

(Aus der Biologischen Station Lunz a. S.)

Beziehungen zwischen Kieselsäurehaushalt und Diatomeenblüte in der Seebachlacke bei Kienberg-Gaming, N.-Ö.¹

Von

Friederike Wawrik, Scheibbs (N.-Ö.).

Mit 4 Textabbildungen.

(Eingegangen am 28. November 1951.)

Limnologische Beobachtungen an der Seebachlacke in den Jahren 1943/1944 ergaben im Gefolge kräftiger Pegelschwankungen hohe Volksdichten bei *Cyclotella comta* (EHR.) KÜTZ, *Synedra acus* KÜTZ., *Dinobryon divergens* IMHOF, *Dinobryon subalpinum* WAWRIK. Diese Beziehungen sind aus Abb. 1 und 2 ersichtlich. Der niederschlagsarme Sommer 1943 brachte bei stagnierenden Verhältnissen (Grundkote bei 2 m) wohl enorme Wasserblüten von *Chlorella sp.* und *Kirchneriella lunaris* und *obesa*, doch von den Silikatkonsumenten erreichte nur *Cyclotella comta* im Oktober und November eine bescheidene Volksdichte von 2400 bzw. 1500 Zellen/ccm. Das winterliche Hochwasser im Januar 1944 bahnte bei Temperaturen um 5° C im Weiher eine neue Diatomeenentfaltung an. Diese setzte sich bei zunehmender Licht- und Wärmeeinstrahlung und andauernd hohem Wasserstand (Grundkote bei 5 m) kräftig fort. Sie erreichte im August nach erneuter Grundwasserzufuhr bei *Cyclotella comta* metalimnisch eine Volksdichte von 3700 Zellen/ccm, bei *Synedra acus* ohne besondere Stratifikation 800 Zellen/ccm. Im April begann die epilimnische Entfaltung der Chrysomonade *Dinobryon divergens* — 5800 Zellen und 900 Cysten/ccm. Sie wurde im Juli von *Dinobryon subalpinum* mit 2000 Zellen und 300 Cysten/ccm abgelöst, dessen Entwicklung bis in den August hinein andauerte.

Die auffallenden, an die Wassererneuerung gebundenen Gedeih-optima der SiO₂-Zehrer im Sommer 1944 lösten die Frage aus, in welchem Zusammenhang diese mit dem Kieselsäurehaushalt des Weihers stehen.

¹ Herrn Professor Dr. FRANZ RUTTNER zum 70. Geburtstag.

Die Seebachlacke ist der Hauptsache nach ein seichtes Gewässer von Weihertypus (nach FOREL 1903). Sie hat keinen oberirdischen Zu- oder Abfluß und wird ausschließlich vom Grundwasser der Buchberge

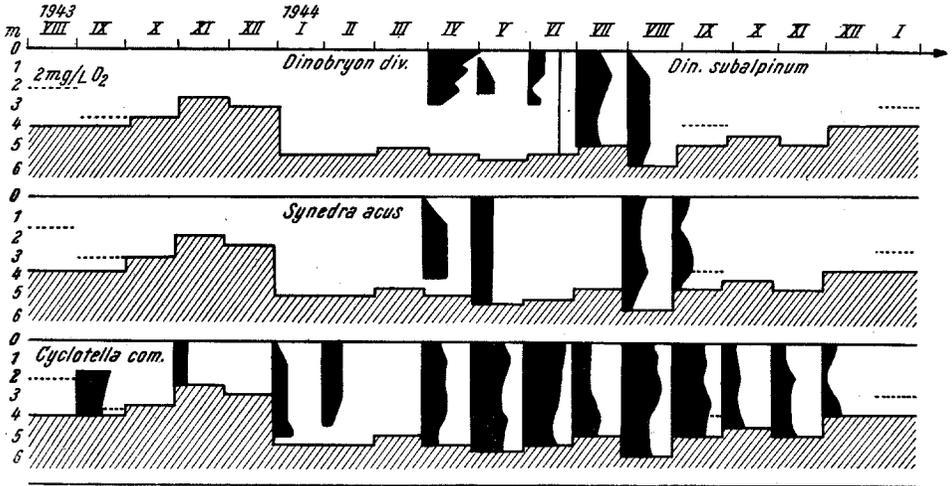


Abb. 1. An der Abszisse wurden die halben dritten Wurzeln als Radien der Kugelkurven aufgetragen, die den Kubikzentimeterzahlen der Plankter entsprechen. An der Ordinate 4 mm = 1 m.

