

| | | | |
|--------------|--------------------|------------|-----------------|
| Carinthia II | 182./102. Jahrgang | S. 739–751 | Klagenfurt 1992 |
|--------------|--------------------|------------|-----------------|

Eine einmalige Volldurchmischung eines meromiktischen Sees, des Weißensees in Kärnten*

Von Hans SAMPL, Gerhild DEISINGER und Josef GRUBER

(Mit 11 Abbildungen)

Abstract: Lake Weißensee (930 m altitude, area 6,5 km², max. depth 99 m) was an example for a typical meromictic lake. Heavy rainfalls during Sept. 1983 lead to spates with a large amount of mineralic particles. The mineral frieght was the reason of a single holomictic turnover during winter 1983/84 and springtime 1984.

EINLEITUNG

Der Weißensee (930 m Seehöhe, 6,5 km² Fläche, 99 m max. Tiefe) galt seit den ersten Untersuchungen von FINDENEGG, dem bekannten Kärntner Seeforscher, als typischer meromiktischer See.

Bereits im Jahre 1932 hat FINDENEGG, in der Zeitschrift „Carinthia II, Mitteilungen des Vereines Naturkundliches Landesmuseum für Kärnten“, berichtet, „daß die Mehrzahl der Kärntner Seen vom Normaltypus des alpinen Sees mehr oder weniger abweicht, einige von ihnen aber so eigenartige physikalisch-chemische Verhältnisse aufweisen, daß wir sie als Vertreter eines neuen Seentypus auffassen müssen, der bisher in anderen Gebieten noch nicht beschrieben worden ist . . . Der typische Alpensee ist arm an Pflanzennährstoffen (oligotroph), er enthält daher im freien Wasser wenig schwebende Organismen (Plankton); die Durchsichtigkeit des Wassers oder die Sichttiefe ist daher groß, während die Farbe des Wassers (gegen eine ins Wasser gesenkte weiße Scheibe betrachtet) bläulich oder doch blaugrün erscheint, da die spärlich vorhandenen

* Frau Univ.-Prof. Dr. Agnes RUTTNER-KOLISKO aus Anlaß des 80. Geburtstages gewidmet.

Plankter die blaue Eigenfarbe dickerer Wasserschichten nicht wesentlich abzuändern vermögen. Es häufen sich daher auch niemals größere Mengen abgestorbener Organismen am Seegrund an, so daß Fäulnisprozesse sich in der Tiefe nur wenig bemerkbar machen und das Wasser daher auch hier sauerstoffreich bleibt. Dieser rein oligotrophe Seetypus hat in Kärnten, wenn man von den eigentlichen Gebirgsseen absieht, die hier nicht behandelt werden sollen, nicht einen richtigen Vertreter . . . Wie wir oben sahen, bietet der Wörther See bei oberflächlicher Betrachtung ein oligotrophes Bild. Im Plankton freilich machen sich stark eutrophe Züge bemerkbar. Die chemische Untersuchung des Sees zeigt nun überraschenderweise strengste Eutrophie. Von 40 m abwärts bedeckt schwefelwasserstoffhaltiger Faulschlamm den Boden, von 50 m abwärts sinkt auch im freien Wasser der Sauerstoffgehalt auf ein Minimum. Die sonderbare Tatsache, daß ein See in seinen oberen Schichten annähernd oligotroph, in den tieferen aber streng eutroph sein kann, findet, wie ich im Winter 1930/31 erstmalig festgestellt habe, seine Erklärung darin, daß bei derartigen Seen die vollständige Durchmischung des Seewassers zur Zeit der Seetemperaturgleiche ausbleibt, mithin weder eine sogenannte Herbst- noch eine Frühjahr-Vollzirkulation stattfindet. Die zu diesen Zeitpunkten eintretende Umschichtung der Wassermassen, welche frischen Sauerstoff in die tieferen Schichten bringt, macht beim Wörther See vielmehr in einer Tiefe von 40 bis 50 m halt und läßt das tiefere Hypolimnion unberührt. Ich habe diese Seeform, welche keineswegs ein Übergang vom oligotrophen zum eutrophen See, sondern eine ganz eigenartige Kombination dieser beiden Typen ist, nach seinem wesentlichen Merkmal, dem strenge Eutrophie vortäuschenden Sauerstoffschwund in der Tiefe, dem pseudo-eutrophen Seetypus genannt . . .

