusammensetzung des Lichtes im Wasser wesentlich beeinflusst. Ausser im Rot, durch das Chlorophyll a und b, hat das Gesamtpigment im Blau und Blauviolett eine besonders stark absorbierende Wirkung. (Vergl. hierzu auch die Untersuchungen von HANDKE (23) über Produktionsmessung mittelst Pigmentanalysen.)

Von der echten oder wahren Farbe des Gewässers ist die scheinbare zu unterscheiden. Diese wird nicht allein von der Beschaffenheit des Wassers, sondern ebensosehr von jener seiner Umgebung bestimmt, wobei die Reflexionserscheinungen an der Wasseroberfläche von grösster Bedeutung sind. Ausser dem spektral veränderten, aus der Umgebung zugestrahlten Licht, spielt die, je nach Tageszeit und Bewölkungsgrad des Himmels sehr wechselnd zusammengesetzte, diffuse Strahlung eine sehr wichtige Rolle. Bei seichten Gewässern ist auch die Farbe des Grundes von mitbestimmendem Einfluss auf die scheinbare Farbe. Diesem letzteren Faktor kommt allerdings im Moosseedorfsee keine Bedeutung zu, da flache Uferpartien von nennenswerter Ausdehnung hier nicht vorhanden sind. Die scheinbare Farbe dieses Sees ist als dunkelgrün (SEGUY 428 u. 430) zu bezeichnen. Leider musste auf die bei diesen Bestimmungen sonst übliche Benutzung der Farbenskala von FOREL-ULE ganz verzichtet werden, da sich eine befriedigende Uebereinstimmung der Seefarbe mit keiner ihrer Nummern finden liess.

Die Erscheinung, dass auch gelegentlich einmal der Moosseedorfsee aus der Ferne blau erscheinen kann, hat mit der Farbe des Wassers nichts zu tun, hier handelt es sich lediglich um einen Spiegelungseffekt. Ist z. B. die Wasserfläche von einer leichten Brise gekräuselt, dann spiegelt sich das blaue Himmelsgewölbe in den Fazetten der unzähligen Wellchen, und der Seespiegel erscheint blau.

Fluoreszenz

MERKER (39) hat darauf aufmerksam gemacht, dass Wasser aus stark belebten Gewässern die Eigenschaft besitzt, bei Bestrahlung mit Ultraviolettstrahlen in bläulich weissem Licht aufzuleuchten, während reines Quellwasser oder frisch hergestelltes destilliertes Wasser nicht fluoreszieren. Ueber die Natur der Stoffe, welche die Fluoreszenz erzeugen, lässt sich noch wenig sagen, immerhin ist festgestellt, dass es sich um Zerfallstoffe handelt, die von pflanzlichen und tierischen Organismen, besonders von letzteren, herrühren. Ueber die Fluoreszenz des Moosseedorfseewassers (und Genferseewassers) konnte ich die folgenden Beobachtungen [18]) machen.

Wasserproben vom 25. November 1940 aus Tiefen von 2,5, 5 und 15 m Tiefe zeigten ohne Unterschied eine starke [19]) Fluoreszenz. Bei Wasserproben vom 30. Juli 1940 war diese Erscheinung im Oberflächenwasser bedeutend schwächer als im Wasser aus 10 und 20 m Tiefe. Diesen Unterschied stellte ich in gleicher Weise auch am 24. Februar 1941 fest. Dagegen zeigte Wasser aus dem Genfersee, das am 16. Februar 1941 dem Tiefenraum zwischen 0 und 20 m entnommen war, gar keine Fluoreszenz. Im Mai und Juni 1941 zeigte sich wiederum in allen Tiefen des Moosseedorfsees eine intensive Fluoreszenz, während diese Erscheinung im Genfersee (Tiefenraum 0—20 m) nur äusserst schwach festzustellen war. Die Intensität der Fluoreszenz kann also auch mit als Mass für die Reinheit des Wassers herangezogen werden. In biologischer Hinsicht ist die Fluoreszenz insofern von Bedeutung, als fluoreszierendes Wasser das Licht spektral in der Weise verändert als die kurzwelligen Strahlen (blau und violett) stark absorbiert werden.

---

[18]) In Quarzröhren abgefüllte Wasserproben wurden, nebst Kontrollproben frisch hergestellten destillierten Wassers, im Licht einer Quarzglas-Quecksilberlampe (Ultravisor) betrachtet, indem ultraviolette Strahlen in hohem Mass die Eigenschaft haben, die Fluoreszenz zu erregen.

[19]) Vorläufig müssen wir uns mit dieser allgemeinen und subjektiven Schätzung begnügen, da es mir leider nicht gelungen ist, mit Chininsulfat und anderen organischen Stoffen Standartlösungen herzustellen, die geeignet wären, die verschiedenen Intensitätsgrade der Fluoreszenz festzuhalten.

Thermik

Ausser dem Licht ist die Wärme der wichtigste Regulator der Lebensvorgänge. Die Temperaturverhältnisse beherrschen darüber hinaus, durch die Dichteänderung des Wassers, indirekt die grossen Vorgänge, die den Wasser- und Stoffhaushalt der Seen steuern. Deshalb ist dem Studium der Wärmeverteilung im See die allergrösste Aufmerksamkeit zugewendet. Bei der Auswertung der Temperaturbeobachtungen habe ich auch grossen Wert darauf gelegt, die meteorologischen Verhältnisse, die während der entsprechenden Beobachtungsperioden herrschten, zu diesen in Beziehung zu bringen. Hierzu dienten mir, neben eigenen meteorologischen Beobachtungen und fortlaufenden Witterungsnotizen, Beobachtungen vom Observatorium Bern [20]) und die von der meteorologischen Zentralstation in Zürich herausgegebenen monatlichen Witterungsberichte.

Technik und Ort der Messungen

Die Temperaturlotungen sind vom 8. März 1938 bis zum 19. Juni 1941 monatlich, über der tiefsten Stelle vom See, d. h. ungefähr in der Mitte des oberen Seebeckens, ausgeführt worden. Somit stützen sich die hier niedergelegten Ausführungen über die thermischen Verhältnisse des Moosseedorfsees auf Messungsserien, die sich über eine Zeitspanne von drei Jahren erstrecken.

Für die Messungen benutzten wir das Friedingersche Kipp-thermometer ($^1/_5{}^0$ Teilung, welches bereits bei meinen früheren Untersuchungen am Amsoldingersee und Gerzensee gedient hatte.

Die Ablesung des Thermometers fand vermittelst einer Lupe statt, wobei darauf geachtet wurde, den parallaktischen Fehler möglichst zu vermeiden.

Die Abstände der Lotungen richteten sich nach den thermischen Schichtungsverhältnissen. Im Hypo- und Metalimnion waren sie im allgemeinen 1 m, nötigenfalls gelangten noch Zwischenmessungen zur Ausführung.

Die Ergebnisse der Temperaturserien von März 1938 bis März 1940 sind in den beifolgenden Zahlentabellen niedergelegt, wäh-

[20]) Ich möchte an dieser Stelle dem Direktor des Berner Observatoriums, Herrn Prof. H. GREINACHER, für die zahlreichen Auskünfte, sowie die Erlaubnis, in die Witterungsanalen Einsicht nehmen zu dürfen, meinen besten Dank erstatten.

rend die Temperaturserien des dritten Beobachtungsjahres (Juni 1940 bis Juni 1941) in Kurven dargestellt sind.

Jahreszeitlicher Gang der Temperatur

(Vergleiche hierzu die Zahlen- und Kurventabellen.)

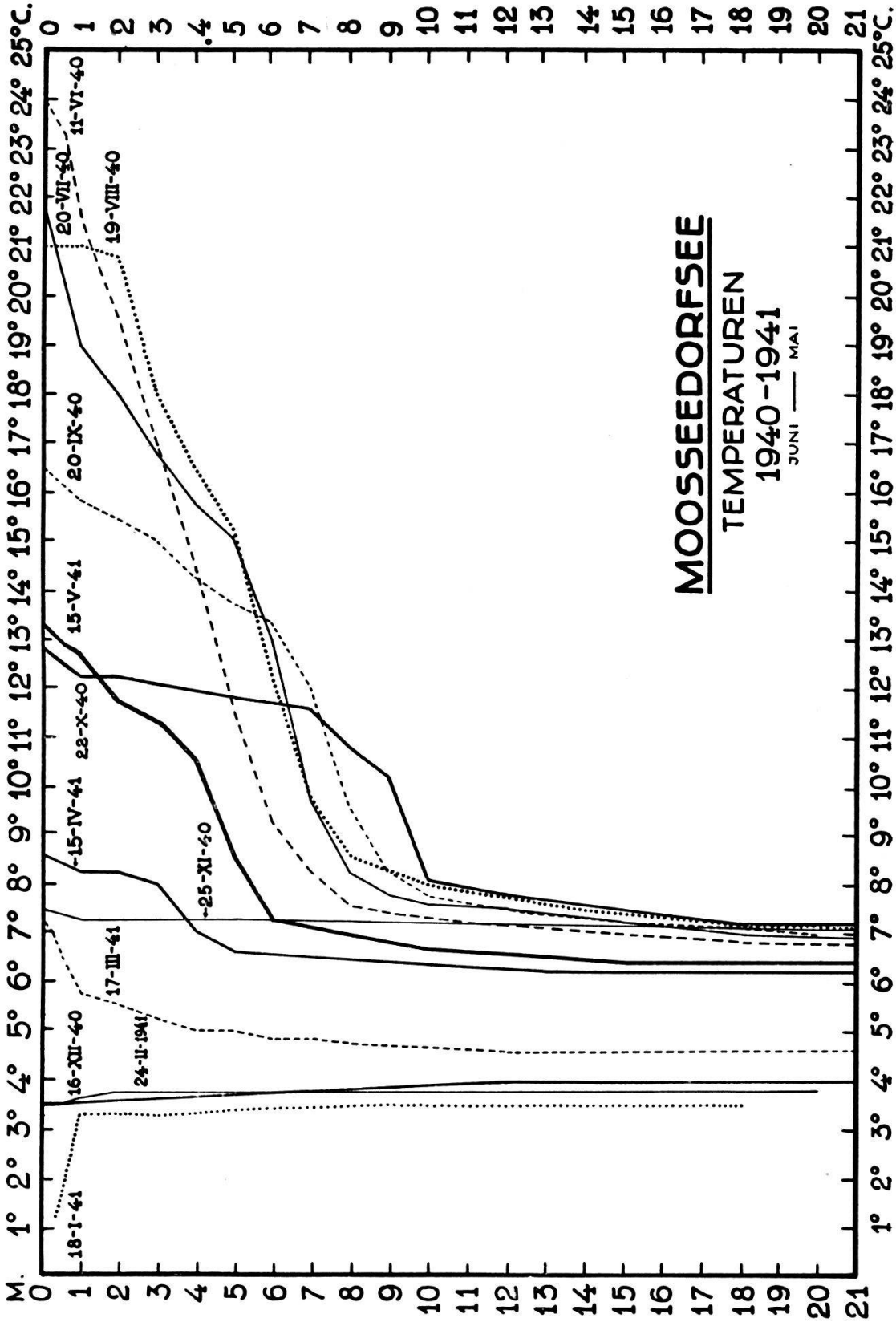
Im Vorfrühling, kurz nach dem Auftauen der Eisdecke, erwärmt sich zunächst das Oberflächenwasser auf 4°, dieses wird,

Temperaturen

1938/39	8. III. 1938	7. IV. 1938	11. V. 1938	8. VI. 1938	11. VII. 1938	9. VIII. 1938	14. IX. 1938	10. X. 1938	26. X. 1938	9. XI. 1938	5. XII. 1938	9. I. 1939 unter Eis	6. II. 1939 unter Eis
m													
0	8,4	11	15	23,4	19	23,3	20	14,3	11,3	9,2	7	0,4	3,0
0,5	6,1	10,3	—	21,4	—	—	18,0	14,4	—	—	—	3,1	4,0
1	6,0	9,3	14,3	20,1	18,3	22,4	17,4	13,3	—	9,1	—	3,3	4,0
1,5	—	—	—	19,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	17.1	—	—	—	—	—	—	—	3,3	—
2,5	5,0	8,3	—	16	17,1	20,3	16,4	13,2	11	—	6,4	3,3	4,0
3	4,3	—	14,1	14,4	16,0	18,2	16,2	13,2	—	—	—	3,3	4,0
4	—	—	13 3	—	15,1	16,3	—	—	—	—	—	3,3	—
5	4,2	7,0	10,2	12,3	14,1	14,1	15	13,2	11	9,0	6,4	—	—
6	—	—	9,4	11,3	12,3	—	13,1	13,1	—	—	—	—	4,0
7	—	—	—	—	10,4	—	—	12,1	—	—	—		
7,5	4.1	—	8,3	9	9,3	9,4	10,1	11,3	11	9,0	—		
8	—	—	—	—	—	—	—	10,1	—	—	—		
8,5	—	—	—	8,2	—	—	9,1	9.0	—	—	—		
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
10	—	6,0	8.0	7,4	8,3	8,1	8,3	8,2	8,3	8,4	6,4		
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
12	—	—	7,3	7,3	7,4	8,0	8,0	8,1	8.1	8,1	—		
12,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
13	—	—	—	—	—	—	—	8,0	—	—	—		
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
15	4,0	5,4	6,4	7,1	7,2	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	6,4		
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
17	—	5,3	—	7.0	7,1	7,3	7,3	7,2	7,2	—	—		
18	4,0	—	—	7,0	—	—	—	7,2	—	—	—		
19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,2	6,4		
20	—	—	—	—	—	—	—	—	7,2	—	—		
21	4,0	5,1	6,4	7,0	7,0	7,1	7,1	7,2	7,2	6,4	—		
21,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,4	—		

1939/40	14. III. 1939	22. IV. 1939	16. V. 1939	20. VI. 1939	13. VII. 1939	15. VIII. 1939	20. IX. 1939	17. X. 1939	11. XI. 1939	10. XII. 1939	19. XII. 1939	23. I 1940 unter Eis	8. III. 1940	26. III. 1940	29. III. 1940
Luft	14°	20°		15°	23°	21,3°				+4°	−1,5°	−6°	+1°	+14°	+3°
m															
0	5,0	11,1	10,4	18	23,3	21	16,4	13,2	9,1	5,4	4,35	1,0	4,1	11	7,15
0,5	—	—	10,4	17,3	23,0	20,15	—	12,4	8,4	—	—	2,4	4,1	10	7,25
1	—	—	10,3	17,4	21,1	20	16,2	12,2	8,2	—	—	3,1	—	8,2	—
1,5	—	—	—	17,4	20,4	19,3	—	—	—	—	—	—	—	—	7,2
2	—	—	—	15 4	19,2	—	16,1	12,0	—	—	—	—	—	7,2	7,1
2,5	—	10,3	10,2	15,1	18,0	17,4	—	—	—	—	—	—	—	—	6,3
3	—	—	10,1	13,4	16,1	17,0	15,2	11,4	8,1	—	—	3,3	—	6,4	6,1
4	—	—	9,3	12,1	13,3	15,0	—	—	—	—	—	3,4	—	6,2	6,1
5	—	8,3	9,1	11,1	11,3	13,4	14.3	11,2	7,4	5,4	—	—	4,0	6,1	6,0
6	—	—	—	10,0	9,4	11,0	12,0	—	—	—	—	—	—	5,4	6,0
7	—	6,4	—	8,3	—	—	9,3	—	—	—	—	—	—	—	—
7,5	—	—	7,2	7,4	7,4	8,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	6,4	—	—	—	8,0	10,1	7,3	—	—	—	—	—	—
8,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	7,0	—	8,4	—	—	—	—	—	5,2	5,4
10	4,3	5,2	6,2	6,1	6,3	6,4	7,0	7,1	7,2	5,4	4,35	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	7,0	—	—	—	—	4,0	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	7,2	—	—	—	—	—	—
12,5	—	—	5,3	6,0	6,1	6,25	6,35	6,4	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,1	5,3
14	—	—	—	—	—	—	—	—	6,25	—	—	—	—	—	—
15	—	—	5,2	5,3	5,4	6,1	6,3	6,2	—	—	—	—	—	5,0	—
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	5,0	—	—	5,4	6,0	—	—	6,1	—	—	3,4	—	—	—
18	—	—	—	5,2	—	—	6,1	6,1	—	—	—	3,4	—	4,4	—
19	4,3	5,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	4,3	—	—	5,2	5,4	5,4	—	—	—	5,4	—	—	—	—	—
21	—	—	5,1	5,2	5,3	5,4	—	6,1	6,1	—	4,35	—	4,0	—	—
21,5	—	—	—	—	—	—	6,0	—	—	—	—	—	—	4,4	—

weil spezifisch schwerer, untersinken und dabei sämtliche Schichten passieren müssen, so dass der See zu einem bestimmten Zeitpunkt in seinem gesamten Wasserkörper, von oben bis unten, die gleichförmige Temperatur des Dichtemaximums von 4° annehmen wird. Es ist die Frühlings-Vollzirkulation, ein Zustand, der wegen der geringen Abkühlung des Tiefenwassers von nur kurzer Dauer ist. Je nach den Witterungsverhältnissen wird die Temperatur


MOOSSEEDORFSEE
TEMPERATUREN
1940-1941
JUNI — MAI
M.
25°C.
18-I-41
16-XII-40
24-II-1941
17-III-41
15-IV-41
22-X-40
15-V-41
25-XI-40
20-IX-40
20-VII-40
19-VIII-40
11-VI-40

des Dichtemaximums etwas früher oder später erreicht werden, im Moosseedorfsee Ende Februar oder Anfang März. Im Jahre 1940 z. B. haben wir diese am 8. März festgestellt.

Es folgt nun die Erwärmung von 4° C. bis zum Jahresmaximum, was im Moosseedorfsee von Anfang März bis August dauert. Der See befindet sich in diesem Zeitraum im Zustand der sogenannten Sommerstagnation, er ist dadurch charakterisiert, dass immer das wärmere, leichtere Wasser über kälterem, schwerem liegt. Eine Wasserzirkulation findet in dieser Periode, abgesehen von Durchmischungen, die etwa gelegentlich durch kräftige Winde verursacht werden, nicht statt.

Im März setzt nun rasch die Erwärmung der Oberflächenschichten ein, und zwar ganz vorherrschend unter dem Einfluss der im Wasser absorbierten Sonnenstrahlung, während die Abgabe der Wärme von der Luft an das Wasser eine nur ganz untergeordnete Rolle spielt.