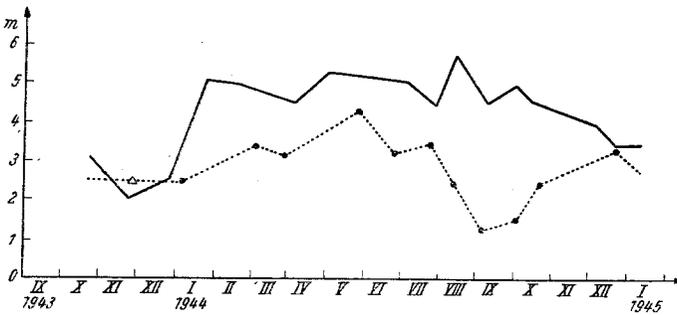


Abb. 2. Im Gefolge des Sommerhochwassers wurde das Produktionsmaximum bei einem Sichttiefenminimum von 1 m im August 1944 erreicht. Pegelstände —, Sichttiefe An der Ordinate 10 mm = 1 m.

gespeist. Bei Mittelwasser ergeben sich folgende morphometrische Werte: Oberfläche 3350 qm, größte Tiefe 5 m, Volumen 6000 m³. Sie liegt in Seehöhe von 360 m in fluvioglaziale Schottermassen und Geschiebelehm gebettet. Ihr SiO₂-Gehalt resultiert aus drei Komponenten:

1. Kieselsäure wird bei Vorhandensein von CO_2 aus ihren stark hydrolysierten Verbindungen (Geschiebelehm) verdrängt und findet sich dann kolloidal oder gelöst als freie Säure im Wasser (RUTTNER 1940).

2. Hüllen der Chryomonadencysten und Schalen abgestorbener Diatomeen werden korrodiert. Die als Gerüstbaustoff gebundene Kieselsäure wird durch biochemische Prozesse freigemacht und in den SiO_2 -Kreislauf zurückgeführt (HUBER-PESTALOZZI 1941).

Diese autochthonen Kieselsäuremengen bleiben sicher hinter dem Bedarf der SiO_2 -Zehrer weit zurück.

3. Nach anhaltenden Niederschlägen erfolgt mit der Grundwasserzufuhr im Weiher eine wesentliche Erhöhung des Kieselsäuregehaltes, die kolorimetrisch nachgewiesen werden konnte.

Für das Studium der Beziehungen zwischen Kieselsäurehaushalt und Diatomeenblüte ist die Seebachlacke besonders geeignet. Bei Untersuchungen des Planktons aus 15 Waldviertler Teichen fand sich nur in einem einzigen Gewässer eine hinlängliche Diatomeenentfaltung (Monoplankton, bestehend aus *Fragilaria* und *Asterionella*). Nach HUBER-PESTALOZZI treten Diatomeenblüten in Kleingewässern verhältnismäßig selten auf. Grund hierfür ist offenbar die Kieselsäurearmut dieser wenig oder nicht durchströmten Biotop. Nach Wassererneuerung, d. h. nach Grundwasserzufuhr, tritt in der Seebachlacke regelmäßig eine kräftige Entfaltung der Diatomeen auf, die mehrere Wochen andauert, weil eine Ausschwemmung des SiO_2 aus dem abflußlosen Weiher unmöglich ist.

Mit mehr als 90% beherrschten im Sommer 1951 Cyclotellen den Aspekt des Planktons überhaupt. *Synedra acus* und *Dinobryon subalpinum* erreichten nur eine geringe Volksdichte, *Dinobryon divergens* fehlte. SiO_2 -Konsumenten waren also vorwiegend *Cyclotella comta*, *C. stelligera*, *C. Meneghiniana*.