Während aber im eutrophen See jährlich zweimal durch die Vollzirkulation frischer Sauerstoff bis zur Sättigung dem Tiefenwasser zugeführt wird, bleibt er da im pseudo-eutrophen See dauernd im Minimum, wenn man von einem ziemlich geringfügigen Anstieg im Frühjahr absieht, welcher durch eine an der Durchmischungsgrenze liegende instabile Wasserschicht, die um diese Zeit in die Tiefe sinkt, bewirkt wird. Die Ursachen der mangelnden Durchmischung im pseudo-eutrophen See muß man offenbar in der windgeschützten Lage, z. T. aber auch in der kleinen Oberfläche, bei verhältnismäßig großem Seevolumen, suchen, da dem Wind dadurch die nötige Angriffsfläche fehlt. Die Bedeutung des Ausbleibens der Vollzirkulation in biologischer Hinsicht ist außerordentlich groß. Während in anderen tiefen Alpengseen, die nicht diesem Typus angehören, noch in den größten Tiefen ein verhältnismäßig reiches Leben herrscht, insbesondere im Bodenschlamm noch genügend Tierleben, um eine Futterquelle für Tiefencoregonen zu bilden, sind die Tiefen des pseudo-eutrophen Sees fast unbelebt.“ (FINDENEKG, 1932.)

Soviel zum allgemeinen und zur Erstbeschreibung der Meromixis durch FINDENEKG im Jahre 1932. In der gleichen Publikation schildert FINDENEKG die Verhältnisse des Weißensees: „Gleich dem Wörther See gehört er dem pseudo-eutrophen Seetyp an, wie aus der Sauerstoffkurve hervorgeht. Die Zirkulation scheint noch weniger tief zu greifen als beim Wörther See und dürfte die 40-m-Linie kaum erreichen. Es bleibt also hier an den tieferen Stellen eine Wassersäule von fast 60 m Höhe dauernd in Ruhe, was das fast vollständige Fehlen von Sauerstoff von 60 m abwärts hinreichend erklärt. Damit stimmt überein, daß der Planktongehalt des Sees ziemlich gering ist, wenigstens im offenen See.“

FINDENEKG hat erst in späteren Publikationen für den Begriff pseudo-eutroph den heute verwendeten Begriff meromiktisch vorgeschlagen. „Es ließen sich dabei unschwer zwei Typen unterscheiden: Seen mit und ohne Vollumschichtung. Für erstere wurde der Terminus holomiktischer, für letztere meromiktischer Typus vorgeschlagen. Bei meromiktischen Seen verbleiben die tiefen Schichten also dauernd in Stagnation. Diese werden als das Monimolimnion des Sees bezeichnet.“ (FINDENEKG, 1937.)

FINDENEKG hat in den Jahren ab 1930 das Phänomen der Meromixis ausführlich studiert und dabei eine Vielzahl von Tiefenprofilen auch am Weißensee, vor allem zu den charakteristischen Zeiten der Zirkulationsphasen, durchgeführt. Schätzungsweise hat FINDENEKG in den vier Jahrzehnten seiner Untersuchungen am Weißensee über 200 Tiefenprofile gemessen. Bei allen konnte am Weißensee ein streng meromiktisches Verhalten erkannt werden (FINDENEKG, 1934 a, b, 1935, 1936).

EINE EINMALIGE VOLLDURCHMISCHUNG IM WEISSENSEE UND DEREN AUSWIRKUNGEN

Es erscheint berichtenswert, daß im Zuge einer genauen Studie des Weißensees in den Jahren von 1982 bis 1986 zum ersten und bisher letzten Mal eine Volldurchmischung des Weißensees beobachtet wurde. Dieser See war stets ein musterhaftes Beispiel für einen meromiktischen See mit sehr stabilen Schichtungsverhältnissen (SAMPL et al. 1982, SAMPL et al 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, Kärntner Institut für Seenforschung 1984).