Zu Beginn der Sommerstagnation sind allerdings die Temperaturen noch niedrig, und infolgedessen ist auch die Stabilität[21]) der nur oberflächlichen Temperaturschichtung sehr gering. Verhältnismässig schwache Windstärken vermögen die bereits entstandene Schichtung durch Mischung teilweise wieder zum Verschwinden zu bringen. So hatten sich beispielsweise im Jahre 1940 bis zum 26. März die Oberflächenschichten bis in eine Tiefe von 2,5 m schon wesentlich erwärmt, als am 27. März schlechtes Wetter eintrat. Ein Schneesturm am folgenden Tage führte einen empfindlichen Kälterückfall herbei. Am Nachmittag des 29. März, also 72 Stunden nach der ersten Temperaturerhe-

[21]) Stabil, d. h. beständig, im Gleichgewicht sich befindend, ist die Schichtung eines Sees, wenn die oberen, mehr oder weniger stark erwärmten Schichten desselben, allmählich mit zunehmender Tiefe in kühlere und schliesslich kältere übergehen, wenn dieser also thermisch geschichtet ist. Infolge der nach unten abnehmenden Temperatur und zunehmenden Dichte des Wassers liegt der Schwerpunkt der Wassermasse in einem thermisch geschichteten See immer tiefer als in einem solchen, dessen Wasser sich in durchmischtem Zustand befindet. W. SCHMIDT (56) hat eine Methode ausgearbeitet, um die Energiemenge zahlenmässig zu erfassen, die notwendig ist, um eine Schichtung zu erzeugen oder zu zerstören. Dieser Arbeitsaufwand kann auch als Mass für die „Stabilität" der Schichtung in einem See verwendet werden. In einem nach Temperatur und Dichte geschichteten See ist somit nicht nur ein Wärmeinhalt, sondern auch ein Inhalt an mechanischer Energie gespeichert.

bung, konnte ich feststellen, dass die Oberflächentemperatur von 11° auf 7,6° zurückgegangen war. Wie aus den Kurvenbildern in Fig. 1 ersichtlich ist, hat sich die Oberflächenabkühlung bis in eine Tiefe von 6 m ausgewirkt. Das Temperaturgefälle war

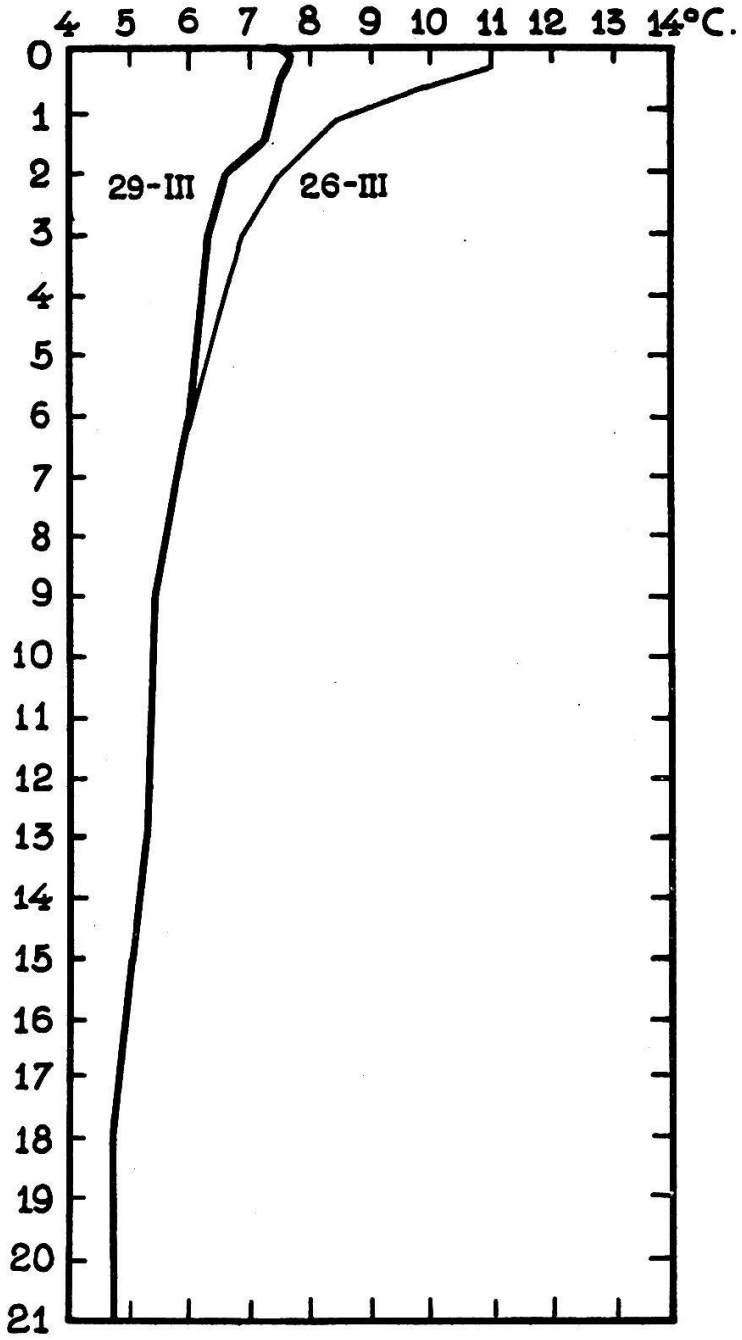


Fig. 1
Temperaturrückgang in den oberen Wasserschichten des Moosseedorfsees zu Beginn der Sommerstagnation, bei noch geringer thermischer Stabilität, als Folge eines Kälterückfalles am 27. März 1940.

dementsprechend wieder steiler geworden. In dieser kurzen Zeitspanne von drei Tagen war die mittlere Seetemperatur (mittlere Temperatur des gesamten Wasserkörpers) von 6,28° auf 5,74° gefallen, also um etwas mehr als einen halben Grad. Der Wärmeverlust betrug 589 gr./cal. pro cm^2.

Infolge von Durchmischungsvorgängen — Diffusionsvorgänge spielen hier nur eine ganz untergeordnete Rolle — schreitet die Erwärmung langsam von der Oberfläche nach der Tiefe fort, wobei die Wirkung immer geringer wird. Diese Erscheinung kommt besonders deutlich zum Ausdruck, wenn wir für einzelne Tiefenstufen die Maximalschwankungen der Seewassertemperaturen zusammenstellen. Diese betragen im Mittel:[22])

an der Oberfläche		18,3°
in	2,5 m	13,8°
in	5 m	10,4°
in	7,5 m	7,0°
in	10 m	3,7°
in	15 m	3,2°
in	21 m	2,9°

Aus dieser Zahlentabelle geht hervor, dass die sommerliche Erwärmung im Moosseedorfsee in erheblichem Mass nur bis in eine Tiefe von 7,5 m eindringt. Das sind immerhin noch 57 % der gesamten Wassermasse, so dass also über die Hälfte des Seevolumens von der Erwärmung erfasst wird. Auffallend ist aber auch hier, wie langsam und unvollkommen die Erwärmung stattfindet, verglichen mit einem grossen Klarwassersee von rein oligotrophem Charakter wie z. B. dem Genfersee.

Nach eigenen Temperaturmessungen aus dem Sommer 1941, und solchen von BAUDIN (4) aus dem Jahre 1916, sowie früheren von FOREL und DELEBEQUE, die alle durchaus übereinstimmend sind, ergeben sich für die entsprechenden Tiefenstufen im Genfersee die folgenden jährlichen Temperaturschwankungen:

in	0 m	17,5°
in	5 m	14,2°
in	10 m	13,3°
in	15 m	11,2°
in	20 m	9,4°

[22]) Mittel aus dreijährigen Temperaturbeobachtungen. Die Maximalschwankungen sind vom Dichtemaximum, also von 4° an gerechnet.

BIBLIOTHEK der E. T. H.

Diese Werte sind ebenfalls vom Dichtemaximum (bei 4°) an gerechnet. Demnach hat also die mehr oder weniger homogen erwärmte Oberflächenschicht im Genfersee eine Mächtigkeit von zirka 15 m. Das Eindringen der sommerlichen Erwärmung bis in eine so beträchtliche Tiefe ist hauptsächlich auf die intensive Winddurchmischung des Oberflächenwassers zurückzuführen. Dabei ist nicht ausser acht zu lassen, dass sich hier grössere Windwellen bis in eine Tiefe von 9 m auswirken können.

Dagegen scheint es eine ganz allgemeine Erscheinung zu sein, dass sich die kleinen Mittellandseen nur bis in eine relativ geringe Tiefe erwärmen, wie wir das bereits für den Amsoldinger- und Gerzensee festgestellt haben (v. BÜREN, 11 und 12). Aehnliche Verhältnisse finden wir ebenfalls im Rotsee bei Luzern. In diesem 16 m tiefen Gewässer vermag die Erwärmung des Wassers im Laufe des Sommers nur bis gegen 8 m vorzudringen, um dort 9,7° zu erreichen. Am Grund registriert man im September als Maximaltemperatur 5,8°, 6° und nur ausnahmsweise 7,2° (BACHMANN, 3).

Ein weiteres Beispiel, um die Tatsache zu belegen, dass in kleinen Seen im allgemeinen die Erwärmung nur wenig in die Tiefe dringt und das Wasser in den tieferen Teilen des Seebeckens relativ kalt bleibt, bietet uns der Glamkesee (Landkreis Danziger-Höhe). Dieser norddeutsche See erscheint mir im Hinblick auf den Vergleich mit dem Moosseedorfsee von besonderem Interesse zu sein, da diese beiden Seen in morphometrischer Hinsicht, insbesondere ihre Tiefenverhältnisse, sowohl mittlere als auch maximale Tiefe, eine grosse Uebereinstimmung aufweisen.

In den Sommermonaten erwärmt sich der Glamkesee bis in eine Tiefe von 9—10 m, während auch hier die am Grund (21 m) erhobenen Temperaturen im Maximum (Oktober) 7,6° erreichen. (LAKOWITZ, 20). (Vergleiche hierzu auch das über die Grundtemperaturen des Moosseedorfsees weiter unten Ausgeführte.) Die Tatsache, dass meist in kleinen Seen die annähernd homogen erwärmte Oberflächenschicht nur eine geringe Mächtigkeit erreicht, und dass das Wasser der tieferen Teile des Seebeckens sogar das ganze Jahr hindurch relativ kalt bleibt, ist hauptsächlich auf den Umstand zurückzuführen, dass auf diesen kleinen Gewässern der Wind nur eine geringe Angriffsfläche findet und

dementsprechend seine wasserdurchmischende Wirkung nur unbedeutend bleibt.

Wären allein die Konvektionsströmungen bei der Durchmischung des Wassers am Werk, so müssten sich diese bei annähernd gleicher Oberflächentemperatur bei verschiedenen Seen auch ungefähr gleich auswirken. Das ist aber nicht der Fall. Hier spielt der Wind eine wichtige Rolle und es zeigt sich, dass eben dieser Faktor für das Ausmass der Wasserumwälzung nach der Tiefe während der Sommerstagnation ausschlaggebend ist. In dem Mass, als sich im Lauf des Frühjahrs und Vorsommers grössere Wassermassen erwärmen, wird auch die Stabilität der thermischen Schichtung grösser, und dementsprechend gegen äussere Einflüsse widerstandsfähiger. Zugleich bildet sich auch die sogenannte Temperatursprungschicht aus, die sich während des Sommers immer deutlicher ausprägt. Wir werden diese Erscheinung in einem besonderen Abschnitt behandeln.

Im Juli oder Anfang August werden auf dem Moosseedorfsee in den Oberflächenschichten die Maximaltemperaturen erreicht.[23]) Hierauf setzt die herbstliche Abkühlung ein, durch die jetzt überwiegende Wärmeabgabe beginnt auch der Abbau der Temperaturschichtung und eine entsprechende Verminderung der Stabilität. Durch den Wind bedingte Mischungsvorgänge können sich jetzt besser auswirken.

Der See gelangt nunmehr in die Periode der Herbstteilzirkulation, sie dauert bis zum Moment, in welchem die gesamte Wassermasse die Temperatur des Grundes angenommen hat, dabei muss das an der Oberfläche sich abkühlende Wasser bis zu Schichten gleicher Dichte absinken.

Im Moosseedorfsee ist die Herbstteilzirkulation Ende November oder Anfang Dezember soweit fortgeschritten, dass die ganze Wassermasse des Sees die Temperatur des Seegrundes angenommen hat, also 6—7° C.; der See befindet sich nunmehr im Zustand der Homothermie. Bei zunehmender Abkühlung muss nun das Oberflächenwasser, da es spezifisch schwerer ist, durch sämtliche Schichten absinken, wodurch die Herbstvollzirkulation herbeigeführt ist, die ihr Ende erreicht, wenn das Seewasser von der Oberfläche bis zum Grund die Tempera-

[23]) Siehe den Abschnitt über die Oberflächentemperaturen auf pag. 123 bis 127.

tur von 4° C. hat; in unserem See meist um die Mitte Dezember. Durch eine weitere Wärmeabgabe in diesem Zustand kann sich bei Eintritt einer Frostperiode die Wasserfläche innert wenigen Tagen soweit abkühlen, dass Eisbildung stattfindet. Auf dem Moosseedorfsee ist dies oft um den Anfang der dritten Dezemberdekade der Fall. (Siehe den Abschnitt über die Vereisung.) Unter der Eisdecke ist die Seeoberfläche gegen jede Einwirkung des Windes geschützt, so dass sich hier wieder eine dauernde Schichtung, die Winterstagnation, ausbilden kann. Ausschlaggebend für die Temperatur, die der See in diesem Zustand annimmt, sind die Verhältnisse unmittelbar vor dem Ueberfrieren. Durch Sinken der Oberflächentemperatur unter 4° kommt es zur sogenannten inversen, umgekehrten Schichtung, da jetzt kälteres, leichteres Wasser über wärmerem schwererem liegt. Infolge des geringen Dichteunterschiedes des Wassers zwischen 0 und 4°, ist aber dieser Zustand sehr wenig stabil, sodass schon geringe Windströmungen genügen, um eine Durchmischung des kälteren Oberflächenwassers mit dem etwas wärmeren, darunter liegenden herbeizuführen. (Vergl. hierzu die Fussnote auf pag. 137, wo die Entstehung der inversen Schichtung am Beispiel einer, zu dieser Zeit ausgeführten, Temperaturmessung geschildert ist.) Die Wintertemperatur des Moosseedorfsees beträgt 3,4—3,3° C., abgesehen von den unmittelbar unter dem Eis liegenden Wasserschichten, die ein sehr steiles Temperaturgefälle aufweisen.

Die Temperatursprungschicht

In den meisten Seen bildet sich, unter dem Einfluss der Sonnenbestrahlung am Tage und der darauffolgenden nächtlichen Abkühlung [24]) der oberen Wasserschichten, die sogenannte Temperatursprungschicht. Auf einen verhältnismässig geringen Temperaturabfall in den oberen Wasserschichten erfolgt in einer, allerdings nicht beständig gleichbleibenden, Tiefe ein plötzlicher, starker Absturz der Temperatur, auf den in den weiteren Tiefen wieder eine fast gleichmässige Wärmeabnahme folgt. Die Sprungschicht, die oft mehrere Grade betragen kann, erleidet im Lauf

[24]) An Stelle der nächtlichen Abkühlung können hier auch längere Kälteperioden im Sommer, oder die allgemeine Temperaturabnahme im Herbst, wirksam sein.

des Sommers ein Absinken in die Tiefe. Ihre Tiefenlage hängt ab von der Tiefe des Eindringens der Sonnenstrahlung, aber auch von der Tiefe der Wirkung mechanischer Durchmischung des Wassers durch den Wind. Ausserdem bestehen, wie THIENEMANN (63, p. 262) gezeigt hat, Beziehungen zwischen der Tiefenlage der Sprungschicht und der Durchsichtigkeit des Wassers, sie stehen in direktem Verhältnis zueinander. Je durchsichtiger ein Gewässer, umso tiefer liegt im allgemeinen die Sprungschicht und umgekehrt.

Um die genaue Lage der Sprungschicht festzulegen, ist es unbedingt notwendig, Temperaturlotungen in sehr kurzen Abständen, mindestens einem Meter, durchzuführen.

Im Sommer und Herbst 1940 habe ich entsprechende Temperaturmessungen [25]) ausgeführt und dabei folgendes gefunden:

Während zu Beginn der Sommerstagnation die Sprungschicht nicht charakteristisch zu erkennen war, fanden wir dieselbe Anfang Juni scharf ausgeprägt, und zwar zwischen 3 und 4 m Tiefe mit einer Temperaturdifferenz von fast 3° C. Von Monat zu Monat sank sie tiefer, nach Mitte Juli zwischen 4 und 5 m mit 3°, im August zwischen 5 und 6 m mit wiederum 3°, im September zwischen 7 und 8 m mit 2,8° und im Oktober endlich zwischen 9 und 10 m mit nur noch 2° Temperaturdifferenz. Das sind verhältnismässig geringe Gradienten. Am 25. November war die Sprungschicht aufgehoben, da durch den Temperaturausgleich die ganze Wassersäule von 0—21 m 7,3° hatte (Homothermie).

Es muss hier ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass sowohl die Art der Ausbildung, als auch die Tiefenlage der Sprungschicht in ein und demselben See von Jahr zu Jahr bedeutende Verschiedenheiten aufweisen kann, was hauptsächlich auf meteorologische Faktoren zurückzuführen ist (RIVIER, 52, LAKOWITZ, 29).

Um das Ausmass dieser Verschiedenheiten zu erfassen, wären

[25]) Die Temperaturlotungen, die dem Kurvenmaterial dieser Untersuchung zugrunde liegen, sind in Abständen von 2,5 m ausgeführt. Wenn auch zahlreiche Zwischenlotungen gemacht wurden, so sind sie doch nicht geeignet, die Lage der Sprungschicht mit der wünschenswerten Deutlichkeit zum Ausdruck zu bringen.

diesbezügliche Temperaturlotungen in kleinen Abständen, die sich über mehrere Sommerhalbjahre erstrecken, notwendig.

Die Sprungschicht wird in der limnologischen Terminologie auch als Metalimnion bezeichnet, (gr. meta = zwischen, inmitten, limne = See). Das Metalimnion scheidet den Wasserkörper in zwei, hinsichtlich der Thermik und Mechanik grundsätzlich verschiedene Teile. In dem oberen Teil, dem Epilimnion (gr. epi = auf, limne = See), welcher unter dem direkten Einfluss der Atmosphäre steht, werden durch den Wind turbulente Strömungen ausgelöst, und infolgedessen nur vorübergehende thermische Schichtungen sich ausbilden können. Der unter der Sprungschicht liegende Teil des Sees, der bis zum Grunde reicht, heisst Hypolimnion (gr. hypo = unter) und ist den Oberflächeneinwirkungen fast vollständig entzogen.

Die Sprungschicht gewinnt, von diesen Gesichtspunkten aus betrachtet, auch Bedeutung hinsichtlich des Stoffwechsels und der Lebensvorgänge im See, in dem Sinne, dass sie gewissermassen als Sperrschicht für die Austauschströme wirkt, die sich von der Oberfläche her ausbreiten. Im Epilimnion können sich die Wasserteilchen zwischen Oberfläche und Sprungschicht in sehr verschiedenen Niveaus bewegen, so auch die im Wasser passiv schwebenden Teilchen, also besonders das Phytoplankton. Im Meta- und Hypolimnion machen sich dagegen vertikale Verlagerungen von Wasserteilchen nicht, oder doch nur in untergeordnetem Ausmasse, geltend. Dementsprechend vermögen auch die in ihnen suspendierten Organismen, sofern sie keine Eigenbewegung besitzen, nicht in die oberen Wasserschichten zu gelangen. Bei einer sehr tiefen Lage der Sprungschicht können infolgedessen die Organismen, je nach der Lichtdurchlässigkeit des Wassers, teilweise oder ganz vom Lichtgenuss ausgeschlossen werden.