Es werden die Arbeitsmethoden, die bei der nachfolgenden limnologischen Studie Anwendung fanden, mitgeteilt: Die Beobachtung des Wasserstandes im Weiher besorgte viermal wöchentlich Frau J. Voglauer, Kienberg, gewissenhaft an einem Lattenpegel. Der Probenentnahme aus verschiedenen Tiefen diente die Meyersche Schöpfflasche. SiO_2 -Messung erfolgte auf kolorimetrischem Weg nach DIENERT-WANDENBULKE (MÜLLER 1933). 25 ccm Proben wurden mit 1 ccm 10% Ammon-Molybdat und 3 Tropfen 50% H_2SO_4 versetzt. Standard: Pikrinsäurelösung, 1 ccm = 0,5 mg/l SiO_2 . Zum Studium der Diatomeenflora wurden α -Bromnaphthalinpräparate angefertigt. Der quantitativen Planktonuntersuchung diente das Kammerzählverfahren nach KOLKWITZ. Es wurden $\frac{1}{2}$ ccm Kammern verwendet. Das Material wurde vor der Zählung mit J-JK fixiert und etwa 30 Minuten sedimentiert. Die Zählung erfolgte über Wasserimmersion Reichert X⁺ auf dem Umkehr-

mikroskop. Zentrifugiertes Frischmaterial wurde fortlaufend studiert. Die Beobachtungen der Regenmeßstelle Kienberg-Gaming stellte die Hydrographische Landesabteilung freundlich zur Verfügung.

Das Studium des SiO_2 -Haushaltes der Seebachlacke und der Diatomeenentwicklung begann am 15. Juli 1951. Seit dem 10. Juni waren nur verhältnismäßig geringe Niederschläge gefallen (insgesamt 83,1 mm), die sich im Pegelstand des Weiher nicht auswirkten. Der Wasserspiegel war im Gegenteil in dieser Zeit um 145 cm (von 600 cm auf 455 cm) gesunken. Es herrschten also ausgesprochen stagnierende Verhältnisse. Wie die nachfolgenden Abb. 3 und 4 zeigen, ergab die SiO_2 -Messung im Epilimnion 0,5 mg/l und über Grund Werte bei 0,6 mg/l. Im Plankton fand sich eine ausklingende Vegetation von *Dinobryon subalpinum* und an Cyclotellen metalimnisch maximal 600 Zellen/cm.

Am 16. und 17. Juli fielen 85,6 mm Regen und bis Ende des Monates weitere 56,8 mm. Mit zweitägigem Verzug, also am 19. Juli, setzte die Grundwasserzufuhr ein und dauerte bis zum 27. Juli an. Der Pegel stieg um 75 cm (auf 530 cm). Die Proben vom 27. Juli zeigten nachfolgenden Zustand: Die Diatomeenentfaltung hatte bereits eingesetzt und während des neuntägigen Pegelanstieges den fünffachen Wert der zuletzt beobachteten Dichte überschritten. Die Zunahme betrug im Durchschnitt 2600 Zellen/cm. Der SiO_2 -Wert zeigte im Epilimnion 2,4 mg/l, im Metalimnion 3,4 mg/l über Grund 4,6 mg/l und hatte durchschnittlich um 2,9 mg/l zugenommen. Im August sank bei anhaltendem Schönwetter der Wasserspiegel langsam ab. Am 19. August war die Kieselsäure epilimnisch bis auf 1,0 mg/l, über Grund bis auf 1,4 mg/l weggezehrt. In denselben Gedeihräumen betrugen die Volksdichten der Cyclotellen 5280, bzw. 10840 Zellen/cm. Der Gipfel der Entwicklungskurve, deren Anstieg bei stetig sinkenden SiO_2 -Werten einen vollen Monat ange dauert hatte, war damit erreicht.