FINDENEKG hat bei der Beurteilung, ob ein See dem meromiktischen Typ angehört, die Sauerstoffschichtung als Kriterium herangezogen. Die Grenze zwischen dem zirkulierenden und stagnierenden Wasserkörper lag in den Jahren vor 1979 je nach Tiefe der jährlichen Zirkulationsvorgänge zwischen 50 und 60 m. FINDENEKG fand die Grenzschichte in den Jahren zwischen 1930 und 1940 bei etwa 40 m. Dieser Unterschied er-

klärt sich sicherlich aus den unterschiedlichen Wetterbedingungen zu jeweiligen Zeiten, weil durch stärkere Windeinwirkung die Zirkulation tieferliegende Teile erfasst. Bis 1983 war der Weißensee unterhalb dieser Tiefenstufe nahezu oder gänzlich sauerstofffrei (Abb. 1), die Ammoniumgehalte lagen zwischen 200 und 400 µg/l. Die Konzentrationen an Gesamtphosphor wiesen einen ca. fünffachen Wert gegenüber dem durchmischten Bereich auf.

Während bis zum Jahre 1983 der Gesamtphosphorinhalt des Monimolimnions, also des Wasserkörpers unterhalb von 50 m, etwa 600 bis 700 kg betrug, ist er im Jahre 1984 auf etwa 250 kg abgesunken (Abb. 2). Ein ähnliches Verhalten läßt sich auch bei Ammonium erkennen, wo die Konzentration von 1983 von etwa 180 µg/l auf unter 20 µg/l 1984 in der 50-m-Tiefenschicht abgenommen hat (Abb. 3).

Am deutlichsten läßt sich dieses geänderte Schichtungsbild an den Sauerstoffverhältnissen erkennen. Wie bereits seit den dreißiger Jahren bekannt, ist der Wasserkörper unterhalb von 50 m nahezu oder zur Gänze O₂-frei. Am Ende des Jahres 1983 ist es offensichtlich zu einer Umwälzung des Wasserkörpers gekommen, wodurch im Frühjahr 1984 bis zum Grund Sauerstoff vorhanden war (Abb. 4, 5). Das Hinabtransportieren

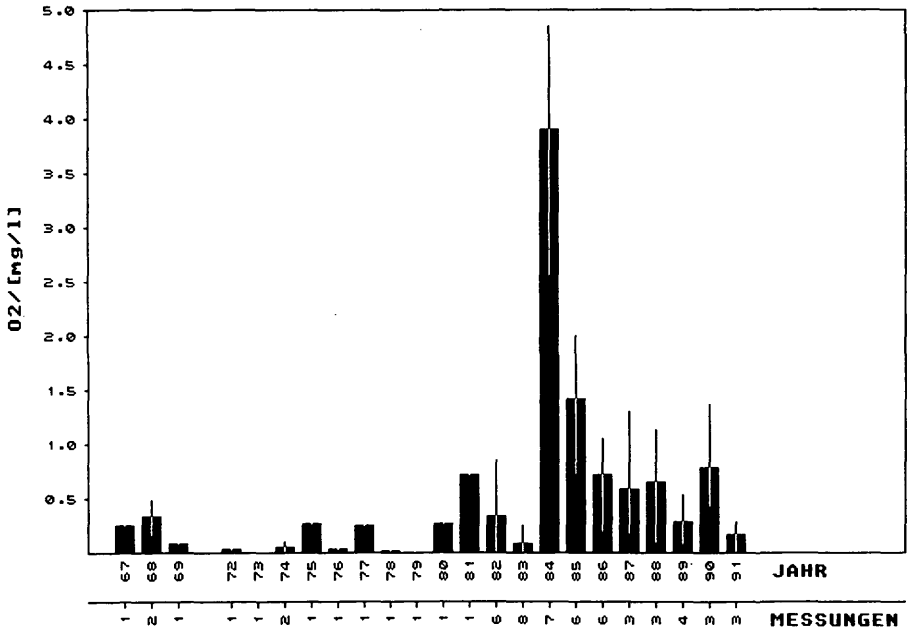


Abb. 1: Sauerstoffkonzentration (mg/l), Mittelwert im Wasserkörper von 50 bis 95 m