Bemerkungen zu den Temperaturmessungen von Th. Steck aus dem Jahre 1892

Konstruierte man aus den von STECK gemessenen Temperaturwerten entsprechende Kurven, so würde sich zeigen, dass diese ein wesentlich steileres Gefälle haben, als diejenigen, die sich aus meinen Messungen ergeben. Die Erwärmung des Seekörpers hätte

sich also damals offenbar viel rascher und intensiver nach der Tiefe hin vollziehen müssen, als es gegenwärtig der Fall ist.

Vergleichen wir die Temperaturwerte der Jahre 1892 und 1938 in den verschiedenen Tiefenstufen, so ergeben sich von 5 m an abwärts zum Teil erhebliche Unterschiede, in dem Sinne, dass die Werte von 1892 um mehrere Grade höher sind, als diejenigen von 1938. Noch in 18 m Tiefe registrierte STECK schon Mitte Juli 1892 eine Wassertemperatur von 10,3°. Im August und September desselben Jahres stieg sie auf 10,5°, während wir dagegen im Jahre 1938 in der nämlichen Tiefe und den entsprechenden Monaten nur 7,2°, 7,5° und 7,5° feststellen konnten, also eine Differenz von 3°. STECK sagt, dass im Sommer 1892 die Temperatur am Seegrund[26]) nur wenig über 10,5° gestiegen sein dürfte. Im Herbst (September und Oktober) 1938 hat die Höchsttemperatur in 21 m (Grund) nur 7,2° erreicht. Das Mittel der Höchstwerte der Temperaturen am Seegrund betrug für die drei Beobachtungsjahre (1938—1940) nur 6,9°.

Wodurch mögen nun diese Veränderungen im Temperaturgang des Sees bedingt sein?

Zunächst könnte man an besondere meteorologische Verhältnisse denken, die im Jahre 1892 geherrscht hätten und als Ursache für diese Temperaturabweichungen des Seewassers verantwortlich gemacht werden könnten. Im Hinblick auf die Beantwortung dieser Frage haben wir die Analen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt eingesehen. Dabei haben wir feststellen können, dass im Vorfrühling und Frühling, den Zeitperioden, die für die Erwärmung des Tiefenwassers eines Sees entscheidend sind, also zu Beginn der Sommerstagnation, keineswegs besondere meteorologische Verhältnisse in dem in Frage stehenden Jahre bestanden haben. Die Hochsommermonate Juli und August waren allerdings verhältnismässig warm. Besonders der August zeichnete sich durch eine grosse Zahl heller Tage und eine längere Periode trockener und warmer, z. T. ungewöhnlich heisser Tage aus. Das Monatstemperatur-Mittel war 18,2° mit einer positiven Abweichung von 1,2°.

Die Witterungsverhältnisse des Sommers 1892 können aber unmöglich allein die Ursache für die in Frage stehenden Tempe-

[26]) Die Messungen von STECK reichen nur bis in die Tiefe von 18 m.

raturabweichungen sein. Anderseits war auch die Frage zu prüfen, ob vielleicht die von STECK angewendete Messtechnik hier eine Rolle spielen könnte. Dieser Autor hatte nämlich die Temperatur von Wasserproben untersucht, die vermittelst der Schöpfflasche dem See in Abständen von 2 m bis in die Tiefe von 18 m entnommen worden waren.

Diesbezügliche vergleichende Messungen [27]) mit dem Kippthermometer einerseits und mit geschöpften Wasserproben anderseits, überzeugten mich nun, dass die mit den beiden Methoden gewonnenen Resultate durchaus nicht ohne weiteres vergleichbar sind. Müssen nämlich die Temperaturlotungen bei schon fortgeschrittener Wärmeschichtung und an warmen, sonnigen Tagen mit Schöpfproben vorgenommen werden, so gelingt es nicht, trotz raschen Arbeitens und sorgfältiger Isolierung durch schlecht wärmeleitende Umhüllung der Schöpfflasche, Temperaturwerte zu erhalten, die mit jenen übereinstimmen, die unmittelbar vorher mit dem Kippthermometer erhoben wurden. Die vermittelst der Schöpfflasche gewonnenen Temperaturen sind meist zu hoch, besonders dann, wenn sie aus grösseren Tiefen herausgeholt werden. Als Beispiel einer vergleichenden Temperaturmessung sei hier nur diejenige vom 19. Juni 1941 angeführt. [28])

In Wasserproben aus 5 und 10 m Tiefe waren die Temperaturen in der Schöpfflasche um 0,8°, in solchen aus 21 m um 1,35° zu hoch gegenüber den unmittelbar vorher mit dem Kippthermometer festgestellten. Diese kleine experimentelle und vergleichende Betrachtung zeigt nur, wie wertvoll der Kippthermometer für die Erforschung der Temperaturverhältnisse unserer Gewässer ist.

Was nun die Temperaturabweichungen zwischen den von STECK und mir gefundenen Temperaturwerten, besonders im Hypolimnion des Moosseedorfsees betrifft, so bin ich der Auffassung, dass diese hauptsächlich auf die von beiden Autoren angewandte verschiedene Messtechnik zurückzuführen ist. Auf jeden Fall wäre es durchaus unrichtig aus diesen Abweichungen auf eine seit dem

[27]) Die Durchführung solcher vergleichenden Messungen war schon deshalb von Interesse, weil gelegentlich heute noch in Ermangelung von Kippthermometern Temperaturmessungen in geschöpften Wasserproben vorgenommen werden müssen.

[28]) Der 19. Juni 1941 war ein sonniger, warmer Sommertag mit einem Temperaturtagesmittel von 21,2°, am Spätnachmittag zog am nordöstlichen Horizont ein Gewitter herauf.

Jahre 1892 erfolgte Veränderung der Temperaturverhältnisse im Moosseedorfsee schliessen zu wollen.

Oberflächentemperaturen

Die Temperaturen der Seeoberfläche sind naturgemäss sehr grossen zeitlichen und auch örtlichen Schwankungen unterworfen, so dass Temperaturbeobachtungen der Oberfläche die nur bei den Terminuntersuchungen erhoben werden, nur als Zufallswerte gelten können, auf jeden Fall sind sie nicht geeignet, einen Einblick in den Temperaturgang der Oberfläche zu vermitteln. Dazu müssten tägliche und fortlaufende Beobachtungen ausgewertet werden können, zu deren Durchführung uns die Möglichkeit nicht gegeben war. Hierzu kommt noch, dass es im allgemeinen viel schwieriger ist, mit der gleichen Genauigkeit Temperaturen der Oberflächenschicht zu messen, als aus den tieferen Schichten.

Diese Schwierigkeiten sind um so bedauerlicher, als gerade die Temperaturen der Wasseroberfläche von besonderem Interesse sind, denn durch die Oberfläche wird die Erwärmung und Abkühlung vermittelt. Auch ist die Oberflächentemperatur von grösster Bedeutung für die Verdunstung.

Im Lauf der Sommermonate 1941 habe ich versucht, einige positive Angaben über die folgenden Fragen, welche die Oberflächentemperatur betreffen oder mit dieser in engem Zusammenhang stehen, beizubringen:

1. Welches sind die höchsten Temperaturen (wenigstens annähernd) die das Oberflächenwasser im Moosseedorfsee nach länger anhaltenden sommerlichen Schönwetterperioden erreicht?
2. Wie verhalten sich die Oberflächentemperaturen des offenen Wassers zu jenen der Uferzone?
3. Wie gross ist die nächtliche Abkühlung der Seeoberfläche?
4. Nachweis örtlicher Temperaturunterschiede an der Oberfläche infolge Strömungen, die durch den Wirnd verursacht sind.

Zur Durchführung dieser Untersuchungen habe ich ausser dem üblichen Oberflächenthermometer (Modell Friedinger) in Metallfassung, einen eigens hierfür konstruierten Schwimmthermometer (ohne Holzfassung) verwendet. Dieses Schwimmthermometer, das mit einer sehr klaren, gut leserlichen Gradteilung ($^1/_5{}^0$) versehen

ist, kann auf dem Wasser liegend direkt abgelesen werden. Ausserdem ist das ausgezogene Ende dieses Thermometers so abgebogen, dass das Quecksilbergefäss zirka 1—1,5 cm unter die Oberfläche taucht, wodurch die Gewähr gegeben ist, dass auch wirklich die Oberflächentemperatur erfasst wird. Bei Sonnenschein ist darauf zu achten, dass das Instrument im Bootschatten liegt. Hier ist nun gleich zu bemerken, dass es mir bei meinen Messungen in keinem Fall möglich gewesen ist, zwischen der Temperatur an der eigentlichen Wasseroberfläche und jener in zirka 25 cm Tiefe gemessenen (mit dem gewöhnlichen Oberflächenthermometer in Metallfassung) einen deutlichen Unterschied festzustellen. Die beiden zur Untersuchung verwendeten Thermometer waren aufs sorgfältigste geprüft und verglichen worden.

Diese Feststellung weist darauf hin, dass also meist in den obersten Lagen der Oberflächenschicht die Temperaturgradienten kleiner als $^1/_5{}^0$ sind. Zur Ermittlung dieser feinsten thermischen Schichtung müsste das von MERZ (40) konstruierte Präzisions-Oberflächenthermometer zur Anwendung gelangen. Es handelt sich da um ein Thermometer, dessen Quecksilbergefäss 12 cm lang und 1 mm dick ist und bei der Messung horizontal in das Wasser eingetaucht werden muss.

Im Sommer 1941 habe ich nach einer längeren Schönwetterperiode an Spätnachmittagen warmer Julitage, deren Temperaturterminmittel [29]) 20^0—23^0 erreichten, die folgenden Oberflächentemperaturen registriert: 24,3—25^0 im oberen grossen Seebecken, 25^0 in der Mitte des mittleren, schmaleren Seeteiles und $25{,}2^0$ bis $25{,}4^0$ in der Mitte des kleinen unteren Seebeckens. Diese Temperaturen dürften für den Moosseedorfsee so ziemlich die höchsten sein, die das Oberflächenwasser während der Sommerstagnation erreicht. Sie entsprechen, soweit sich dieses aus den wenigen Angaben beurteilen lässt, die über Höchsttemperaturen der Oberfläche der Seen unserer geographischen Breiten in der limnologischen Literatur zu finden sind, der Grössenordnung des Gewässers. In grossen, tiefen, oligotrophen Seen scheint im allgemeinen im Pelagial die Oberflächentemperatur 23^0 nicht zu übersteigen.

[29]) Oder einfach „Tagesmittel", das erhalten wird durch Mittelbildung der drei Terminbeobachtungen, nämlich um 7 ½ Uhr, 13 ½ Uhr und 21 ½ Uhr mitteleuropäische Zeit.

Hier sei noch erwähnt, dass ich im gleichen Zeitraum, in welchem ich die oben erwähnten Messungen auf dem Moosseedorfsee durchführte, auf dem Genfersee im Pelagial (mit den selben Instrumenten) 21,5° feststellen konnte.

Je nach dem Witterungscharakter der einzelnen Jahre, werden die maximalen Oberflächentemperaturen im Juli (1940, 1941) oder in der ersten Augusthälfte (1938) erreicht. Den grössten Wärmeinhalt dagegen hat unser See erst im August. (Siehe das Kapitel über die Wärmebilanz.)

Ein wiederholt durchgeführter Vergleich zwischen den Temperaturen der oberen Wasserschichten der Uferzone [30]) und des offenen Wassers haben recht geringe Unterschiede ergeben. So konnte ich zuweilen in freien Wasserstellen inmitten der Seerosenblätter an warmen und ruhigen Tagen, um 1—1,5° höhere Temperaturen messen, als im offenen Wasser. Die Ursache dieser geringen Temperaturunterschiede in den oberen Wasserschichten zwischen Litoral und Pelagial sind die relativ steilen Uferböschungen des Moosseedorfsees. Einzig am Südost-Ende des Sees beim Badeplatz ist ein schmales seichtes Ufer. Diese Stelle steht aber bezüglich der Wassertemperaturen stark unter dem Einfluss des Dorfbaches, der das ganze Jahr hindurch eine sehr gleichmässige, relativ niedrige Temperatur hat (Quellbach).

Im Sommer ist das Wasser am Badestrand und in der Hüttlisbucht meist etwas kühler, während sich dort im Winter die Wasserfläche nur bei anhaltendem Frost mit einer dünnen und sehr vergänglichen Eisdecke überzieht.

Bezüglich der Abkühlung der Seeoberfläche über Nacht konnte ich leider nur eine Beobachtung durchführen. Das Oberflächenwasser im grossen oberen Seebecken hatte sich z. B. von 19 Uhr am 24. Juli 1941 bis zum folgenden Morgen 7.30 Uhr um 0,4° abgekühlt. Im unteren kleinen Seebecken war in der gleichen Nacht die Abkühlung eine wesentlich stärkere gewesen. Die Oberflächentemperatur war nämlich dort von 25,2° am Vorabend auf 22,3° gefallen, also um 2,8°. In den Uferpartien konnte sogar ein Temperaturrückgang von 3,3° seit dem Vorabend festgestellt werden. Die Nacht vom 24./25. war klar, windstill und

[30]) Wir verstehen hier unter Uferzone den Seerosengürtel, der sich in einer Breite von 2—3 m dem gegen das Wasser wandartig abschliessenden Röhricht vorlagert.

sehr warm gewesen. Die in Frage stehenden Tage wiesen auch relativ hohe Tagesmittel auf, nämlich 21,3° am 24. und 23,7° am 25. Juli.

Eine stärkere Abkühlung der Seeoberfläche über Nacht ist im Spätsommer zu erwarten, zu einer Zeit, wo die Nächte länger geworden sind und eine entsprechend intensivere Wärmeausstrahlung stattfindet. Dagegen wird mutmasslich später, nach dem kräftigen Einsetzen der herbstlichen Teilzirkulation und dem damit einhergehenden Abbau der Temperaturschichtung, sowie einer Verminderung der Stabilität, mit einem Ausgleich der Oberflächentemperatur zwischen Tages- und Nachstunden zu rechnen sein. Leider konnten diesbezügliche Messungen, die vorgesehen waren, um die Verhältnisse zu dieser Zeit klarzulegen, wegen Erkrankung des Verfassers nicht zur Ausführung gelangen.

Nur selten, etwa bei vollkommener Windstille, ist die Temperatur der Oberfläche in allen Teilen des Sees die gleiche. Misst man an verschiedenen Stellen zu gleicher Zeit, so findet man oft voneinander abweichende Temperaturen. In den meisten Fällen lässt sich nachweisen, dass zur Hauptsache diese örtlichen Temperaturverschiedenheiten auf die Wirkung des Windes, der eine Zeitlang in ein und derselben Richtung geweht hat, zurückzuführen sind. Der Wind treibt das warme Oberflächenwasser an die Luvseite, während an der Leeseite kühleres Auftriebwasser an die Oberfläche gelangt. So habe ich z. B. unter anderen Beobachtungen am Abend des 24. Juli 1941, nachdem tagsüber ein ziemlich starker Nordostwind geweht hatte, auf dem Moosseedorfsee zwischen Luv- und Leeseite eine Temperaturdifferenz von 2,2° C. gemessen. Am Greifensee hat GUYER (21) örtliche Temperaturunterschiede von 2,7° feststellen können, die durch die Wirkung des Windes verursacht worden waren. Diese gemessenen Unterschiede sind freilich verhältnismässig klein, können aber gewiss mitunter auch grössere Werte erreichen. Immerhin ist zu bedenken, dass auf kleinen Gewässern die Angriffsfläche des Windes entsprechend schwächer ist als auf grösseren, wo durch eine kräftigere Windentfaltung auch bedeutend grössere Wasserversetzungen herbeigeführt werden. Hier sind denn auch die damit in Zusammenhang stehenden Temperaturunterschiede der Oberfläche in verschiedenen Seeteilen bedeutend grösser. Im Genfersee konnten FOREL (16, Bd. II, p. 317) und DELEBECQUE (13, p. 154

bis 155), namentlich nach tagelang anhaltendem Südostwind Temperaturunterschiede von 4,4—10,2° zwischen allerdings oft weit von einander entfernten Seeregionen nachweisen.

Temperaturen des Seegrundes

Die Höchsttemperaturen am Seegrund (tiefste Stelle 21,5 m) sind während meiner dreijährigen Beobachtungsperiode immer erst im Oktober erreicht worden und hielten sich während zweier Monate auf gleicher Höhe, d. h. bis die Teilzirkulation gegen Ende November in der ganzen Wassermasse eine gleichförmige Temperatur herbeigeführt hatte (Homothermie).

1938		1939		1940	
26. Oktober	7,4°	17. Oktober	6,2°	22. Oktober	7,1°
9. November	7,4°	11. November	6,2°	25. November	7,1°

Für die drei Beobachtungsjahre betrug also die Temperatur des Seegrundes im Mittel 6,9°.

Am Seegrund scheint sich somit das Wasser nicht wesentlich über 7,4° C. zu erwärmen. Der Eintritt des Temperaturmaximums erleidet also hier gegenüber der Oberfläche eine Verspätung von zwei Monaten. Die Jahrestemperaturamplitude beträgt nur 2,4° bis 3,6° C. Auch im Moosseedorfsee konnten wir feststellen, dass die Temperatur der Tiefe in verschiedenen Jahren keineswegs gleich ist. Die beobachtete Schwankung war zwar verhältnismässig gering, sie betrug 1,2° C.

Bestimmend für die Wassertemperaturen am Seegrund sind, worauf besonders RUTTNER (54) hingewiesen hat, die meteorologischen Verhältnisse vor und zu Beginn der Sommerstagnation. Erfolgt nämlich die Erwärmung der oberen Schichten bei sonnigem und ruhigem Wetter rasch, so wird auch die Stabilität der Schichtung so gross, dass eine Mischung der Wassermassen durch Windströmungen nach der Tiefe hin mehr oder weniger stark gehemmt ist. Herrscht dagegen zu dieser Zeit wechselndes, und besonders windiges Wetter, so werden infolge der Durchmischung grössere Wassermassen, und allmählich auch das Wasser der Tiefe erwärmt bevor sich eine stabile Temperaturschichtung ausbilden kann.