Mitte August, vom 14. bis 18., gab es 82 mm Niederschlag, doch kam davon nur wenig dem Grundwasserstrom zugute, weil die Saugkraft des Bodens sehr groß war. Der Pegelanstieg währte vom 20. bis 25. August und betrug nur 25 cm. Die Proben vom 26. August wiesen weiterhin absinkende SiO_2 -Werte und verminderte Volksdichten der Diatomeen auf. Doch schon fünf Tage später ist ein neues Cyclotellenmaximum erreicht: Im Epilimnion 5760 Zellen/cm, im Metalimnion 9200 Zellen/cm, im Hypolimnion 10600 Zellen/cm. Trotzdem während der Hochproduktion nach Grundwasserzufuhr kein Anstieg der Kieselsäure nachgewiesen werden konnte, erhöhte sich die Volksdichte der Diatomeen noch einmal auffallend. Am 22. September erscheint die Vegetationskraft der Cyclotellen erschöpft; bei minimalen SiO_2 -Werten (durchschnittlich 0,25 mg/l) ein-

deutiges Absinken der Alge über Grund: Epilimnisch 1420, metalimnisch 3200, hypolimnisch 7600 Zellen/ccm! Die Grundkote des Weihers lag Ende September bei 420 cm.

Eine kleine Regenperiode anfangs Oktober (70 mm) verursachte einen Pegelanstieg um 4 cm. Dieser geringfügige Grundwasserzustrom hatte eine Erhöhung des SiO_2 -Wertes um 0,2 mg/l zur Folge. Die Diatomeenflora reagierte sofort mit einer Erhöhung der Volksdichte im Epilimnion auf 6200 Zellen/ccm. Die um den 10. Oktober einsetzende Vollzirkulation löschte jede Stratifikation aus.

In der Umgebung der Seebachlacke befinden sich einige, etwa 30 m höher als der Weiher liegende Hausbrunnen, die ebenfalls vom

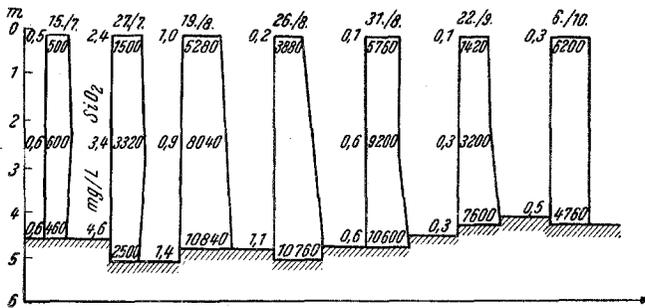


Abb. 3. Wasserstand (an der Ordinate 1 cm = 1 m), Silikatwerte und Diatomeenentfaltung (an der Abszisse die halben dritten Wurzeln als Radien der Kugelkurven, die den Kubikzentimeterzahlen der Cyclotellen entsprechen).

Grundwasser gespeist werden. Wasserproben aus den Hausbrunnen Voglauer, Spindelberger und Hofer enthielten am 5. Oktober 1951 je 2,0 mg/l SiO_2 . Dieselben Werte ergab eine Messung am 9. November 1951.

Veränderungen, die das Grundwasser auf dem noch etwa 300 m weiten Weg bis zur Seebachlacke erfährt, lassen sich kaum erfassen. Es ist auch durchaus möglich, daß noch andere als jene Grundwasserströme, welche die Hausbrunnen speisen, zum Weiher stoßen.

Grundwasserströme vom Buchberg entwässern nach E. PARLOW (Die Kalkalpen- und Flyschgrenze zwischen Hainfeld und Gresten V. Dissertationsarbeit Univ. Wien, 1950) die 300 bis 400 m mächtige Frankenfelderdecke. Sie wird hauptsächlich von dolomithaltigem Kalkgestein gebildet, das seine Entstehung blühendem Riffleben im seichten Triasmeer verdankt. Den Grundwasserhorizont bildet die darunterliegende Grestener Decke, die sich hier durch geringen Kalkgehalt auszeichnet und vorwiegend aus Mergel, Kieselton und Seichtwasserkreiden mit Tonzwischenlagen aufgebaut ist.

Die Alkalinität¹ der Hausbrunnen liegt zwischen 4,1 und 5 cem. Das Säurebindungsvermögen des Weiher zeigt, durch biogene Vorgänge bedingt, von der Oberfläche (SBV 3,34) nach dem Grund (SBV 4,98) hin ansteigende Werte. Die mittlere Alkalinität, errechnet aus den Schichtprismatoiden mit Hilfe der hypsographischen Kurve, beträgt 3,73 cem, also 10,4 Deutsche Härtegrade (D. H.).

