

Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee

Von der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
IN ZÜRICH
zur Erlangung der Würde eines Doktors der
Naturwissenschaften
genehmigte
Promotionsarbeit

vorgelegt von
Rudolf Keller
Dipl. sc. nat.
von **Hornussen** (Kt. Aargau)

Referent: **Herr Prof. Dr. W. von Gonzenbach**
Korreferent: **Herr Prof. Dr. O. Jaag**

9. Zusammenfassung

1. Die Thermik im offenen See

- a) Alle sechs Seezeiten sind im Untersuchungsjahr ausgebildet worden.
- b) Im Verlaufe der Sommerstagnation wird der See in Epilimnion, Metalimnion und Hypolimnion scharf gegliedert.
- c) Die 15-m-Tiefe ist mit nur $3,5^{\circ}\text{C}$ jährlicher Schwankung als Kaltwasserzone ausgeprägt.
- d) Die Temperatur der 10-m-Tiefe schwankt innerhalb weniger Stunden zwischen $0,2$ bis 1°C .

2. Die Sauerstoffverhältnisse

- a) Der Sauerstoffausgleich während der Herbstvollzirkulation geht *nicht* konform mit dem Temperatenausgleich.
- b) Die Herbstvollzirkulation bringt Sauerstoff bis maximal 25 m Tiefe, während die Frühlingsvollzirkulation den Sauerstoff bis in die Tiefe von 30 m befördert.
- c) Die Sauerstoffwerte im Jahresverlauf in den verschiedenen Tiefen des Hypolimnions an den drei Probenahmestellen sind konform, d. h. der Sauerstoffgehalt wird nicht direkt durch die Bodenkonfiguration des Seebeckens beeinflusst. Die 30-m-Tiefe hat, obwohl sie in ganz verschieden großer Entfernung vom Schlamm verläuft (2 bis 15 m), an allen drei Probenahmestellen ähnlichen Kurvenverlauf.
- d) Am Ende der Sommerstagnation finden wir im Metalimnion ganz extreme Sauerstoffwerte. In einer 2,5 m tiefen Wasserschicht sind der Maximalwert von 270 % und der Minimalwert von 10 % der theoretischen Sättigung nebeneinander gemessen worden.
- e) Am Ende der Sommerstagnation ist praktisch der gesamte Sauerstoff unterhalb der Sprungschicht (10 m) verbraucht.
- f) Der Thienemann'sche Quotient $\text{O}_2 \text{ H/E}$ ist für das Ende der Sommerstagnation 1942 mit 0,075 errechnet. Er deutet auf sehr weitgehende Eutrophierung des Hallwilersees hin.

3. Der Kohlensäuregehalt und die Karbonathärte

- a) Wir können speziell während der Sommerstagnation drei charakteristische Tiefenzonen unterscheiden:
1. Tiefen 1—10 m CO₂-Abnahme bis 0.
 2. „ 15—25 m CO₂-Zunahme bis 100 % der Zugehörigkeit in 15 m sogar Maximum von 280 % Zugehörigkeit.
 3. „ 25—45 m CO₂-Abnahme von hohen Werten der theoretischen Zugehörigkeit (150 bis 300 %) auf 100 % der Zugehörigkeit.
- b) In der Tiefe 15 m finden wir am Ende der Sommerstagnation einen maximalen Wert von 280 % der Zugehörigkeit, und gleichzeitig werden in dieser Tiefe minimale Sauerstoffwerte beobachtet.
- c) Die starke Kohlensäureabnahme im unteren Hypolimnion während der Sommerstagnation ist unseres Erachtens durch das Wiederlösen von bereits ausgefällter Seekreide während des Absinkens vom Epilimnion und Metalimnion zu erklären.
- d) Die biogene Entkalkung hat im Epilimnion Härteschwankungen von 40 % zur Folge. Die Abnahme der Härte ist nicht sprunghaft, sondern erfolgt langsam im Verlaufe der Sommerstagnation.

4. Methoden zur Bestimmung der Kohlensäureaggressivität

- a) Die Bestimmung der Aggressivität nach der Methode von R. Strohecker beruht auf der pH-Berechnung aus der gebundenen Kohlensäure und der pH-Messung in dem zu untersuchenden Wasser.
- b) Die Einflüsse von Fremdionen werden von Strohecker als gering bezeichnet; er schlägt aber vor, die Berechnungen mit Heyer-Versuchen zu kontrollieren.
- c) Die Methode verlangt pH-Bestimmungen, die auf 0,1 genau sind, was experimentell oft schwer zu erreichen ist.