Vereisung des Moosseedorfsees

Der Moosseedorfsee friert jeden Winter zu. Der Zeitpunkt des Einfrierens, sowie die Dauer der Eisbedeckung ist natürlich vom meteorologischen Charakter des Winters ausserordentlich abhängig. Im folgenden seien diese Verhältnisse für die drei Beobachtungsjahre hier kurz zusammengestellt. Am 1. März 1938, bei meinem ersten Besuch am Moosseedorfsee, war der mittlere Teil der Seefläche noch von einer, zwar nur dünnen und morschen, Eisdecke überzogen, die in wenigen Tagen verschwand; am 8. März registrierten wir schon eine Oberflächentemperatur von 8,4° C.

Winter 1938/39

Im Mittelland war der Dezember ziemlich kalt. Am 22. registrierte man die tiefsten Temperaturen des Monats, in Moosseedorf —16° C. Tags darauf begann das Ueberfrieren des Sees vom Westende her, aber langsam und unregelmässig, trotzdem die Kälte bis zum 30. andauerte. Am 9. Januar hatte die Eisdicke 12 cm erreicht, auch Anfang Februar konnte noch die nämliche Eisdicke festgestellt werden. In diesem Winter war also die Eisdecke wenig stark geworden, offenbar hatte sie nach ihrer Bildung keinen nennenswerten Zuwachs mehr erfahren. Januar [31]) und Februar, namentlich der erstere Monat, waren wenig kalt gewesen. Ausserdem war vom 16.—26. Januar eine Tauwetterperiode, verbunden mit starken Niederschlägen, was zur Folge hatte, dass sich schon um den 20. Januar im westlichen Seeteil grosse offene Wasserflächen bildeten. Ende Februar wurde der grösste Teil des oberen Seebeckens endgültig eisfrei, nur über seine Mitte reichte eine schmale Eiszunge bis zu der noch fast intakten Eisfläche im kleinen Seebecken. Am 23. Februar waren die Oberflächentemperaturen ausserhalb der Mündung der Quellbäche 5—6°, am Rande des abschmelzenden Eises nur 3°.

Winter 1939/40.

Das Zufrieren des Sees erfolgte um den 27. Dezember. Im Lauf des ziemlich kalten Januars [32]) bildete sich eine solide Eisdecke, die mit ihrer relativ glatten Oberfläche bis zur Monats-

[31]) Der Januar 1939 hatte ein Monatsmittel von 0,4°, eine Abweichung von der Normalen von + 2,6°, der Februar war mit einem Monatsmittel von 0,6° ziemlich normal, nahe dem Durchschnitt.

[32]) Temperatur-Monatsmittel — 5,3° mit einer Abweichung von der Normalen von — 3,1°.

mitte eine zum Schlittschuhlauf geeignete Bahn bildete. Am Vormittag des 14. Januars konnte ich anlässlich eines Rundganges im Gebiet des unteren Seeteiles eine eigenartige akustische Erscheinung wahrnehmen. Von der Eisfläche her liess sich in unregelmässiger Zeitfolge ein dumpfes Rollen vernehmen. Da die dem Beobachtungstage vorangegangene Nacht sehr kalt war, musste die am Vormittag das blanke Eisfeld bescheinende Sonne offenbar eine starke Ausdehnung der Eismassen herbeiführen. Die hierdurch entstehenden Spannungen, respektive deren Ausgleich, werden deshalb wohl auch die Ursache des vernommenen Rollens gewesen sein. Am 23. Januar war das Eisfeld von einer zirka 5 cm dicken Schneeschicht bedeckt. Der noch aus hartem Eis von muscheligem Bruch bestehende Querschnitt mass 22 cm. Am 7. Februar zeigte sich das Eisfeld als solches in seiner ganzen Ausdehnung noch intakt, war aber vom Ufer aus nicht mehr zugänglich. Zwischen Ufer und Eis hatte sich nämlich ein 3—4 m breiter Streifen nicht mehr tragfähigen Eises gebildet. Durch starke Regenfälle zwischen dem 27. Januar und 1. Februar war das Wasser um etwa 40 cm gestiegen und hatte dadurch die ganze, den See bedeckende Eisfläche um den gleichen Betrag gehoben. [33]) Das zwischen Seeufer und Eis aufquellende Wasser fror infolge der nur wenig intensiven Kälte nicht mehr, oder nur ganz oberflächlich.

Noch am 8. März 1940 bei der ersten Terminuntersuchung des Jahres, die wieder vom Boot aus vorgenommen werden konnte, war das ganze kleine Seebecken noch übereist. Die Dicke dieses natürlich nicht mehr tragfähigen Eises mass, soweit vom Boot aus Messungen möglich waren, nur noch 0,7—2 cm. An dieser dünnen Eisschicht konnte die stengelige Struktur, die morsches Eis kennzeichnet, deutlich wahrgenommen werden.

Das späte Schwinden des Eises in diesem Frühjahr war hauptsächlich auf den Kälterückfall [34]) zurückzuführen, der sich in der ersten Märzdekade ereignete.

---

[33]) Sozusagen das Gegenstück zu dieser Beobachtung ereignete sich im Winter 1917 am Murtensee. Der Seespiegel war unter der Eisdecke stark gefallen, so dass diese hohl über dem Wasser lag und am 11. Februar unter gewaltigem Krachen als Ganzes zusammenbrach. (Vergl. FRÜH. Geogr. der Schweiz, Bd. 1, p. 292).

[34]) In dieser Zeitperiode wurde vom Murtensee die immerhin nicht sehr

Im Winter 1940/41 gelang es mir, den Gang der Vereisung besonders genau zu verfolgen.

Das Einfrieren erfolgte in der Nacht vom 17./18. Dezember, nachdem seit dem 14. Dezember stärkere Kälte eingesetzt hatte, die bis zum Jahresende andauerte. Am 31. Dezember erreichte das Eis eine Dicke von 14 cm. Während der zweiten Kälteperiode, die vom 3.—18. Januar 1941 dauerte, hatte die Eisdecke in 16 Tagen ununterbrochen starken Frostes noch um 11 cm an Dicke zugenommen, sie mass am 18. Januar 25 cm. Im sehr strengen Winter 1928/29 hat Herr R. UTIGER noch im Februar[35]) eine Eisdicke von 35 cm festgestellt!

Trotzdem die dritte Januardekade bedeutend milder war, und ebenso der Februar[36]) bezüglich seiner Temperaturverhältnisse dem Durchschnitt entsprach, blieb die Eisdecke bis Mitte Februar ziemlich vollständig erhalten. Erst gegen Ende Februar zeigten sich bei den Bachmündungen offene Wasserflächen von grösserer Ausdehnung.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Erscheinung der sogenannten congélation lamellaire oder printanière, wie sie von FOREL (Bd. II, p. 389—395) bezeichnet und eingehend beschrieben worden ist, auch hier gelegentlich beobachtet werden kann. So hatten sich z. B. am Morgen des 26.[37]) und 27. Februar nach kalten, klaren und windstillen Nächten am Rand des winterlichen Eisfeldes auf bereits offenem Wasser, wiederum dünne, allerdings rasch vergängliche Eislamellen gebildet. Die Wärmeausstrahlung einer Nacht hatte genügt, um das nur 3,3° C. warme Oberflächenwasser wieder soweit abzukühlen, um eine erneute Eisbildung zu ermöglichen.

---

häufige, vielleicht oft auch übersehene Erscheinung der sog. congélation lamellaire oder printanière gemeldet.

Darunter versteht man die Bildung einer dünnen Eisschicht in einer klaren, kalten Vorfrühlingsnacht infolge starker Wärmeausstahlung, die tags darauf wieder verschwindet.

[35]) Der strenge Februar 1929, der in der Witterungsgeschichte seinesgleichen sucht, hatte in Bern ein Monatsmittel von — 6,9° und eine Abweichung von der Normalen von — 7°, ausserdem ist hervorzuheben, dass das Mittelland nahezu den ganzen Monat hindurch schneebedeckt blieb.

[36]) Meteorologische Daten bezüglich der Wintermonate 1940/41 siehe auch im Kapitel Wärmehaushalt.

[37]) Morgentemperaturen in Bern am 26. Februar —7°, am 27. Februar —8°.

In der Nacht vom 3./4. März wurde die Wasserfläche in ihrer ganzen Ausdehnung eisfrei; seit dem ersten Auftreten des Eises bis zu seinem vollständigen und endgültigen Verschwinden waren somit 72 Tage verstrichen.

Da es mir immer aufgefallen war, dass unter dem Eis verhältnismässig hohe Temperaturen gefunden werden, wo eigentlich 0^0 zu erwarten wäre, habe ich diesen Temperaturmessungen grosse Aufmerksamkeit gewidmet. Für die Monate Dezember und Januar haben meine Messungen unmittelbar unter dem Eis $0{,}5^0$, 1^0 und $1{,}2^0$ ergeben. Im Februar meist schon $3{,}3^0$, was offensichtlich auf eine Erwärmung, die bereits durch das Eis hindurch stattgefunden hatte, hindeutet.

In der limnologischen Literatur sind Angaben über diese Verhältnisse sehr spärlich, nur RICHTER (50) hat seinerzeit diese merkwürdige Tatsache, dass unter und neben dem Eis relativ hohe Temperaturen registriet werden, hervorgehoben und einlässlich diskutiert und darauf hingewiesen, dass hier noch ein ungelöstes Problem vorliege. Von eigenen Untersuchungen, die besonders an Kärntner Seen ausgeführt wurden, gibt dieser Autor an, unter 20 winterlichen Messungen $1{,}0$—2^0 gefunden zu haben, den letzteren Wert allein 13mal.

Was nun die Tatsache betrifft, dass unter der Eisdecke die Temperatur von 0^0 selten oder nie zu registrieren ist, so dürfte dies hauptsächlich darauf zurückzuführen sein, dass unsere gewöhnlichen Thermometer dazu ungeeignet sind. MERZ (40) hat nämlich durch sehr eingehende Untersuchungen der Oberflächentemperaturen gezeigt, dass der Temperaturgradient mitunter auf einige Zentimeter Tiefenänderung unter gewissen Umständen mehrere Grade betragen kann. Um aber die Temperaturunterschiede solch dünner Wasserschichten mit zuverlässiger Genauigkeit erfassen zu können, sind sogenannte Präzisions-Oberflächenthermometer[38]) von besonderer Konstruktion notwendig. Hier möchte ich nur noch erwähnen, dass bereits SCHUH (58) bei winterlichen Temperaturmessungen am Gmundenersee (Salzkammergut) im Februar 1901 festgestellt hat, dass Seewasser, welches auf 1—3^0 gefallen ist, bei entsprechender Wasserruhe und Kälte der Luft an seiner äussersten Oberfläche, d. h. in einer nur 7—8 mm dicken

[38]) In der Arbeit von MERZ ist das Instrument einlässlich beschrieben.

Schicht auf 0° sinkt. Wird diese Schicht durch einen äusseren Anstoss bewegt, so mischt sie sich sogleich mit darunter befindlichen Schichten höherer Temperaturen und wird infolge dessen durch Beobachtungen, wie sie gewöhnlich beim Oberflächenwasser ausgeführt werden, nicht mehr konstatiert. Diese Mitteilung hat, wie mir scheint, in der limnologischen Literatur nicht die ihr zukommende Beachtung gefunden, um so mehr als diese wichtigen Beobachtungen mit einem relativ sehr einfachen Instrument vorgenommen worden sind. (Vgl. die Beschreibung des Thermometers bei SCHUH.)

Ueber den Einfluss der in den See mündenden Bäche auf die Eisdecke ist folgendes zu sagen:

Selbst zur Zeit intensivster Kälte bleibt der See an den Mündungsstellen der Bäche auf mehr oder weniger grossen Strecken eisfrei. Auf jeden Fall bleibt in diesen Bezirken das Eis dünn und wenig tragfähig, wovor sich die Schlittschuhläufer hüten mögen. An diesen Stellen beginnt auch die Unter- und Abschmelzung des Eisfeldes gegen das Ende des Winters. Daher kann auch fast alljährlich beobachtet werden, dass auf dem Moosseedorfsee die Eisbedeckung da am längsten erhalten bleibt, wo keine Bäche einfliessen, nämlich über dem unteren kleinen Seebecken.

Die zwei kleinen Bächlein, die sich am Südufer in den See ergiessen, ebenso der Dorfbach, der in das süd-östliche Ende des Sees einfliesst, sind Quellbäche, deren Wassertemperaturen ungefähr der mittleren Jahrestemperatur entspricht. Ihr Wasser ist im Sommer, auch an den heissesten Tagen, relativ kühl, im strengsten Winter dagegen noch relativ warm. Einige Zahlen aus meinen vielen Messungen während des ganzen Jahresverlaufes illustrieren das am besten.[39])

Am 23. Januar 1940, an einem kalten Wintertag, bei einer Lufttemperatur von —6° registrierten wir zwischen 15 und 16 Uhr die folgenden Wassertemperaturen: Im Dorfbach 7°, in den kleinen Bächen aus der Seematte, Bach I 8,1° Bach II 7,2°. Die Urtenen, zirka 100 m oberhalb des Einflusses in den See, hatte an diesem Tag 4°, das Seewasser 3,4°. Dieses eine Beispiel zeigt zur Genüge, dass selbst an Wintertagen mit negativen Temperatur-Tagesmit-

[39]) Vergleiche hierzu auch den Abschnitt über die in den See mündenden Bäche, wo ihre Temperaturverhältnisse während des Jahresverlaufes tabellarisch zusammengestellt sind.

teln, dem See Wasser zufliesst, das um 3—4° wärmer ist, und es ist ohne weiteres klar, wie wirksam sich dieser Faktor bei der Unterschmelzung der Eisdecke auswirkt, sobald der strenge Winterfrost nachlässt oder von Tauwetterperioden unterbrochen oder abgelöst wird. Wir haben diese Verhältnisse deshalb hier etwas eingehender erörtert, weil man immer wieder auf die Annahme stösst, es seien warme Quellen im See, die seine Eisdecke besonders gefährlich machen. Meine sehr zahlreichen Temperaturlotungen haben ergeben, dass solche nicht vorhanden sind, ebensowenig konnten relative Thermen, wie etwa Grundwasserauftriebe, nachgewiesen werden.

Die Wärmebilanz des Moosseedorfsees

Unter Wärmebilanz versteht man die Gegenüberstellung der während eines Jahres von einem See aufgenommenen und wieder abgegebenen Wärmemenge. Die kalorische Energie, welche der Wärmeinhalt eines Sees repräsentiert, ist oft bedeutend. Die Abgabe dieses Wärmevorrates, besonders von grossen und tiefen Seen, ist so gross, dass er das Lokalklima günstig zu beeinflussen vermag. Bei kleinen Seen ist naturgemäss der klimatische Einfluss nicht von Belang. Trotzdem schien es mir wünschenswert, auch für ein kleines Gewässer den Versuch zu machen, den Vorgang der Erwärmung und Abkühlung durch die Aufstellung der thermischen Bilanz zur Darstellung zu bringen.

Will man den Wärmehaushalt eines Sees untersuchen, so müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein. Es müssen genügende und zweckmässig über das Jahr verteilte thermische Lotungen vorliegen, und die morphometrischen Verhältnisse des in Frage stehenden Seebeckens bekannt sein. Es gibt nun verschiedene Methoden, um den Wärmeinhalt eines Sees zu berechnen. Wir haben, um den Wärmehaushalt des Moosseedorfsees zu studieren, die von HALBFASS und BIRGE kombinierte Methode zur Anwendung gebracht. Diese Methode trägt weitgehend der Morphometrie des Seebeckens Rechnung und ermöglicht deshalb auch, die Seen in bezug auf ihren Wärmeinhalt untereinander zu vergleichen. Es ist nämlich zu berücksichtigen, dass sich das Volumen eines Sees nach der Tiefe hin verjüngt, und infolgedessen den verschiedenen Tiefenzonen auch ein sehr verschiedener Anteil am

Gesamtwärmeinhalt zukommt, den oberen eine entsprechend grösseren als den unteren.

Diese Verschiedenheiten können berücksichtigt werden, wenn zur Durchführung der Berechnung des Wärmeinhaltes, der betreffende See in entsprechende Raumzonen von bekannten Dimensionen zerlegt wird. Nach HALBFASS und BIRGE gestaltet sich dann die Berechnung[40]) folgendermassen:

Die Rauminhalte der einzelnen Tiefenzonen des Sees werden mit der Temperatur der Mitte dieser Zone multipliziert. Ist diese Temperatur nicht bekannt, so wird sie mit dem arithmetischen Mittel aus den Temperaturen der Begrenzungszonen ermittelt. Durch Addition sämtlicher Posten kann der gesamte Wärmeinhalt des Sees zu einer bestimmten Zeit gefunden werden. Dividiert man nun diese Zahl durch das Seevolumen, so gelangt man zur Mitteltemperatur des Sees zu einer bestimmten Zeit. Diese ermöglicht die Wärmeinhalte verschiedener Seen miteinander zu vergleichen. Weiter wird nun nach BIRGE (6) die, auf dem oben

Wärmebilanz des Moosseedorfsees
für die Zeitperiode von März 1938—März 1939

Monat	Tag	Wärmeinhalt in Kalorien	Mittel Temp.	gr/cal pro cm² See-fläche	Differenz
1938					
März	8	15 567 230	4,5	5450	
April	7	23 674 260	6,9	8066	+ 2616
Mai	11	34 122 320	10,0	10900	+ 2834
Juni	8	40 275 520	11,8	13298	+ 2389
Juli	11	40 762 580	12,0	13080	— 218
August	9	45 692 890	13,4	14506	+ 1426
September	14	41 983 930	12,3	13407	— 1099
Oktober	10	37 335 435	11,0	12000	— 1407
November	9	29 005 485	8,5	9810	— 2190
Dezember	5	21 725 635	6,4	6976	— 2834
1939					— 3543
Januar	9	10 210 885	3,01	3281	
Februar	6	13 005 475	3,54	3858	+ 577
März	14	14 645 620	4,3	4687	+ 839

[40]) Was die Begründung, besonders auch die Kritik dieser Methode anbelangt, so vergleiche hierzu HALBFASS (22, p. 219—221).

beschriebenen Wege gefundene Mitteltemperatur mit der mittleren Tiefe des Sees in Zentimetern ausgedrückt multipliziert und man findet dadurch, wieviel Wärmeeinheiten jeder Quadratzentimeter (cm^2) der Oberfläche des Sees in einer bestimmten Zeit gewinnt oder verliert.

Zur Durchführung der Berechnung des Wärmeinhaltes vom Moosseedorfsee haben wir den Wasserkörper, wie aus der Tabelle der morphometrischen Werte (pag. 91) hervorgeht, in 10 Teilvolumen zerlegt und für diese, wie oben beschrieben, die entsprechenden Berechnungen ausgeführt.

Erläuterung zur obigen und den folgenden Tabellen:

In der zweitletzten Rubrik sind die Wärmeeinheiten in Gramm-Kalorien verzeichnet, die der See pro Quadratzentimeter Oberfläche in einer bestimmten Zeit gewinnt oder verliert. Soll die Wärmebilanz der gesamten Wassermasse des Sees festgestellt werden, so ist die für einen cm^2 gefundene Anzahl Wärmeeinheiten mit dem Flächeninhalt des Sees in cm^2 zu multiplizieren.