Ehe wir zur Deutung des Kieselsäurehaushaltes in der Seebachlacke übergehen, seien vergleichsweise Ergebnisse von SiO_2 -Messungen an einigen Gewässertypen vermerkt.

In tropischen Seen auf Bali, Sumatra und Java fand RUTTNER 1931 SiO_2 -Werte bis zu 97 mg/l und Schichtungsdifferenzen bis zu 26 mg/l. Diese auffallend hohen Kieselsäurewerte erklären sich aus dem hohen SiO_2 -Gehalt des vulkanischen Gesteins, das die Seewanne baut und von den Zuflüssen der Seen durchströmt und ausgelaugt wird. Die SiO_2 -Stratifikation ist rein biogen, durch Diatomeenvegetation bedingt, die SiO_2 im Epilimnion wegzehrt und die Schichten über Grund anreichert.

In japanischen Vulkangebieten fand JOSHIMURA (1930) in temperierten Seen ebenfalls sehr hohe SiO_2 -Werte mit Stratifikationsunterschieden zwischen 3,0 und 57,5 mg/l.

BRÖNSTED und WESENBERG-LUND (1912) beobachteten in dänischen Seen Kieselsäurewerte um 30 mg/l. Besonders die „Heideseen“ zeichneten sich durch hohen SiO_2 -Gehalt aus. Sie liegen in Sande gebettet, die „für die Auslaugung der Kieselsäure weitgehend aufgeschlossen sein dürften“.

Die in den Ostalpenseen von RUTTNER (1937) beobachteten SiO_2 -Werte liegen um 3 bis 4 mg/l. Besonders hohe Werte zeigten der Krotensee (28 mg/l) und der Erlafsee (11 mg/l) über Grund. Die Schichtung war überall biogen bedingt und besonders im Herbst gut ausgeprägt.

An den Kärntner Seen studierte FINDENEGG (1935) den SiO_2 -Haushalt. Er bezeichnet ihn als „ziemlich unübersichtlich“. Ihm „scheint nicht nur der petrographische Charakter des Einzugsgebietes“ maßgeblich zu sein, sondern auch die jahreszeitliche Wasserführung der Zuflüsse. Diese Beobachtung stimmt durchaus mit jener überein, die ich in den Monaten August bis November, wie Abb. 4 zeigt, an der Erlaf, die nahe der Seebachlacke nordwärts strömt, durchgeführt habe. Die vier ersten SiO_2 -Messungen charakterisieren eine Mittel- bis Niederwasserperiode (Pegelstände zwischen 88 und 42 cm); es ergaben sich von 2,6 nach 1,5 mg/l fallende Kieselsäurewerte. Anfangs November trat im Gebirge Schneefall ein (70 cm). Der Erlaf wurden aus ihrem Einzugsgebiet (Nördl. Kalkalpen) reichliche Schmelzwassermengen zugeführt.

¹ Unter Alkalinität oder Säurebindungsvermögen (SBV) versteht man den Gehalt des Wassers an Karbonaten, welcher durch Titrieren von 100 cem mit $\frac{1}{10}$ n Salzsäure gegen Methylorange als Indikator gefunden wird.

Diese verursachten — trotz Pegelanstieg — ein weiteres Absinken der Kieselsäure auf 0,9 mg/l.

WEIMANN (1932) beobachtete in teichartigen, durchströmten Kleingewässern des Bonner Botanischen Gartens u. a. auch Kieselsäureschichtung. Er fand eine jahreszeitlich bedingte Stratifikation: vom Herbst in den Winter hinein bis auf 16 mg/l ansteigende SiO_2 -Werte. Nach Eisbruch verursachte eine ungeheuerliche *Stephanodiscus*-Produktion (250000 Zellen/cem) das Absinken der Kieselsäure (im April) auf 3 mg/l.