5. Kombinierte Messung während 24 Stunden

- a) Wir stellen ein Metalimnion fest, das vertikale Schwingungen ausführt, möglicherweise verursacht durch turbulente Strömungen, die die stabile Schichtung stören.
- b) Die Grenze zwischen Meta- und Hypolimnion liegt in 10 m Tiefe. Infolge der erwähnten eigenartigen Schwingungen fällt diese Tiefe bald in die trophogene, bald in die tropholytische Zone. Hand in Hand mit den Temperaturschwankungen in dieser Tiefe wechselt auch die theoretische Sauerstoffsättigung.
- c) Die Planktonmessungen zeigen, daß das durchschnittliche Individuenmaximum im Metalimnion liegt.

Im Epilimnion werden mehr oder weniger ausgeglichene Mengen beobachtet. Die Planktonzahlen im oberen Hypolimnion treten gegenüber denjenigen im Metalimnion stark zurück.

6. Strömungsmessungen

- a) Der Hallwilersee ist allen Winden vollständig ausgesetzt.
- b) Bei konstanter Windrichtung bewegt sich die ganze oberflächliche Wassermasse (0 bis 10 m) in derselben Richtung. Der Strömungsausgleich erfolgt in der Tiefe.
- c) Auf der Birrwiler Seeseite ist festgestellt worden, daß sich die Wassermasse von 0 bis 30 m, mit abnehmender Geschwindigkeit nach der Tiefe, in derselben Richtung bewegt.
- d) Zu einem späteren Zeitpunkt wird konstatiert, daß in der Tiefe 15 m die Strömungsrichtung um 180° ändert und noch in 20 m eine Stundengeschwindigkeit von 30 m gemessen werden kann, während an der Oberfläche die Stundengeschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung 80 m beträgt.
- e) An der Oberfläche werden maximale Stundengeschwindigkeiten von 220 m und in der Tiefe 30 m noch solche von 30 m gemessen.

7. Der Chemismus des Sees

- a) Da keine umfassenden quantitativen Planktonmessungen durchgeführt wurden und weil die wenigen Analysen keine vollständige Charakterisierung erlauben, können die Befunde nur generell beurteilt werden.
- b) Wir haben im Hallwilersee keinen Minimumstoff im Sinne Liebigs gefunden. Die Nitratwerte sind in ihrer biologischen Bedeutung für den Hallwilersee nicht eindeutig, sodaß diese Frage noch offen bleiben muß.
- c) Das Phosphat erscheint im Hallwilersee als Eutrophierungsfaktor und ist deutlich geschichtet.
- d) Die Kieselsäure ist deutlich geschichtet, was beim Diatomeenreichtum des Sees zu erwarten war.
- e) Ammoniak und Schwefelwasserstoff treten im unteren Hypolimnion mit Werten von 0 bis 3,2 mg/l auf. Während Ammoniak am Ende der Sommerstagnation im ganzen Profil festgestellt wird, erscheint Schwefelwasserstoff nur bis zur Tiefe von 30 m.
- f) Die Werte der Oxydierbarkeit sind am Ende der Sommerstagnation zirka 25 % höher als 1919.

8. Schlammuntersuchungen

- a) Der Trockenrückstand besteht zu 70 % aus Kalzium- und Magnesiumkarbonat.
- b) Der negative Verlauf der Prüfung auf Gasungsfähigkeit läßt auf geringe Mengen organischer Substanz schließen und wurde durch die geringe Sauerstoffaufnahme und den kleinen Nitro-Effekt bestätigt.
- c) Der Gehalt des Schlammes an reduzierenden anorganischen Verbindungen, wie Sulfide, ist nicht außerordentlich. Die Sauerstoffaufnahme zeigte Werte, wie sie zur Oxydation der Sulfide (als H_2S) nötig waren.
- d) Den erwähnten Eigenschaften nach zu schließen, ist der Hallwilerseeschlamm eher als Schlick, denn als Halbfaulschlamm zu taxieren.