In der letzten Rubrik der Tabelle sind die Aenderungen der Wärmeeinheiten pro cm^2 Seefläche von einer Temperaturlotung zur anderen verzeichnet. Die positiven Zahlen bedeuten eine Zunahme, die negativen eine Abnahme des Wärmeinhaltes. Daraus ist ebenfalls ersichtlich innert wie vieler Tage diese Aenderung erfolgt ist. Dividiert man diese Zahlen durch die Anzahl der Tage, die zwischen den Terminlotungen liegen, so erhält man die mittlere tägliche Aenderung der Wärmeeinheiten.

Der Wärmeverlust von 218 Kalorien pro cm^2, der sich vom 8. Juni bis zum 11. Juli 1938 zeigte, ist darauf zurückzuführen, dass die Temperaturlotung im Juni während einer Schönwetterperiode erhoben worden ist. Damals wurde eine Oberflächentemperatur von 24° C. gemessen, so dass die mittlere Temperatur der obersten 2,5 m Schicht 20° C. erreichte, das sind für diese Jahreszeit ausserordentlich hohe Werte. Allerdings war das Monatsmittel für den Juni 1938 in der ganzen Schweiz um 1—2° über dem Durchschnitt. Der Termin der Temperaturlotung im Juli fiel dagegen in eine Periode bedeckter und kühler Tage, die Oberflächentemperatur war nur 19° C. und die mittlere Temperatur der obersten 2,5 m Schicht nur 18° C. Dieses Beispiel zeigt, wie sehr das Resultat solcher Berechnungen vom jeweiligen Witte-

rungscharakter zur Zeit der Temperaturmessungen beeinflusst wird, und wie unbedingt notwendig es ist, gleichzeitig den meteorologischen Verhältnissen genügende Aufmerksamkeit zu schenken, um die Zahlen richtig auswerten zu können. Für die Monate Mai bis Dezember 1939 habe ich ebensolche Temperaturmessungen und Berechnungen zur Ermittlung des Wärmeinhaltes des Moosseedorfsees vorgenommen. Dem kühleren Sommer entsprechend, fand ich demgemäss auch kleinere Werte, wie aus der beifolgenden Tabelle hervorgeht.

Wärmebilanz des Moosseedorfsees von Mai bis Dezember 1939

Monat	Tag	Wärme-inhalt	Mittel Temp.	gr/cal pro cm² See-fläche	Differenz
1939					
Mai	16	26 570 295	8,3	9047	
Juni	20	34 353 355	10,3	11041	+ 1993
Juli	13	37 382 020	11,5	12545	+ 1504
August	15	39 575 410	11,6	12644	+ 99
September	20	38 150 500	11,2	12262	— 382
Oktober	17	32 149 880	9,4	10333	— 1929
November	11	25 231 305	7,4	8109	— 2224
Dezember	10	18 300 060	5,4	5886	— 2223

Im Verlauf dieser Messperiode fielen die Terminuntersuchungen so, dass in der ständigen Zunahme des Wärmeinhaltes vom Frühjahr bis zum Spätsommer kein Rückschlag zu verzeichnen war.

Was den Zeitpunkt betrifft, zu welchem ein See seinen grössten und seinen geringsten Wärmeinhalt erreicht, so ist derselbe schwer zu erfassen. Es müssten, um diesen festzustellen, zur kritischen Zeit täglich Temperaturlotungen ausgeführt werden. Die oft erheblichen Unterschiede, die sich beim Vergleich der Wärmebilanz verschiedener Jahre ergeben, sind, abgesehen von klimatischen Faktoren, darauf zurückzuführen, dass es meist nicht gelingt, die höchste, bezw. die niedrigste Menge aufgenommener oder abgegebener Wärme zu messen.

Das Maximum des Wärmeinhaltes im Moosseedorfsee finden wir im August, während schon im September ein Wärmeverlust zu verzeichnen ist. Wie in anderen Seen, ist auch hier charakteristisch, dass zur Zeit des grössten Wärmeinhaltes die oberen Schichten des Sees bereits in Abkühlung begriffen sind.

Ueber das Minimum des Wärmeinhaltes, sowie den winterlichen Wärmehaushalt des Moosseedorfsees im allgemeinen, geben die Messungen vom Winter 1940/41 besonders guten Einblick. Diese konnten zu ausserordentlich interessanten Terminen, nämlich zwei Tage vor dem Zufrieren des Sees (am 16. Dezember 1940), dann unter der zirka 25 cm dicken Eisdecke (am 18. Januar 1941) und endlich am Rand des schmelzenden Eisfeldes (am 24. Februar 1941) ausgeführt werden.[41])

Das Minimum an Wärmeinhalt findet sich im Januar, auch der Februar zeigt einen annähernd gleich geringen Wärmeinhalt, trotzdem die Messungen erst in der dritten Dekade des Monats, als der Eisrand in der Seemitte mit dem Boot zugänglich war, ausgeführt werden konnten.

Wärmebilanz des Moosseedorfsees von November 1940 bis Mai 1941

Monat	Tag	Wärmeinhalt	Mittel Temp.	gr/cal pro cm² Seefläche	Differenz
1940					
November	25	24 063 189	7,3	7957	
					— 4360
Dezember	16	11 546 780	3,3	3597	
					— 295
1941					
Januar	18	10 296 517	3,03	3302	
					+ 44
Februar	24	11 431 000	3,07	3346	
					+ 1984
März	17	16 679 377	4,89	5330	
					+ 1417
April	15	20 991 416	6,19	6747	
					+ 2332
Mai	15	28 247 579	8,33	9079	

[41]) Die Temperaturmessung vom 16. Dezember 1940 gelangte nachmittags zwischen 15 und 16 Uhr, bei einer Lufttemperatur von — 6° zur Ausführung, der See dampfte. Das ganze Epilimnion hatte sich auf 3,3° abgekühlt, während das Wasser unter 12 m Tiefe noch eine Temperatur von 4° hatte.

Der See befand sich also in Gefrierbereitschaft und war auch zwei Tage später, infolge des Frostes von — 10° in den Nächten vom 16./17. und 17./18. Dezember, übereist.

Unter der 25 cm dicken Eisdecke konnte ich am 18. Januar 1941, bei einer Lufttemperatur von — 3° und Schneefall, in der Mitte des kleinen Seebeckens über 18 m Tiefe die folgenden Temperaturen feststellen: in 1—4 m Tiefe 3,2°, bei 5 m Tiefe 3,25°, von 9 m Tiefe bis zum Grund (18 m) 3,3°.

Die Temperaturlotung vom 24. Februar 1941 gehört mit zu den

Daraus wird auch ersichtlich, wie stabil die beim Zufrieren des Sees erreichten Wassertemperaturen sich unter der Eisdecke erhalten. Hier ist die durchmischende Wirkung des Windes vollständig aufgehoben, aber ausserdem ist auch in Betracht zu ziehen, dass die Wärmeleitungsfähigkeit des Eises eine sehr geringe ist (0,0052—0,0057 cal/sec). Die Durchlässigkeit für Wärmestrahlung ist auch nur 6 % und naturgemäss bei trübem, undurchsichtigem, oft schneebedecktem Eis, wie das auf dem Moosseedorfsee vorherrschend der Fall ist, noch weit geringer.

Zur richtigen Auswertung des oben über den winterlichen Wärmehaushalt Gesagten, müssen hier noch kurz die charakteristischen Temperaturverhältnisse der Wintermonate mitgeteilt werden.

Der Dezember 1940 war sehr kalt, mit einem Monatsmittel von —4,3° und einer Abweichung des Normalwertes von —3,1°. Der Januar 1941 zeigte bezüglich der Temperaturen zwei ausgesprochene Phasen, eine erste mit strenger Kälte, eine zweite mildere. Das Monatsmittel war —3,1°, die Abweichung vom Normalwert betrug —0,9°. Das Temperaturmonatsmittel des Februars war 0,6° und entspricht ungefähr dem mittleren Wert. Was die Sonnenscheindauer betrifft, so war sie für die Monate Dezember, Januar und Februar zu gering.

Diesem letzteren Faktor kommt für den Wärmegang eines Gewässers, auch unter dem Eis, eine ausschlaggebende Bedeutung zu, da die Erwärmung des Oberflächenwassers ausschliesslich durch die Sonnenstrahlen bewirkt wird, während die Lufttemperaturen sozusagen wirkungslos sind.

Welchen Wert man der Kalorimetrie zur Beurteilung der

interessantesten, die während der Zeit der Untersuchung am Moosseedorfsee ausgeführt werden konnten. An diesem Datum war nur der obere Teil des grossen Seebeckens eben eisfrei geworden, so dass es möglich wurde mit dem Boot beinahe bis über die tiefste Stelle des Sees vorzudringen, wo unmittelbar am Rande des noch bestehenden Eisfeldes die Temperaturmessungen vorgenommen werden konnten. Die zwischen 15 und 16 Uhr, bei starkem Schneegestöber erhobenen Wassertemperaturen, waren bei 0 m Tiefe 3,3°, bei 1 m Tiefe 3,35°, von 2—20 m 3,4°, so dass sich also der See eben gerade noch im Zustand der winterlichen Schichtung befand. Dieser thermische Zustand kann sich nach dem Schwinden der Eisdecke, infolge seiner geringen Stabilität nur sehr vorübergehend halten, und ist deshalb nur selten direkt zu beobachten.

thermischen Verhältnisse eines kleinen Sees auch beimessen will, so ist sie doch die einzige exakte Grundlage zur Erfassung des gesammten Wärmeinhaltes, besonders dann, wenn es gilt, verschiedene Gewässer vergleichend zu untersuchen.

Chemismus

Ueber die allgemeinen hydrochemischen Verhältnisse des Moosseedorfsees geben die folgenden, von Dr. TH. von FELLENBERG [42]) ausgeführten Analysen Aufschluss.

Die Bestimmung des Trockenrückstandes und der weiteren sich daraus ergebenden Werte, ergab für die Wasserprobe vom 8. Dezember 1938 zur Zeit der beginnenden Herbstvollzirkulation (bei 6—7° C.) einen

Trockenrückstand von . . .	326 mg im Liter
Glührückstand von	296 mg im Liter
Glühverlust von	30 mg im Liter

In einer Wasserprobe vom 15. November 1942, ebenfalls aus einer Tiefe von 10 m und einer Temperatur von 7—8° C., also bei schon stark fortgeschrittener Herbstteilzirkulation die folgenden Werte:

Trockenrückstand	297 mg im Liter
Glührückstand	278 mg im Liter
Glühverlust	19 mg im Liter

Die entsprechenden etwas höheren Werte des Trocken- und Glührückstandes zur Zeit der Herbstvollzirkulation (8. Dezember 1938) sind durchaus erklärlich, wenn man in Betracht zieht, dass bei diesem Vorgang stets feste Partikel am Seeboden aufgewirbelt und in das freie Wasser getragen werden.

Das Wasser des Moosseedorfsees hat verglichen mit jenem des Amsoldinger- und Gerzensees einen etwas höheren Trocken- und Glührückstand. Beim Gerzensee sind die, aus der halben Seetiefe gewonnenen Werte zum Vergleich heranzuziehen. (Vergleiche hierzu v. BÜREN, 12, pag. 69/70 und v. BÜREN, 11, pag. 55.)

Die Bestimmung der Einzelbestandteile des Wassers in Proben

[42]) Es ist mir eine angenehme Pflicht auch an dieser Stelle Herrn Dr. TH. von FELLENBERG für seine Bemühungen bestens zu danken.

vom 15. November 1942 aus einer Tiefe von 10 m ergab die folgenden Kennzahlen:

	Millival[43])	mg i. L.
Kationen		
Kalium $K^{\cdot}$	0,062	2,54
Natrium $Na^{\cdot}$	0,335	7,7
Ammonium $HN^{\cdot}_4$	0	0
Calcium $Ca^{\cdot\cdot}$	3,82	76,4
Magnesium $Mg^{\cdot\cdot}$	1,07	13,0
Eisen $Fe^{\cdot\cdot}$	0	0
Aluminium $Al^{\cdot\cdot\cdot}$	0	0
Summe der Kationen	5,287	99,64
Anionen		
Nitrat NO_3'	0,184	11,4
Nitrit NO_2'	0,009	0,4
Chlor Cl'	0,644	22,9
Hydrosulfid SH'	0	0
Sulfat SO_4''	0,021	1,02
Hydrocarbonat HCO_3'	4,429	270,2
Summe der Anionen	5,287	305,92
Kieselsäure (meta) (H_2SiO_3)		7,28

Nach dem starken Ueberwiegen des Calcium-, Magnesium- und Hydrocarbonations charakterisiert sich das Wasser des Moosseedorfsees als Carbonatwasser. Kalium- und Natriumion tritt zwar stark zurück, besonders letzteres ist aber doch noch in beachtenswerter Menge zugegen. Auffallend ist der verhältnismässig hohe Gehalt an Nitrat- und Chlorionen. Er deutet darauf hin, dass die Urtenen aus ihrem Einzugsgebiet dem See auch jaucheartige Verunreinigungen zuführt.

Die Gesamt- oder Totalkonzentration

aller anorganischen Stoffe in einem Gewässer kann auch vermittelst des elektrolytischen Leitvermögens bestimmt werden. Diese Methode gibt zwar keinerlei Aufschlüsse über die Natur der in der Lösung befindlichen Mineralsalze, aber sie erlaubt mit grosser Genauigkeit, noch geringe Schwankungen in der Gesamtkonzentration

[43]) Unter einem Millival oder Milligrammäquivalent versteht man soviel Milligramme des betreffenden Stoffes, als sein Aequivalentgewicht Einheiten anzeigt.

festzustellen. Im allgemeinen ist das Leitvermögen direkt proportional dem Gehalt an gelösten Elektrolyten. Da die in reziproken Ohm ausgedrückte Leitfähigkeit meist eine kleine Grösse darstellt, ist es üblich, den 10 000fachen Wert anzugeben. Da ferner das spezifische Leitvermögen (K) wässriger Lösungen in hohem Mass von der Temperatur abhängig ist, so muss dieser Wert, um vergleichbar zu sein, vermittelst eines Temperaturkoeffizienten auf eine Normaltemperatur bezogen werden (18°). $K_{18} = n \cdot 10^{-4}$

Das Wasser des Moosseedorfsees hat eine spez. Leitfähigkeit von 4,07—4,67, im Mittel ungefähr von $4{,}37 \cdot 10^{-4} \Omega$ was bedeuten will, dass sein Wasser verhältnismässig reich an Elektrolyten ist. Durch Vergleiche mit einigen Gewässern anderer Gebiete wird am besten hervorgehen, wie die Werte der spezifischen Leitfähigkeit unseres Sees einzuschätzen sind.

Der Sakrowersee bei Potsdam weist eine spez. Leitfähigkeit von $3{,}1—3{,}4 \cdot 10^{-4} \Omega$ auf, der Edelbergsee eine solche von 3,8 bis $4{,}5 \cdot 10^{-4}$ auf. Manche Seen Norwegens, besonders solche im westlichen Urgebirge, sind dagegen ausserordentlich arm an gelösten Mineralsalzen und haben eine spez. Leitfähigkeit von nur $0{,}06 \cdot 10^{-4} \Omega$ aufzuweisen. Solche Gewässer verhalten sich dann praktisch fast wie destiliertes Wasser und sind dementsprechend planktonarm.[44])

Nun kann in einem See zu verschiedenen Zeiten, besonders in verschiedenen Tiefen, zuweilen ein sehr erheblicher Unterschied im Gehalt an gelösten Stoffen bestehen. Aus den beiden hier angeführten Zahlenreihen geht hervor, dass z. B. noch zu Beginn der Herbstteilzirkulation die oberen Wasserschichten ärmer an gelösten Mineralsalzen sind, als die unteren, während zur Zeit der Herbstvollzirkulation ein Ausgleich zwischen Epi- und Hypolimnion stattfindet. Durch die Vollzirkulation werden erhebliche Mengen von Stoffen, sogar auch Mikroorganismen, vom Grund in das freie Wasser getragen, wodurch die etwas höheren Werte der spez. Leitfähigkeit im Dezember ohne weiteres verständlich werden.

---

[44]) Vergleiche mit schweizerischen Gewässern sind leider zur Zeit nicht möglich, da ein entsprechendes Zahlenmaterial fehlt. Derartige vergleichende Untersuchungen in dieser Richtung müssten mit der Pleissnerschen Tauchelektrode vorgenommen werden (PLEISSNER 48).

Spezifische Leitfähigkeit[45]) auf die Temperatur von 18° C. bezogen.

Tiefe in m	20. Sept. 1939	10 Dez. 1939
0	$4{,}07 \cdot 10^{-4}\ \Omega$	$4{,}64 \cdot 10^{-4}\ \Omega$
5	$4{,}09 \cdot 10^{-4}$	$4{,}69 \cdot 10^{-4}$
10	$4{,}36 \cdot 10^{-4}$	$4{,}69 \cdot 10^{-4}$
18	$4{,}43 \cdot 10^{-4}$	—
20	$4{,}47 \cdot 10^{-4}$	$4{,}67 \cdot 10^{-4}$

Bestimmung der Oxydabilität

Die Oxydabilität kann Anhaltspunkte über den Gehalt des Wassers an organischen Stoffen geben. Da unfiltriertes Wasser untersucht wurde, sind somit gelöste und suspendierte oxydationsfähige Stoffe erfasst worden,[46]) doch kann auf die Natur der organischen Stoffe, welche den Permanganatverbrauch verursachen kein Rückschluss gezogen werden. Auch ist zu berücksichtigen, dass zwischen der Menge an organischen Stoffen und dem Kaliumpermanganatverbrauch keine unbedingte Proportionalität besteht, da der Permanganatverbrauch nicht nur von der Menge, sondern auch von der Art der organischen Substanzen abhängig ist. Die Bestimmungen sind nach der Methode von KUBEL vorgenommen, und zwar unter genauer Innehaltung der Vorschriften, wie sie im Schweiz. Lebensmittelbuch (59) niedergelegt sind.[47])

Im Moosseedorfsee konnte im allgemeinen von der Oberfläche nach der Tiefe hin eine Zunahme der Oxydabilität nicht festgestellt werden. Nur einmal, im November, fand ich an der Oberfläche einen Permanganatwert von 19,2 mg/l am Grunde des Sees, bei 21 m einen solchen von 21,6 mg/l, welches auch die im Verlauf der Untersuchung festgestellten Höchstwerte waren. Die gering-

[45]) Die Bestimmung der spez. Leitfähigkeit der Wasserproben aus dem Moosseedorfsee verdanke ich Herrn Prof. Dr. FEITKNECHT, Direktor des Chemischen Institutes, Anorgan. Laboratorium, dem ich auch hier meinen besten Dank sage.

[46]) Vergleichende Untersuchungen über die Oxydabilität filtrierter und unfiltrierter Proben haben auffallend geringe Unterschiede ergeben, so dass anzunehmen ist, dass im vorliegenden Fall doch wohl der Permanganatverbrauch durch die im Wasser gelösten organischen Stoffe herbeigeführt wird.