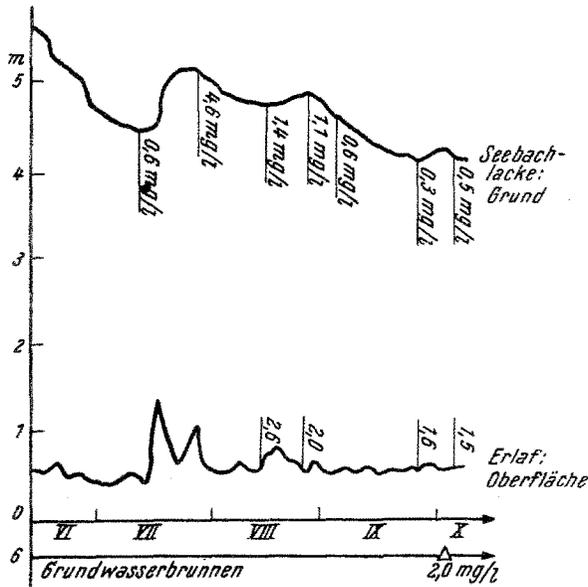


Abb. 4. Übersicht der Ergebnisse der Silikatmessungen über Grund der Seebachlacke, an der Erlafoberfläche, in den Grundwasserbrunnen.

In Altwässern (Karpfen- und Eppelwasser) die ausschließlich vom Grundwasserstrom der Donau gespeist werden, fand GROHS (1943) ähnliche Abhängigkeiten des Nährstoffhaushaltes und der Planktonproduktion, wie dies in der Seebachlacke beobachtet werden konnte. Vergleicht man Abb. 4, Pegelstände des Altwassers, und Abb. 10, Kugelkurven der Diatomeenvegetation im Karpfenwasser, bei GROHS, so scheinen durchaus parallele Ergebnisse zu den Beobachtungen in der Seebachlacke auf: Besonders im Jahre 1937 folgt jedem Pegelanstieg ein Diatomeenmaximum. Leider findet sich bei GROHS keine Kieselsäuremessung. Der Autor weist aber darauf hin, daß in den Sommermonaten Nährstoffänderungen nach Grundwasserzufuhr nicht immer nachgewiesen werden können, weil der Konsum sehr groß ist. Tatsäch-

lich scheint in der Messung vom 31. August in der Seebachlacke nach einem Pegelanstieg um 25 cm eine geringe Abnahme der SiO_2 , aber eine Zunahme der Volksdichte der Cyclotellen um 2000 Zellen/ccm auf! Es ist klar, daß eine hinreichende SiO_2 -Zufuhr diese Entfaltung verursacht haben muß, obschon sie in der Messung nicht nachgewiesen werden konnte. Hingegen zeigt die Oktoberbeobachtung nach einem Pegelanstieg um nur 4 cm, neben einem steilen Anstieg der Diatomeen auch einen um 0,2 mg/l erhöhten Kieselsäurewert.

In durchströmten Seen und Kleingewässern beobachtete man bisher ausschließlich jahreszeitlich und biogen bedingte Kieselsäurestratifikation. Demgegenüber bildet sich in vom Grundwasser gespeisten Biotopen während der Wassererneuerung eine ausgesprochen physikalische Schichtung aus. In der Seebachlacke stimmen die Temperaturen der nahen Grundwasserbrunnen (im Sommer bei 13° C) gut mit jenen des Tiefenwassers im Weiher überein. Die abkühlende Wirkung des Grundwassers wurde bei mittlerem Pegelstand bis in die 2-m-Schicht nachgewiesen. Das Grundwasser kommt vom Buchberg, dringt vom Nordhang her in das Weiherbecken und schichtet sich zufolge seiner größeren Dichte über Grund ein, während die warmen und spezifisch leichteren Wasserschichten auf den kühleren schwimmen. Mit dieser Stratifikation stimmt naturgemäß auch die Nährstoffschichtung überein. Erst nach Einsetzen der Planktonentfaltung geht die physikalische in eine biogene Stratifikation über. Daß dies während der Hochproduktion sehr rasch sein kann, wurde in den Proben vom 22. und 31. August beobachtet. Mit dem Grundwasserstrom wird dem Weiher mutmaßlich auch Nitrat und Phosphat zugeführt. Messungen aus den Jahren 1943/44 zeigten jedoch nur nach der Schneeschmelze eine Phosphatdüngung des Weihers von den Hängen her. Nach der Frühlingsvollzirkulation wiesen die Schichten 3 bis 4 γ /l Phosphat auf; in den Monaten Juli bis Dezember wurde jedoch trotz kräftiger Grundwasserzufuhr die 2- γ /l-Grenze nicht überschritten. Ähnlich verhielt es sich mit dem Nitrat. Offenbar setzt schon während der Zufuhr der Verbrauch dieser wichtigen Nährstoffe dermaßen ein, daß eine Zunahme während der Hochproduktion nur selten nachgewiesen werden kann.