[47]) Herr Dr. TH. von FELLENBERG hatte die Freundlichkeit, mich in die Handhabung der Methode einzuführen, wofür ich ihm hier meinen besten Dank sage.

sten Werte ergaben sich im Mai mit 15—15,9 mg/l, in der übrigen Zeit schwankten sie zwischen 16,4—18,7 mg/l. Der Mittelwert aus sämtlichen durchgeführten Bestimmungen beträgt 17,3 mg/l Kaliumpermanganat, was einer Menge von 4,43 mg/l Sauerstoff entspricht, die zur Oxydation der organischen Stoffe notwendig sein würde.

Hinsichtlich des Permanganatverbrauches gehört somit der Moosseedorfsee zu den saproben Gewässern (Poly-Mesosaprob).

Bekanntlich haben oligosaprobe Gewässer (mit wenig Zersetzung, aber vorherrschend oxydativen Vorgängen) den geringsten, humose dagegen den höchsten Permanganatwert aufzuweisen.

In der beifolgenden Tabelle sind einige diesbezügliche vergleichende Bestimmungen zusammengestellt.

Verbrauch von mg/l $KMnO_4$

	Moosseedorfsee		Genfersee [48])	
Tiefe	24. II. 41	15. V. 41	16. II. 41	10. V. 41
0 m	17,82	15.00	4,13	5,30
10 m	16,65	15,01	4,45	4,36
21 m	17,19	15,01	4,45	4,36

Im Geistsee (ob Wattenwil, Kt. Bern), einem kleinen Moorsee, der zwar noch keineswegs als typisches dystrophes Gewässer gelten kann, habe ich entsprechende Permanganatwerte von 40,89 bis 44,42 mg/l festgestellt.

Die Alkalinität

Die Alkalinitätsbestimmung ergibt bei natürlichen Wassern ein Bild von der Summe der darin vorhandenen kohlensauren Salze, der Erdalkalien, hauptsächlich der an Kohlensäure gebundenen Salze, des Calciums und Magnesiums.

Der Calcium-Bicarbonat-Gehalt eines Gewässers ist für seine wesentlichsten Eigenschaften bestimmend, er entscheidet über die

[48]) Es sei darauf hingewiesen, dass sich meine Bestimmungen auf Rohwasser beziehen, während die von BUFFLE (9) neulich veröffentlichten, wesentlich niedrigeren Werte von 1,8—2,01 mg/l sich nur auf die im Wasser gelösten organischen Substanzen beziehen, und die suspendierten nach einem von diesem Autor ausgearbeiteten Verfahren ausgeschieden sind.

Art der Reaktion, ob sie sauer, neutral oder alkalisch ist, welches der Pufferungsgrad ist usw.

Zur Bestimmung der „Alkalinität" oder besser Titrationsalkalinität wurden 100 ccm zu untersuchendes Wasser mit $^{n}/_{10}$ HCl gegen Methylorange als Indikator bis zum Farbumschlag nach Zwiebelrot titriert. Die Titrationsalkalinität ist also jene Menge von ccm $^{n}/_{10}$ HCl, die zu 100 ccm Wasser hinzugefügt werden muss, um den genannten Farbenumschlag des Methylorange herbeizuführen.

Die Karbonathärte ist ohne Berücksichtigung des Magnesiumgehaltes des Wassers aus der Alkalinität auf deutsche und französische Härtegrade berechnet. Die für den Moosseedorfsee gefundenen Alkalinitätswerte liegen zwischen 3,8 und 5,9.

Alkalinität	$CaCO_3$ mg/l	Karbonathärte deutsche °	Karbonathärte französ. °
3,8 Minimalwert	= 190,0 =	10,6°	19°
4,9 Mittelwert	= 245,0 =	13,7°	24,5°
5,9 Höchstwert	= 295,0 =	16,5°	29,5°

Das Wasser des Moosseedorfsees ist nach der Einteilung von KLUT (25) den mittelharten bis etwas harten Wassern beizuordnen. Es ist härter als das Amsoldingerseewasser. Als Beispiel eines weichen Wassers kann dagegen Genferseewasser mit einer Alkalinität von 1,9 = 5,3 deutschen Härtegraden gelten.

Vergleicht man nun im Moosseedorfsee die Alkalinitätswerte der einzelnen Monate im Laufe des Seejahres, so kann man feststellen, dass diese von Mai bis August an der Oberfläche bis in zirka 3 m Tiefe abnehmen, während sie in der Tiefe entsprechend zunehmen. Die kleinsten Werte an der Oberfläche werden im August mit 3,8—3,9 erreicht, die grössten in der Tiefe im November mit 5,8—5,9.

Die Abnahme des Kalkgehaltes im Oberflächenwasser ist hauptsächlich auf biogene Ursachen zurückzuführen. Durch Assimilationstätigkeit des Phytoplanktons wird nämlich den Calciumkarbonatmolekülen Kohlensäure entrissen und so das Monokarbonat zum Auskristallisieren veranlasst. Diese Ausfällungen hatten wir die Gelegenheit direkt zu beobachten, so z. B. am 8. Juni 1938, als in den Planktonproben ein zum Teil körniges (13—20 μ), zum Teil

feines Präcipitat (4—6 μ) von Calciumkarbonat eingestreut waren. Durch diesen ausgefällten und absinkenden Kalk wird das stark kohlensäurehaltige Hypolimnion mit diesem angereichert, oft sogar mit solchen Mengen, dass der Kalk aus dem übersättigten Seewasser wieder ausgefällt wird und sich am Boden ablagert.

Alkalinität

Tiefe	8. III. 38	7. IV. 38	11. V. 38	8. VI. 38	11. VII. 38	9. VIII. 38	14. IX. 38	26. X. 38	9. XI. 38	5. XII. 38	5. I. 39	6. II. 39
0	5,26	5,30	4,82	4,34	4,30	3,82	4,76	5,18	5,30	5,00	4,72	4,92
10	5,26	5,30	5,20	5,34	5,32	5,32	5,44	5 60	5,46	5,00	—	5,12
21	5,32	5,32	5,44	5,44	5,32	5,50	5,74	5,90	5,92	5,00	—	5 26

Die Tabelle enthält nur die Alkalinitätswerte vom Jahre 1938/39, während bei der Bearbeitung des diesbezüglichen Textes selbstverständlich sämtliche von März 1938 bis Juni 1941 gewonnenen Werte mit berücksichtigt sind, in welchem auch Bestimmungen zwischen 0 und 5 m Tiefe enthalten sind.

Die Bestimmung der freien Kohlensäure

Sollen die Resultate der Analysen der im Wasser vorhandenen freien Kohlensäure Anspruch auf Genauigkeit erheben, so ist es durchaus notwendig, die an Bord geholten Wasserproben sofort zu titrieren. Zur Durchführung dieser zeitraubenden Untersuchungen mussten besondere Fahrten zwischen die Terminuntersuchengen eingelegt werden, wodurch sich verhältnismässig nur wenige solcher Bestimmungen ermöglichen liessen. Die Titration erfolgte mit einer gemessenen Lösung von Natriumkarbonat unter Benutzung von Phenolphtalein (nach KLUT, 25).

Ganz allgemein kann gesagt werden, dass im Seewasser die Vermehrung der CO_2 und die Verminderung des O_2 parallel gehen.

Im Epilimnion, wo durch den Assimilationsprozess des Phytoplanktons O_2 produziert, aber CO_2 konsumiert wird, war freie Kohlensäure in 0 bis zirka 3 m Tiefe vom Frühjahr bis zum Spätherbst nicht nachweisbar.[49]) Dagegen ist bereits im Metalimnion, da wo die plötzliche starke O_2-Abnahme einsetzt,[50]) eine ver-

[49]) Bei der Kohlensäure Ausscheidung im Epilimnion spielt natürlich die Temperatur auch mit eine gewisse Rolle.

[50]) Infolge des absterbenden, schon während des Absinkens O_2-zehrenden Phytoplanktons und Mangel an ergänzender O_2-Produktion wegen abnehmender Lichtstärke nach der Tiefe und damit paralell gehender verminderter CO_2-Konsumation.

stärkte Anreicherung des Wassers mit CO_2 zu bemerken, die sich in der Tiefe über den Orten reicher organischer Zersetzung noch wesentlich steigert. Dort habe ich als Maximum an freier CO_2 19 mg/l feststellen können.

Ein Teil der bei diesen Vorgängen frei werdenden Kohlensäure wird durch den Kalk des Hypolimnions gebunden, während der andere als freie CO_2 bestimmbar ist. Auch die vertikalen CO_2-Differenzen werden bei den Zirkulationsperioden wieder ausgeglichen.

Freie Kohlensäure [51])

Tiefe	11. III. 1938		14. IV. 1938		15. VI. 1938		21. IX. 1938		12 XI. 1938		8. XII. 1938	
				UB		UB		UB		UB		UB
m	Tp.	mg/l	Tp.	mg/l	Tp.	mg/l	Tp.	mg/l	Tp.	mg/l	Tp.	mg/l
	8. III.		7. IV.		8. VI.		14. IX.		9. XI.		5. XII.	
0	8,4	—1,0	11	—1,0	23,4	—9	20	—11,0	9,2	7,0	7,0	10
1	6,0	—	9,3	—	22,1	—6	—	—	9,1	—	—	—
2,5	5,0	—1,0	8,3	—0,5	16	0,5	16,4	—7,0	—	9,0	—	—
5	4,2	2,0	7,0	—0,5	12,3	3	15	8,0	9,0	9,0	6,4	—
10	—	2,0	6,0	—0,5	7,4	4	8,3	8,0	8,4	12,0	6,4	12
15	4,0	2,5	5,4	0	7,1	4	7,3	11,0	7,3	17,0	—	—
18	4,0	—	5,3	—	7,0	—	7,3	13,0	7,2	19,0	6,4	13
19	—	—	—	—	7,0	7	—	—	—	—	—	—
21	4,0	4,0	5,1	0	7,0	—	—	—	—	—	—	—

Die Wasserstoffionenkonzentration oder aktuelle Acidität (pH)

Die Wasserstoffionenkonzentration der Karbonatpuffer-Lösung, die das Wasser unseres Sees darstellt, dürfte in ungestörtem Zustand etwa pH 7,5—7,6 betragen. Durch den Entzug von Kohlensäure, als Folge der Assimilationstätigkeit des Phytoplanktons, kommt es in den Frühjahrs- und Sommermonaten im Epilimnion zu einer Störung des Bicarbonatgleichgewichtes. In den obersten Schichten ist diese Gleichgewichtsstörung am grössten, weshalb auch dort das pH des alkalischer gewordenen Wassers auf 7,9

[51]) Die mit negativen Vorzeichen versehenen Zahlen geben an, wieviel entsprechende HCl zum Neutralisieren notwendig war, d. h. um die sich bei Zusatz von Phenolphthalein sofort rötenden, mehr oder weniger CO_2 freien Wasserproben auf farblos zu titrieren.

UB = Messungen, die im unteren, kleinen Seebecken ausgeführt worden sind.

Die Temperaturen der jeweils vorangegangenen Terminuntersuchungen sind hier angeführt, um den thermischen Zustand des Sees zu kennzeichnen.

bis 8 bis 8,1 steigt.[52]) Dazu ist zu bemerken, dass die Werte von pH 8 und 8,1 nur nach einer Schönwetterperiode von einigen Tagen festgestellt werden konnten. Entsprechend der Tatsache, dass am Moosseedorfsee in der Uferregion ausser den Seerosenbeständen keine grösseren Pflanzenmassen, wie z. B. *Elodea, Potamogeton* oder *Chara* vorkommen, gelang es mir niemals, dort ein höheres pH des Wassers als im Pelagial zu konstatieren. Dagegen ist im lichtlosen und durch Atmungs- und Zersetzungsprozesse mit CO_2 angereichertem Tiefenwasser ein Sinken des pH zu beobachten, das insbesondere während der Sommerstagnation und in den Wintermonaten am Grund des Sees auf 7,3—7,2 fallen kann.

Die Schwankungen der Wasserstoffjonenkonzentration sind in Anbetracht des vehältnismässig gut gepufferten Seewassers recht gross. Immerhin war ein Unterschreiten des Neutralpunktes, auch am Seegrund, nicht festzustellen, was übrigens möglicherweise zum Teil auch durch Stoffe verhindert wird, die aus dem Schlamm diffundieren.

pH-Werte 1940/41

Tiefe in m	26. III. 1940	19. IV. 1940	11. VI. 1940	30. VII. 1940	19. VIII. 1940	20. IX. 1940	22. X. 1940	25. XI. 1940
0	7,9	7,9	7,9	7,9	8,1	7,7	7,7—7,8	7,5
1	7,9	7,9	—	7,9	—	—	—	—
2,5	7,6	—	—	—	7,8—7,7	7,7	7,7	7,5
3,0	7,6	7,85	7,7	7,4	—	—	—	—
5,0	7,5	7,75	7,5	7,4	7,5	7,5	7,5—7,6	7,5
10,0	7,5	7,7	7,4	7,4	7,5	7,5	7,5	7,5
21,0	7,5	7,6	7,35	7,3	7,3	7,2	7,3	7,5
Tiefe in m	**10. XII. 1940**	**18. I. 1941**	**24. II. 1941**	**17. III. 1941**	**15. IV. 1941**	**15. V. 1941**	**19. VI. 1941**	
0	7,5	7,5	7,5	7,9	7,9	8,0	7,9—8,0	
1	—	—	—	—	7,9	8,0	—	
2,5	—	—	7,5	7,9	7,9	7,95	7,7	
3,0	—	—	—	—	—	—	—	
5,0	7,5	—	7,5	7,7	7,7	7,7	7,4	
10,0	7,4	—	7,45	7,6	7,7	7,7	7,4	
21,0	7,35	—	—	7,5	7,7	7,65	7,4	

[52]) Man gebe sich aber davon Rechenschaft, dass hohe Wasserstoffzahlen einer geringen, tiefe dagegen einer hohen Wasserstoffionenkonzentration entsprechen.

Der Sauerstoff

(Vergleiche hierzu die Zahlentabellen, sowie die Kurventafel am Schlusse des Abschnittes.)

Zur Beurteilung eines Seewassers, sowohl in biologischer als auch in hygienischer Hinsicht, ist sein Gehalt an gelöstem Sauerstoff von allergrösster Bedeutung. Wir haben deshalb auch die Sauerstoffanalysen mit entsprechender Sorgfalt durchgeführt. Zur Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffes bediente ich mich, wie bei meinen früheren Untersuchungen, der Winklerschen Methode. Bei der vorliegenden Arbeit habe ich aber diese mit der von ALSTERBERG empfohlenen Voroxydation mit freiem Brom kombiniert, die bezweckt, reduzierende Stoffe, welche die Winklersche Analyse stören könnten, zu beseitigen. Für die Handhabung der Bromierungstechnik, sowie der dazu notwendigen Reagentien, habe ich mich genau an die von ALSTERBERG (1, p. 12—17) gegebenen Vorschriften gehalten. In unserem See besteht, wie die beifolgenden Zahlen- und Kurventabellen der Analysenresultate zeigen, während der Sommerstagnation (Mai bis November, zirka 7 Monate) eine je nach der Jahreszeit mehr oder weniger ausgeprägte Sauerstoffschichtung. Diese Schichtung ist hauptsächlich biogen bedingt, in dem in den oberen, gut durchleuchteten Wasserschichten die assimilierenden grünen Phytoplanktonalgen Sauerstoff produzieren, wodurch es zeitweise sogar zu einer Uebersättigung des Epilimnions mit diesem Gas kommt. Dagegen finden im Hypolimnion, also in der Tiefe des Sees, sauerstoffzehrende Vorgänge statt, die einerseits durch Fäulnis der niedersinkenden, absterbenden Planktonorganismen und anderseits durch Zersetzungsprozesse, die im Grundschlamm vorsichgehen, herbei geführt werden. Letztere spielen möglicherweise bei der Sauerstoffzehrung eine vorherrschende Rolle.

Durch die temperaturabhängige Schwere des Wassers kommt es bei den Zirkulationsperioden im Herbst und Frühjahr zu einem Ausgleich der Temperatur- und damit auch der Sauerstoffschichtung.

Wenn zwar die Kontaktfläche Wasser-Luft durch Diffusion keinen begrenzenden Faktor für die Sauerstoffaufnahme darstellt, so scheidet dieser Vorgang zur Uebertragung des Sauerstoffes nach tieferen Wasserschichten, seiner Langsamkeit wegen, praktisch ganz aus. Dagegen kann die Winddurchmischung in gewissen

Fällen, besonders bei grossen Wasserflächen, eine erhebliche Steigerung des O_2-Gehaltes in den oberen Wasserschichten herbeiführen.

Im einzelnen waren die Sauerstoffverhältnisse im Moosseedorfsee im Jahre 1938/39 die folgenden:[53])

Zu Beginn der Sommerstagnation, im März und noch im April, ist der Gehalt an gelöstem Sauerstoff noch in allen Wasserschichten des Sees hoch und relativ gleichmässig verteilt. Immerhin ist unter dem Einfluss des sich mächtig entwickelnden Phytoplanktons in den oberen Wasserschichten eine starke Sauerstoffübersättigung festzustellen, die bis in eine Tiefe von 2,5—5 m reicht. Im Mai beginnt sich in der Tiefe des Sees von 10 m an abwärts Sauerstoffschwund bemerkbar zu machen. Dieser Sauerstoffschwund steigert sich bis Juni zu einem eigentlichen O_2-Defizit, um jetzt sogar das Metalimnion zu erfassen.

Dieser Zustand verschärft sich nun weiter bis zum September, in welchem Monat das Maximum des sommerlichen Sauerstoffdefizites erreicht wird. Im Oktober weist dann der Wasserraum oberhalb 7,5 m Tiefe, als Folge des durchmischenden und ausgleichenden Einflusses der Herbstteilzirkulation, wiederum annähernd normale Sauerstoffverhältnisse auf. Auch im November macht der Ausgleich der O_2-Schichtung einige Fortschritte, um im Dezember, nachdem die ganze Wassermasse von der Oberfläche bis zum Boden die gleiche Temperatur zeigt (Homothermie), zur vollen Auswirkung zu gelangen. Die vollständig durchmischte Wassermasse enthält jetzt pro Liter nur 2,7—2,9 cm^3/l Sauerstoff. Der allgemeine schlechte Zustand in welchem sich der See zu Beginn der Herbstvollzirkulation hinsichtlich seiner Sauerstoffverhältnisse befindet, zeigt also, dass das grosse O_2-Defizit des Hypolimnions, das sich während der Sommerstagnation herausgebildet hat, durch die sauerstoffreicheren Schichten des Epi- und Metalimnions nur sehr unvollkommen kompensiert werden kann.[54])

[53]) Bei dieser Darstellung stützen wir uns hauptsächlich auf die im Jahre 1938/39 durchgeführten O_2-Bestimmungen, während die im folgenden Jahre ausgeführten Bestimmungen die im ersten Jahre gewonnenen Resultate durchaus bestätigen.

[54]) Der Schwefelwasserstoff der Tiefe, der beim Mischprozess der Vollzirkulation mit dem sauerstoffhaltigen Oberflächenwasser in Berührung kommt, dürfte als Ursache dieses Sauerstoffdefizites eine nicht unbedeutende Rolle spielen.

Die während der Winterstagnation bestehenden Verhältnisse sind für eine Erholung wenig günstig. Bei der geringen Lichtintensität und den niedrigen Temperaturen ist die assimilatorische Tätigkeit des Phytoplanktons sehr gering, und dementsprechend auch die O_2-Produktion. Dazu kommt die Eisbedeckung, die meist während der letzten Dezemberdekade einsetzt und, je nach den Witterungsverhältnissen, bis Ende Februar dauernd oder mit kurzen Unterbrechungen bestehen bleibt. Während dieser Zeit bleibt auch die Sauerstoffaufnahme durch Diffusion an der Seeoberfläche auf ein Minimum beschränkt. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass selbst im Februar, gegen Ende der Winterstagnation, die Sauerstoffspannung noch gering ist.

Dagegen konnte festgestellt werden, dass im März der See in allen Wasserschichten wiederum sehr günstige Sauerstoffverhältnisse aufwies. Diese rasche und durchgreifende Erholung ist nur unter dem Einfluss der sich rasch folgenden Frühlingsteil- und vollzirkulation, sowie der sich zugleich stark intensivierenden assimilatorischen Tätigkeit des Phytoplanktons möglich. Ausserdem sind die instabilen Verhältnisse, wie sie im Vorfrühling, bevor sich eine schärfere thermische Stratifikation ausgebildet hat, bestehen, den Durchmischungsvorgängen ausserordentlich günstig.

Im Jahre 1939/40 gestalteten sich die Sauerstoffverhältnisse prinzipiell gleich wie im Vorjahr, wenn auch gewisse Abweichungen festzustellen waren, die hauptsächlich mit den von Jahr zu Jahr etwas verschieden verlaufenden, thermisch bedingten Zirkulations- und Durchmischungsvorgängen in Zusammenhang zu bringen sind. Auffallend war besonders, dass der Sauerstoffhaushalt zu Beginn der Winterstagnation ein etwas günstigeres Bild zeigte als im Vorjahre. (Vergleiche hierzu die Sauerstofftabellen.)

Bei genauer Durchsicht und Vergleich der Sauerstofftabellen und besonders der Kurven fallen gewisse kleine Unregelmässigkeiten bei den Werten aus der Seetiefe auf. So fand ich fünfmal auf 22 Sauerstoffmessungen dicht über dem Seeboden in 21 m um 0,4 bis 0,8 cm^3 höhere O_2-Werte als 3,5 m über dem Seegrund in 17,5 m Tiefe. Einmal war auch das Umgekehrte der Fall, indem wir nämlich in 17,5 m 0,4 resp. 0,5 cm^3 höhere Werte fanden als in 15 und 21 m Tiefe.

Da wir bei Wiederholung der Messungen Abweichungen annähernd gleicher Grössenordnung erhielten und diesen Arbeiten die

grösste Sorgfalt zugewendet haben, so glauben wir, Ungenauigkeit der Analysen als Ursache dieser Unregelmässigkeiten ausscheiden zu dürfen.

Ein leichter Mehrgehalt an Sauerstoff in der Tiefe ist übrigens auch von RUTTNER im Lunzer-Obersee und ebenso von LOTZ (31) im Freibergsee (Allgäu) beobachtet worden.

Die Sauerstoffverhältnisse des Moosseedorfsees entsprechen also durchaus jenen eines stark eutrophen Sees, für den während der Sommerstagnation das an O_2 stark übersättigte Epilimnion und der Sauerstoffschwund der Tiefe charakteristisch ist.

Um den Gegensatz dieser Verhältnisse einmal an einem konkreten Beispiel zu zeigen, habe ich innert weniger Tage nebst anderen hydrochemischen Untersuchungen auch je eine Sauerstoffbestimmung aus dem Moosseedorfsee und dem Genfersee ausgeführt. Den Hauptwert dieses Vergleiches sehe ich besonders darin, dass diese Bestimmungen mit einem Zwischenraum von nur drei Tagen, vom gleichen Beobachter, mit den gleichen Geräten und den gleichen Arbeitsmethoden durchgeführt sind. Die Zahlenwerte sind somit absolut vergleichbar.

Moosseedorfsee						Genfersee b. Cully					
19. Juni 1941						15. Juni 1941					
m	Temp.	O_2	% S	Alk.	pH	m	Temp.	O_2	% S	Alk.	pH
0	21,2	9,5	162	4,66	7,9–8	0	13,3	7,4	106,5	1,96	8,1
5	11,25	4,9	67	—	7,4	5	13,05	8,0	115,8	—	8,1
10	7,05	3,1	39	5,10	—	10	12,1	7,6	105,2	1,98	8,0
15	6,35	3,2	40	—	—	15	11,2	7,9	106,9	—	—
20	6,25	3,4	41	5,26	7,4	20	11,1	8,1	108,9	1,98	7,9

m = Tiefe in Metern.
Temp. = Wassertemperaturen in ° C.
% S = Sauerstoffgehalt in % der Sättigung, berechnet nach den Absorptionskoeffizienten von WINKLER bei der Temperatur und dem jeweiligen Barometerstand in Moosseedorfseehöhe resp. Genferseehöhe.
Alk. = Alkalinität.
pH = Wasserstoffionenkonzentration.

Vor Ouchy fand WALTER[55]) in einer Tiefe von 300 m noch 7,0 cm^3 gelösten Sauerstoff pro Liter, was unter den gegebenen

[55]) Vergleiche bei FOREL, Le Léman II, p. 622.

Verhältnissen einer Sättigung von 81,9 % entspricht. Auch über dem Seeboden wird im oligotrophen Seetypus der Sauerstoffgehalt von 4—5 cm^3 pro Liter nicht unterschritten werden, das entspricht 50—60 % der Sättigung.

Bezüglich des Eutrophiegrades des Moosseedorfsees darf man sich nun nicht etwa vorstellen, dass dieser ausschliesslich durch die Verunreinigung der Zuflüsse herbeigeführt worden ist. Wenn auch im vorliegenden Fall des Moosseedorfsees die Verstärkung der Eutrophierung durch Verunreinigung von aussen nicht in Abrede zu stellen ist, so muss doch hier mit allem Nachdruck darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Eutrophie dieser kleinen Mittellandseen zum grössten Teil auf natürlichen Ursachen beruht, unter denen der morphometrischen Beschaffenheit des Beckens eine besondere Bedeutung zukommt. THIENEMANN (64) hat nämlich wiederholt darauf hingewiesen, dass für den Sauerstoffhaushalt eines Sees das Verhältnis der Wassermasse des Hypolimnions (Tropholytische Schicht) zu jener des Epilimnions (Trophogene Schicht) ausschlaggebend ist.

Je grösser die Wassermenge des Hypolimnions ist, um so mehr Sauerstoff ist vorhanden, und um so langsamer wird seine Menge durch die Oxydationsprozesse im Grundschlamm vermindert werden. Je kleiner dagegen das Volumen des Hypolimnions im Verhältnis zu dem des planktonproduzierenden Epilimnions ist, um so schneller kann der in ihm gelöste freie Sauerstoff durch das absinkende abgestorbene Plankton verbraucht werden.

Die meisten kleinen Mittellandseen hatten von jeher, auch in ihrem „Jugendstadium", eine geringe mittlere Tiefe.[56]) Das Volumen des Epilimnions im Verhältnis zu dem des Hypolimnions ist gross, so dass hier die Auflösung der organischen Substanzen (absterbendes und abgestorbenes Plankton u. a. Detritus) sich im allgemeinen in einer verhältnismässig kleinen Wassermasse vollziehen muss, wodurch im Hypolimnion der im Wasser gelöste Sauerstoff sehr bald durch die oxydativen Vorgänge aufgezehrt wird.

Was speziell den Moosseedorfsee in dieser Hinsicht betrifft,

[56]) THIENEMANN (64) nimmt an, dass in den gemässigten Gebieten der nördlichen Halbkugel Seen von mehr als 18,5 m mittlerer Tiefe oligothrophen Charakter haben, Seen dagegen deren mittlere Tiefe unter 16,4 m ist im allgemeinen eutroph sind.

so gestaltet sich das Volumenverhältnis von Epilimnion : Hypolimnion folgendermassen:

Epilimnion: Wasservolumen zwischen 0—7,5 m = 1942, 600 m^3 = 67 % des gesamten Seevolumens.

Hypolimnion: Wasservolumen zwischen 15—21,5 m = 113,200 m^3 = 9,5 % des gesamten Seevolumens.

Das Volumen des Hypolimnions ist also zirka 17mal kleiner als jenes des Epilimnions. Immerhin ist zu berücksichtigen, dass, wenn auch in geringerem Masse, das dazwischenliegende Metalimnion teilnimmt einerseits an der Produktion, wie anderseits auch an der Reduktion der Sinkstoffe. Die Sauerstoffarmut dieser Seen ist somit durch natürliche Ursachen, also hauptsächlich die Form des Seebeckens, bedingt, und schon eine geringe Vermehrung an organischen Stoffen durch Zufuhr von aussen kann deshalb unter Umständen, infolge erhöhter Produktion im Epilimnion und einer entsprechenden verstärkten Oxydation im Hypolimnion, in der Tiefe solcher Gewässer zu einem mehr oder weniger vollständigen Sauerstoffschwund führen.

Versuchen wir nun noch die gefundenen absoluten Sauerstoffzahlen hinsichtlich ihres respiratorischen Wertes zu beurteilen.

BREHM und RUTTNER (8) haben darauf aufmerksam gemacht, dass für die Bewertung eines Seewassers als Atmungsmilieu für die darin lebende Tierwelt die übliche Angabe des Sauerstoffgehaltes in Sättigungsprozenten ein durchaus unzutreffendes Bild der tatsächlichen Verhältnisse zeigt. Gibt man nämlich den O_2-Gehalt eines Gewässers in Sättigungsprozenten an, so bringt man ihn in eine Abhängigkeit der Temperatur, indem das Lösungsvermögen des Wassers für Gase bei fallender Temperatur steigt (Physikalische Sättigung). Doch ist diese Abhängigkeit jener der Atmung gerade entgegengesetzt, da dieser Prozess nicht nur vom Sauerstoffgehalt, sondern in hohem Masse auch von der Temperatur abhängig ist. Hier ist die van'tHoffsche Reaktionsgeschwindigkeit-Temperaturregel (R G T-Regel) zu berücksichtigen, wonach sich der Sauerstoffverbrauch bei einer Temperatursteigerung von 10^0 verdoppelt bis verdreifacht. Es wird also bei gleichem Sauerstoffgehalt in einem bestimmten Wasservolumen von z. B. 5^0 annähernd die doppelte Individuenzahl noch ausreichend atmen

können als bei 15°; der respiratorische Wert ist im ersten Fall zweimal so gross als im letzteren.

Ganz allgemein kann gesagt werden, dass bei tiefen Wassertemperaturen der Sauerstoffbedarf meist reichlich gedeckt ist, dass anderseits mit steigender Temperatur ein Punkt eintritt, wo selbst die physikalische Sättigung dem nun rasch wachsenden Bedarf an O_2 nicht mehr genügt. BREHM und RUTTNER nehmen nun an, dass bei einer Temperatur von 15° C. ein O_2-Gehalt von 10 mg pro Liter für eine bestimmte Lebensgemeinschaft gerade das günstigste Milieu für die Atmung sei, und setzen für diesen Zustand = 100 %. Der respiratorische Wert bei 10 mg/l und 15° C. ist also gleich 100 %. Der Respirationswert (RW) ergibt sich aus dem Quotienten zwischen absolutem O_2-Gehalt des Wassers und dem physiologischen O_2-Sättigungswert mal 100.

Die Auswertung des Sauerstoffgehaltes nach diesem Verfahren bedeutet also, dass im Moment, wo der Respirationswert von 100 unterschritten wird, nicht genügend Sauerstoff für die Atmung vorhanden ist. Ist dagegen der Respirationswert grösser als 100, so ist der Sauerstoffbedarf für die Atmung reichlich gedeckt.

Wenn vielleicht auch diese Art der Betrachtungsweise für Seen von geringer Tiefe, in welchen die Kaltwasserschicht verhältnismässig wenig mächtig ist und die absoluten O_2-Beträge der Tiefe an sich gering sind, nicht besondere Vorteile bietet, so wollte ich doch gerne einmal den Versuch machen, die Sauerstoffverhältnisse eines kleinen Mittellandsees auch nach diesem Verfahren auszuwerten.

Für den Moosseedorfsee habe ich nun die Respirationswerte für die Zeitperiode von März 1938 bis März 1939, sowie die Monate November und Dezember 1939 errechnet. Diese sind in der sechsten Reihe der Sauerstofftabellen 1—12, 16 und 18 eingetragen und lassen sich folgendermassen interpretieren: Im März, April und Mai schöpft die Lebensgemeinschaft im ganzen Seeraum sozusagen aus dem Vollen. Besonders in den zwei ersten Monaten liegen die RW weit über 100. Im Juni sinken die RW bei 5 m Wassertiefe schon unter 100, während sie in den Monaten Juli, August und September im ganzen See unter 100 liegen. Erst im Oktober und November kommen die RW unter dem Einfluss der Herbstteilzirkulation (niedrigere Wassertemperaturen- bis in 6 und dann 7 m Tiefe wieder über 100. Unter dem Einfluss der voll-

ständigen Wasserdurchmischung sinken dann im Dezember die RW in der ganzen Wassermasse abermals unter 100, von der vorübergehenden, teilweisen Erholung ist also jetzt wieder ein „Rückfall" eingetreten. Während des grössten Teiles der Winterstagnation bleiben die RW unter der Norm, erst Ende Februar erhoben sie sich in den obersten Wasserschichten über den kritischen Punkt. Im März war dann wiederum ein vollständig normaler Zustand eingetreten.

Hervorzuheben ist, dass im Seeraum unter zirka 6 m Wassertiefe, also in zirka 30 % des gesamten Seevolumens, der RW neun Monate dauernd unter 100 bleibt, dass dagegen das Epilimnion im März, April und Mai einen sehr hohen, und im Juni, Oktober und November noch durchaus genügenden RW aufweist. Immerhin muss das Jahr 1938/39 hinsichtlich der Sauerstoffverhältnisse, wie oben schon festgestellt wurde, als besonders ungünstig bezeichnet werden. Aus den RW der Monate November und Dezember 1939 (Tabellen 16 und 18) ergibt sich nämlich, dass im Moment der beginnenden Herbstvollzirkulation der See sich bereits recht gut „erholt" hatte, so dass während der Winterstagnation 1939/40 ganz wesentlich bessere Verhältnisse geherrscht haben müssen, als im entsprechenden Zeitraum des vorigen Jahres. Die Dauer der Periode, in welcher der Seeraum unter zirka 6 m Wassertiefe einen RW unter 100 aufwies betrug im Seejahr 1939/40 nur sechs Monate (Juni—November).

Der RW bleibt somit in einem grossen Teil des Moosseedorfsees auch unter günstigen Verhältnissen während der Hälfte des Jahres unter der Norm. Für die Beurteilung des Moosseedorfsees als Nutzungsgut in fischereiwirtschaftlicher Hinsicht sind diese Verhältnisse massgebend. Bei geeigneter Besetzung (d. h. den Verhältnissen entsprechend geeigneten Fischarten [57]) wird es auch in diesem Gewässer weiterhin möglich sein, einen fischereiwirtschaftlich durchaus befriedigenden Ertrag zu erzielen, allerdings nur unter der Voraussetzung, dass einer weiteren Beeinflussung des Sees durch Abwässer möglichst bald Einhalt geboten wird. Ein Fortbestehen der gegenwärtigen Zustände müsste auf die Dauer

[57]) Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der Moosseedorfsee von jeher nur ein Hecht- und Karpfen-See gewesen ist und sich auch in Zukunft, in der Hauptsache wenigstens, nur für die Besetzung mit solchen Fischen eignen wird.