Mit Hilfe der hypsographischen Kurve (GÖRZINGER 1911/12) wurden die Isobathenflächen der Seebachlacke und die Schichtprismatoide von Meter zu Meter berechnet. Für den 27. Juli 1951 ergab sich bei einem Pegelstand von 530 cm ein Wasservolumen von 7000 m³. Der Kieselsäuregehalt betrug 18,7 kg. Nach Erreichung des Volksdichtemaximums der Cyclotellen am 19. August waren davon 13,0 kg SiO_2 weggezehrt. Es bleibt dabei unberücksichtigt, welche Mengen autochthoner Kieselsäure im gleichen Zeitraum in den Kreislauf des Nährstoffhaushaltes der Seebachlacke zurückgeführt wurden.

Zusammenfassung.

1. Es wurde beobachtet, daß in der Seebachlacke, einem zu- und abflußlosen Grundwasserweiher bei Kienberg-Gaming, N.-Ö., mit jedem Pegelanstieg Kieselsäurezufuhr durch das Grundwasser erfolgt, und die Entwicklung eines Diatomeenmaximums bedingt.

2. Während und knapp nach der Wassererneuerung herrscht im Weiher eine physikalische Schichtung der Kieselsäure, die erst mit zunehmender Diatomeenentwicklung in eine biogene übergeht.

3. Dieser Übergang kann zur Zeit der Hochproduktion so rasch erfolgen, daß eine Kieselsäurezufuhr metrisch überhaupt nicht nachgewiesen werden kann, weil der Verbrauch dieses wichtigen Gerüstbaustoffes zu rasch vor sich geht.

Literaturverzeichnis.

- BRÖNSTED, J. N. und C. WESENBERG-LUND: Chemisch-physikalische Untersuchungen der dänischen Gewässer. *Int. Rev. d. ges. Hydrobiologie u. Hydrographie* 4 (1912).
- FINDENEGG, I.: Limnologische Untersuchungen im Kärntner Seengebiet. *Int. Rev. d. ges. Hydrobiologie u. Hydrographie* 32, H. 6 (1935).
- FOREL, F. A.: Handbuch der Seenkunde. Stuttgart: Engelhofer, 1903.
- GÖTZINGER, G.: Geomorphologie der Lunzer Seen. *Hydrographisches Suppl. der Int. Rev. d. ges. Hydrobiologie u. Hydrographie* 1911/12.
- GROHS, H.: Limnologische Untersuchungen zweier Donaualtwässer bei Wien. *Arch. f. Hydrobiologie* 39 (1943).
- HUBER-PESTALOZZI, P.: Das Phytoplankton des Süßwassers 16, II. Teil, 2. Hälfte. Stuttgart: E. Schweizerbart, 1941.
- YOSHIMURA, CH.: Seasonal variation of silica in Takasuka-Numa, Saitama. *Japan Journ. of Geol. a. Geography* 7 (1930).
- MÜLLER, H.: Limnologische Feldmethoden. *Int. Rev. d. ges. Hydrobiologie u. Hydrographie* 28 (1933).
- RUTTNER, F.: Hydrographische und hydrochemische Beobachtungen auf Java, Sumatra und Bali. *Arch. f. Hydrobiologie, Suppl.* 8 (1931).
- Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen. *Arch. f. Hydrobiologie* 32 (1937).
- Grundriß der Limnologie. Berlin: W. de Gruyter & Co., 1940.
- WEIMANN, R.: Über Planktonperiodizität, deren Beziehung zum Nitrat-, Kieselsäure- und Phosphatgehalt des Wassers. *Verhandl. Int. Vereinigung f. theor. u. angewandte Limnologie* 6 (1932).