8. März 1938						7. April 1938					
T	Tp	O_2	S	%S	RW	T	Tp	O_2	S	%S	RW
0	8,4	10,2	7,6	133	213	0	11	9,7	7,3	132,4	173,3
2,5	5,0	8,5	8,4	100,7	244	2,5	8,3	9,9	7,6	126,7	285,2
5	4,2	7,5	8,6	86,7	229,7	5	7,0	8,3	8,0	103,7	199,6
8	4	7,5	8,2	91,2	239,3	7,5	7,0	8,1	8,0	100,6	193,3
10	4	7,2	8,6	82,9	229,5	10	6,0	8,3	8,2	100,8	216,3
15	4	8,0	8,6	90,4	256,6	15	5,4	7,4	8,2	84,9	196,4
21	4	7,1	8,6	82,2	227,5	21	5,1	7,0	8,4	83,4	199,2
11. Mai 1938						**8. Juni 1938**					
0	15	8,0	6,6	121,0	128,5	0	24	9,1	5,5	163,8	64,4
2,5	14,2	8,8	6,7	131,1	131,3	2,5	16,0	10,6	6,5	162,6	138,7
5	10,2	7,8	7,3	105,9	145,8	5	12,3	5,8	6,9	83,6	95,2
7,5	8,3	6,4	7,5	84,5	133,8	7,5	9,0	3,1	7,6	40,5	63,4
10	8,0	6,2	7,7	80,0	123,2	10	7,4	2,5	7,8	32,1	56,6
15	6,4	4,5	7,9	56,9	110,0	15	7,1	2,0	8,0	25,8	49,0
17,5	—	—	—	—	—	17,5	7,0	1,4	8,0	17,4	35,5
21	6,4	3,9	7,9	49,3	95,6	21	7,0	2,2	8,0	27,3	55,0
11. Juli 1938						**9. August 1938**					
0	19	8,0	6,0	136,2	90,5	0	23,3	8,1	5,6	144,5	62,8
2,5	17,2	6,0	6,3	94,7	70,5	2,5	20,3	7,3	5,9	122,2	65,5
5	14,1	1,8	6,7	26,8	27,0	5	14,1	0,8	6,7	12,8	13,5
7,5	9,3	1,4	7,3	19,0	26,0	7,5	9,4	0,8	7,5	10,5	15,6
10	8,1	1,0	7,7	13,4	22,4	10	8,1	0,5	7,3	6,5	11,5
15	7,2	0,8	7,9	10,3	19	15	7,3	0,7	7,9	9,0	15,0
17,5	7,1	1,0	7,9	12,8	22,5	17,5	7,3	0,7	7,9	9,4	17,0
21	7,0	0,9	7,9	12,0	16	21	7,1	1,2	7,9	15,8	30,0
14. September 1938						**26. Oktober 1938**					
0	20,0	6,9	5,9	116,7	66,5	0	11,3	6,0	6,9	86,9	105,0
2,5	16,4	6,3	6,3	99,2	76,4	2,5	11	6,0	7,1	82,9	108,1
5	15,0	2,8	6,6	42,3	33,8	5	11	6,0	7,1	85,1	109,0
7,5	10,1	1,0	7,3	13,6	19,0	7,5	11	5,1	7,1	72,0	91,1
10	8,3	0,8	7,5	11,6	18,6	10	8,3	2,7	7,4	36,7	58,2
15	7,3	0,8	7,7	10,9	19,3	15	7,3	1,4	7,6	18,8	33,0
17,5	7,3	0,7	7,7	9,6	17,0	17,5	7,2	1,2	7,8	16,0	17,4
21	7,1	0,7	7,9	9,6	18,1	21	7,2	1,8	7,8	23,2	42,4

9. November 1938						5. Dezember 1938					
T	Tp	O_2	S	%S	RW	T	Tp	O_2	S	%S	RW
0	9,2	5,3	7,6	69,2	105,5	0	7	2,9	7,9	36,4	68,3
2,5	9,1	5,1	7,6	66,6	104,4	2,5	6,4	2,7	7,9	34,7	67,2
5	9,0	5,1	7,6	66,9	105,5	5	6,4	2,9	7,9	36,8	71,2
7,5	9,0	5,1	7,6	67,7	106,0	7,5	6,4	2,8	7,9	35,6	68,7
10	8,4	3,9	7,6	50,9	81,0	10	6,4	2,8	7,9	35,3	68,3
15	7,3	1,7	7,6	22,2	38,7	15	6,4	2,8	7,9	36,5	69,3
17,5	7,2	2,1	8,0	26,1	48,5	17,5	6,4	2,8	7,9	36,9	72,3
21	7,2	1,6	8,0	20,8	38,7	21	6,4	2,7	7,9	35,8	68,5
6. Februar 1939						**14. März 1939**					
0	3	3,5	8,9	39,5	125,1	0	4,3	7,8	8,4	92,1	231,2
2,5	4	2,9	8,6	34,1	94,4	2,5	4,3	7,7	8,4	91,8	232,9
6,0	4	2,09	8,6	24,0	66,6	5	4,3	7,9	8,4	93,8	238,3
						7,5	4,3	7,7	8,4	91,8	232,0
						10	4,3	7,9	8,4	93,7	236,8
						15	4,3	8,1	8,4	95,9	242,7
						17,5	4,3	7,6	8,4	90,7	229,0
						21	4,3	7,6	8,4	90,0	227,0
16. Mai 1939						**20. Juni 1939**					
0	10,4	6,9	7,1	97,4		0	18	7,8	6,2	126,8	
2,5	10,2	7,0	7,3	96,7		2,5	15,1	8,7	6,6	131,6	
5	9,1	5,8	7,4	77,7		5	11,1	3,0	7,2	41,9	
7,5	7,2	5,3	7,8	68,4		7,5	7,4	2,4	7,7	31,1	
10	6,2	4,5	8,0	56,8		10	6,1	3,7	8,1	46,3	
15	5,2	5,3	8,2	64,7		15	5,3	2,2	8,1	27,7	
17,5	—	—	—	—		17,5	5,2	1,7	8,3	20,5	
21	5,1	4,4	8,2	53,2		21	5,2	2,3	8,3	28,4	
15. August 1939						**11. November 1939**					
0	21	9,5	5,9	162,7		0	9,2	6,2	7,5	82,6	124,7
2,5	17,4	8,7	6,2	138,7		2,5	8,0	5,5	7,7	71,9	130,7
5	13,4	2,8	6,8	41,1		5	7,4	5,1	7,7	63,2	110,0
7,5	8,1	1,5	7,8	20,0		7,5	7,4	4,4	7,7	57,2	99,5
10	6,4	1,1	8,0	14,6		10	7,2	4,2	7,9	53,0	97,5
15	6,1	1,4	8,2	17,3		15	6,2	3,4	8,1	42,3	85,6
17,5	6,0	1,1	8,2	13,8		17,5	6,1	3,4	8,1	41,9	86,6
21	5,4	1,0	8,2	12,7		21	6,1	3,7	8,1	45,7	95,7

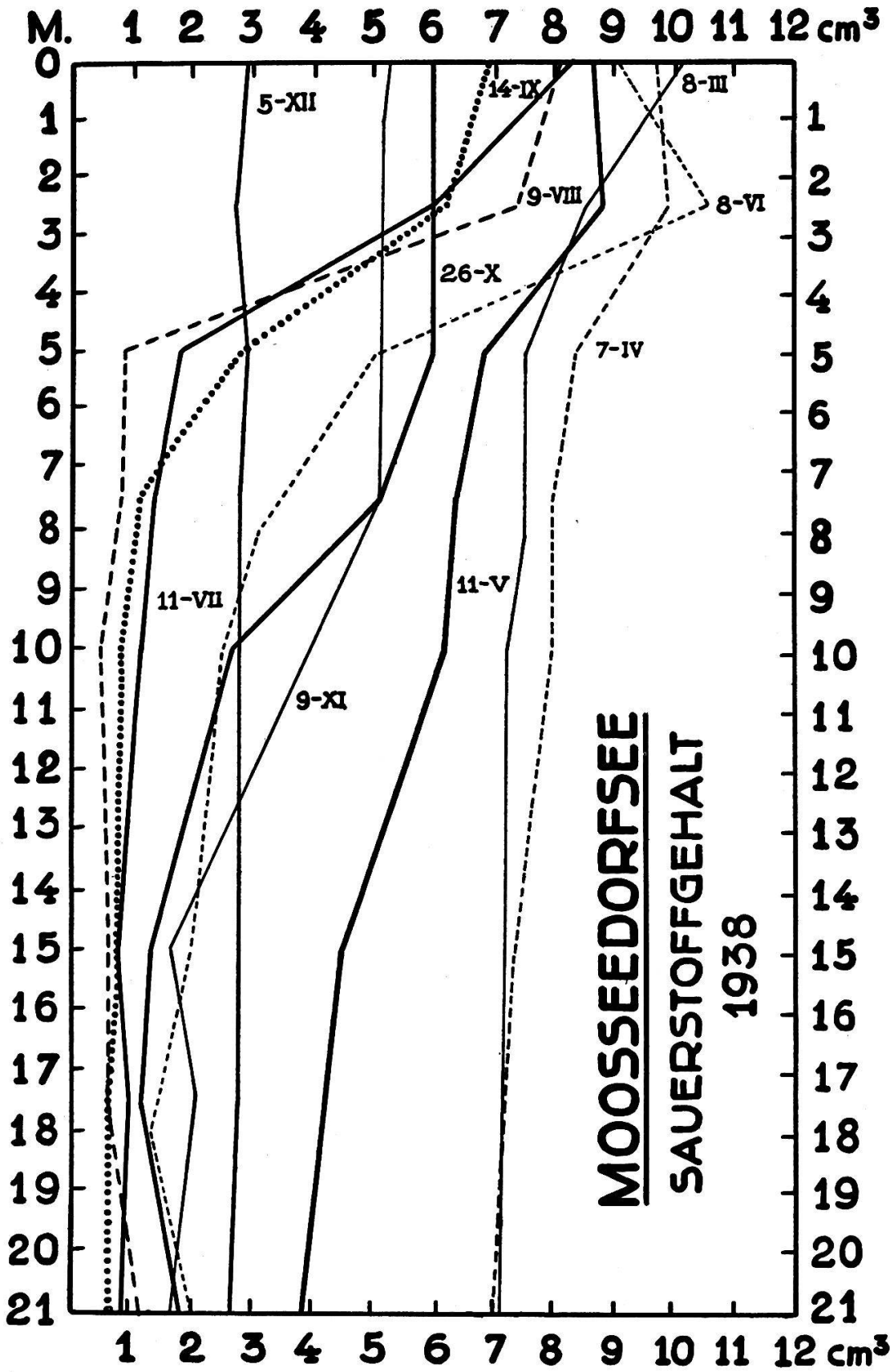
10. Dezember 1939						19. Dezember 1939					
T	Tp	O_2	S	%S	RW	T	Tp	O_2	S	%S	RW
0	5,4	4,5	8,1	56,3		0	4,35	4,6	8,3	55,7	139,3
2,5	5,4	4,4	8,1	54,9		2,5	4,35	4,7	8,3	56,2	140,8
5	5,4	4,6	8,1	56,4		5	4,35	4,6	8,3	56,0	139,5
7,5	5,4	4,6	8,1	56,6		7,5	4,35	—	—	—	—
10	5,4	5,2	8,1	64,7		10	4,35	4,6	8,3	56,2	127,9
15	5,4	4,7	8,1	58,0		15	4,35	4,9	8,7	57,1	149,1
17,5	5,4	4,6	8,1	56,4		17,5	4,35	4,8	8,3	57,3	143,3
20	5,4	5,0	8,1	62,0		21,0	4,35	4,7	8,3	56,8	142,9

T = Tiefe in Metern
Tp = Wassertemperaturen in Grad C
O_2 = Sauerstoffgehalt in cm^3/l
S = Sättigungswerte des Wassers mit Sauerstoff in cm^3/l, berechnet nach den Absorptionskoeffizienten von **Winkler** bei der Temperatur Tp für den Barometerstand auf Moosseedorfseehöhe
%S = Sauerstoffgehalt in Prozenten der Sättigung
RW = Respirationswert

den natürlichen Eutrophiezustand des Sees dermassen überhöhen, dass dadurch in kürzester Zeit sein Wert als Nutzungsgut stark beeinträchtigt würde. (Vergleiche hierzu auch das weiter unten bei pag. 204 Gesagte.)

Die Kieselsäure (SiO_2)

Bestimmend für den Kieselsäuregehalt eines Sees ist hauptsächlich die geologische Beschaffenheit des Einzugsgebietes der Flüsse und Bäche, die ihm zufliessen. Durch diese werden, besonders infolge der Auslaugung der weitverbreiteten Feldspäte, die in Lösung gebrachten kieselsauren Salze dem See zugeführt. Die Hauptkonsumenten, der im Seewasser gelösten Kieselsäure, sind die *Diatomeen,* welche diese Substanz zum Aufbau ihrer Panzer bedürfen. Beim Absterben lösen sich die Kieselsäureschalen der zarteren Formen schon während des Absinkens wieder auf, während jene der robusteren, härteren Formen, bis auf den Boden des Gewässers gelangen und erst dort zum Teil aufgelöst werden. Dies hat zur Folge, dass in der Tiefe eine meist etwas höhere SiO_2-Konzentration festzustellen ist. Der Kreislauf der Kieselsäure


M.
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 cm³
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
5-XII
14-IX
8-III
9-VIII
8-VI
26-X
7-IV
11-VII
11-V
9-XI
MOOSSEEDORFSEE
SAUERSTOFFGEHALT
1938

innerhalb eines Gewässers wird also vorherrschend durch das Auftreten und wieder Vergehen der *Diatomeen*-Flora gesteuert.

Die vermittelst der Reaktion mit Ammoniummolybdatlösung kolorimetrisch durchgeführte Kieselsäure-Bestimmung WERESCAGIN (66 a) ergab für den Moosseedorfsee folgendes: Das nach der Vollzirkulation durchmischte Seewasser enthält 4,5—5 mg/l Kieselsäure. Es war dann interessant feststellen zu können, wie bei der beginnenden *Diatomeen*-Hochproduktion z. B. im Frühjahr (März) 1938 in der trophogenen Zone der Kieselsäuregehalt auf 3 mg/l sank, während er in den tieferen Wasserschichten (10 bis 20 m) mit 5—5,5 mg/l noch ungefähr normal war. Im April und Mai enthielten die Oberflächenschichten nur noch 1,8 mg/l SiO_2. Durch die enorme *Diatomeen*-Produktion waren von der Frühlingsvollzirkulation an bis Mitte Mai, also in $2^1/_2$ bis 3 Monaten dem Seewasser zirka neun Tonnen Kieselsäure entzogen worden.[58]) Späterhin, mit dem Abklingen der *Diatomeen*-Hochproduktion, „erholten" sich die an Kieselsäuregehalt erschöpften Schichten zusehends, um bei einsetzender Herbstteilzirkulation wieder auf ihren normalen Kieselsäuregehalt zu gelangen. Im folgenden Jahr trat, entsprechend der bedeutend weniger wuchtig einsetzenden *Diatomeen*-Entfaltung, die oben beschriebene Kieselsäureverarmung des Epilimnions weniger frapant in die Erscheinung, auch waren im ganzen See mitunter höhere Kieselsäuregehalte festzustellen. Meine Analysenresultate zeigten SiO_2-Werte von 7—9 mg/l. Auf jeden Fall ist hier der Zusammenhang zwischen *Diatomeen*-Entwicklung und Kieselsäuregehalt des Seewassers deutlich nachweisbar.

Ammoniak (NH_3) [59])

Ammoniak wird vorzugsweise als Stoffwechsel- und Zerfallsprodukt der biozoenotischen Fauna und Flora am Seegrund gebildet. Es ist das Mineralisationsprodukt aller tierischen und pflanzlichen Stoffwechselausscheidungen, sowie der Tier- und

[58]) Bei dieser Berechnung ist der verschiedene SiO_2-Gehalt der einzelnen Tiefenstufen berücksichtigt.

[59]) Die Bestimmung des Ammoniaks und des Eisens erfolgte kolorimetrisch vermittelst Nessler-Reagens resp. Kaliumrhodanid und unter Anwendung des Lunzer-Kolorimeter-Komparator. (Vgl. v. BÜREN 12, pag. 84 und 86.)

Pflanzenleichen, die ihren gesamten Stickstoff durch mikrobiologische Vorgänge als Ammoniak in die unbelebte Natur übertreten lassen. Alle diese Zersetzungsvorgänge spielen sich hauptsächlich im Schlamm ab, von wo die Endprodukte derselben in die der Schlammfläche nächstliegenden Wasserschichten diffundieren, so dass am Ende der Sommerstagnation im Moosseedorfsee dort Konzentrationen von 0,8—2,7 mg/l NH_3 erreicht werden können. Bei fortgeschrittener Herbstteilzirkulation und bei der Herbstvollzirkulation gelangt dieser Stoff in nachweisbaren Mengen auch in das Meta- und Epilimnion, 0,01—0,36 mg/l, während in der übrigen Zeit das Ammoniak dort nur in Spuren festzustellen ist. Während der Winterschichtung, bei relativer thermischer Stabilität und genügendem Sauerstoff [60]) kann nun der Nitrifikationsprozess einsetzen, der das Ammoniak in Nitrate überführt, wodurch der Stickstoff dem Stoffkreislauf des Sees wieder zugeführt wird. Den Nitraten [61]) kommt als Pflanzennährstoffen nämlich insofern eine besondere Bedeutung zu, als sie den Pflanzen (Phytoplankton) die grösste Menge des notwendigen Stickstoffes in löslicher Form zur Verfügung stellen.

Das Eisen

In den oberen Wasserschichten ist bei Gegenwart von Sauerstoff Eisen in gelöster Form nicht zu erwarten, da es dort in dreiwertiges unlösliches (Ferri) Hydroxyd übergeht. Dagegen konnte auch im Tiefenwasser des Moosseedorfsees, vermittelst der Rhodankalium-Reaktion kolorimetrisch, zur Zeit der geringsten Sauerstoffspannung, gelöstes Eisen in Konzentration von 0,09—0,2 mg/l FeO_2 festgestellt werden. Bei den Zirkulationsperioden gelangt nun wieder Sauerstoff in das Hypolimnion und das dort in Lösung vorhandene Eisen wird als Hydroxid ausgefällt, so dass mit den sich niederschlagenden Eisenorganismen [62]) im Lauf der Zeit auf dem Seeboden eine beträchtliche Anreicherung von Eisenkarbonat

[60]) In der Regel sind im Winter die die Nitrifikation fördernden Bakterien häufiger im Wasser vorhanden als im Sommer, zu welcher Zeit sie durch das intensive Licht geschädigt werden.

[61]) Von manchen Autoren wird sogar der Nitratstickstoff als Minimumfaktor bezeichnet.

[62]) In den Niederschlägen findet man meist nur die leeren röhrenförmigen Eisenhydroxydscheiden, in denen die Bakterienzellen nicht mehr vorhanden sind.

herbeigeführt wird. Die Gegenwart von Schwefelwasserstoff H_2S über dem Seeboden gibt auch im Moosseedorfsee zur Bildung von schwarzem Schwefeleisen Anlass.

Die Verhältnisse sind im Hinblick auf die Eisenorganismen, speziell der im Moosseedorfsee sehr häufig vorkommenden *Leptothrix ochracea*, von Interesse. Dieser Organismus, der wie alle Eisenbakterien befähigt ist, seine Lebensenergie aus anorganischen Stoffen (Eisensalze) zu schöpfen, findet am Seegrund und bis an die obere Grenze des Hypolimnions, wo ihm bei einer geringen Sauerstoffspannung auch Ferroverbindungen zur Oxydation zur Verfügung stehen, die geeignetsten Lebensbedingungen.[63])

II. Die biologischen Verhältnisse

Plankton

Bis jetzt war nur das Zooplankton des Moosseedorfsees eingehender erforscht. So hat STECK (61) das gesamte Zooplankton untersucht. LA ROCHE (30) hat speziell die *Copepoden* dieses Gewässers behandelt, während SCHREYER (57) in seiner Arbeit über die *Rotatorien* der Umgebung von Bern besonders auch dem Jahreszyklus der planktischen *Rotatorien* des Moosseedorfsees seine Aufmerksamkeit schenkte.

Die Vertreter des Phytoplanktons sind dagegen in den oben genannten Arbeiten nur beiläufig erwähnt worden, und über das zeitliche Auftreten der einzelnen Gattungen und Arten ist so gut wie nichts bekannt. Um ein möglichst vollständiges Bild auch über die Zusammensetzung der pflanzlichen Schwebeflora des Moosseedorfsees zu gewinnen, habe ich im Zeitraum von etwas über drei Jahren (März 1938 — Juni 1941) monatlich mindestens einmal Vertikalzüge[64]) ausgeführt. Diese sind in der Seemitte,

[63]) Es ist zwar gelungen, manche Eisenorganismen in Reinkultur ohne nachweisbare Mengen von Eisenverbindungen zur normalen Entwicklung zu bringen, was die Vermutung nahe legt, dass es sich um fakultativ autotrophe Organismen handelt. Dies ändert aber an der Tatsache nichts, dass diese Organismen in der Natur trotzdem eisenhaltige Standorte bevorzugen. Die Verbindung heterotropher Lebensweise gelegentlich mit Anaerobiose wird durch meine Feststellungen im oben Gesagten bestätigt.

[64]) Das von mir verwendete Planktonnetz aus Müllergaze Nr. 25 (6000 Maschenöffnungen pro cm^2) hat bei einem Durchmesser von 15,5 cm eine Oeffnung von 188,7 cm^2 Fläche und filtriert somit aus einer Tiefe von 18 m heraufgezogen eine Wassersäule von rund 340 Liter.