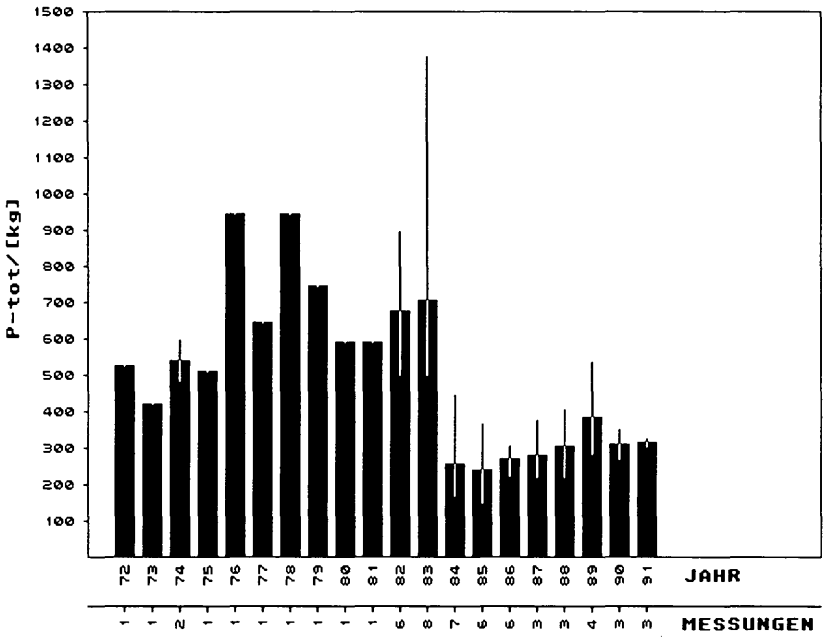


Abb. 2: Inhalt an Gesamtphosphor (kg) im Wasserkörper von 50 bis 95 m

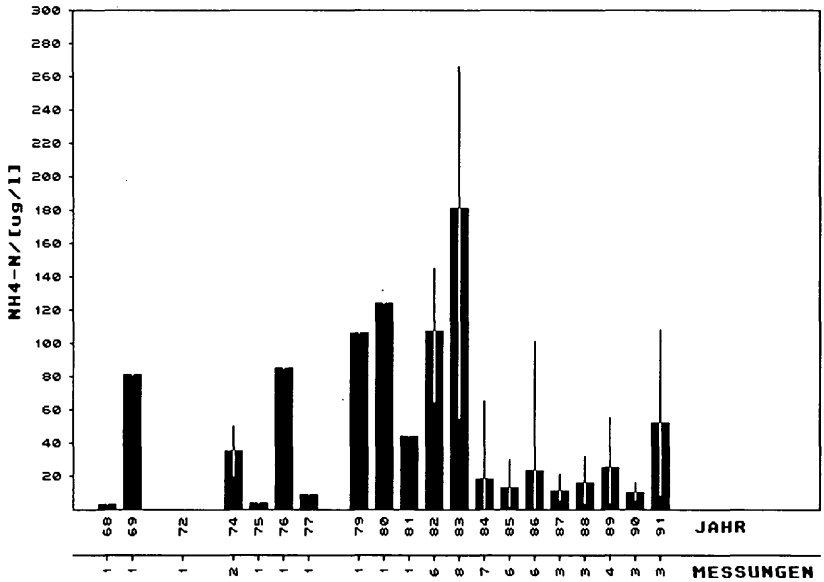


Abb. 3: Ammonium-Konzentration (µg/l), Jahresmittel in der 50-m-Tiefenschicht

von Sauerstoff bis in größte Tiefen hat zu Fällungsprozessen geführt, wodurch der Phosphor ausgefällt und im Sediment festgelegt wurde. Es ist zu keinem Anstieg im Epilimnion gekommen, was man annehmen hätte können, wenn höherkonzentriertes Wasser in den Oberflächenbereich gemischt wird (Abb. 6).

DEUTUNGSVERSUCHE

Wie kann man nun eine derartige Volldurchmischungsperiode eines sich sonst immer streng meromiktisch verhaltenden Sees erklären? Naheliegender wäre, daß extreme Windverhältnisse im Spätherbst 1983 oder zur Frühjahrszirkulation 1984 stattgefunden haben. Dies konnte jedoch nicht festgestellt werden. Es muß vielmehr angenommen werden, daß durch starke Niederschläge im September 1983 große Mengen an kühlen Oberflächenwässern den ersten Schritt für eine Vollzirkulation eingeleitet haben. An der Regenmeßstation Neusach wurden nämlich 350 mm bei einem Starkregeneignis verzeichnet.

Dieses schwallartig zuströmende, reichlich mit Mineralpartikeln angereicherte Oberflächenwasser, das von den erosionsanfälligen Steilhängen

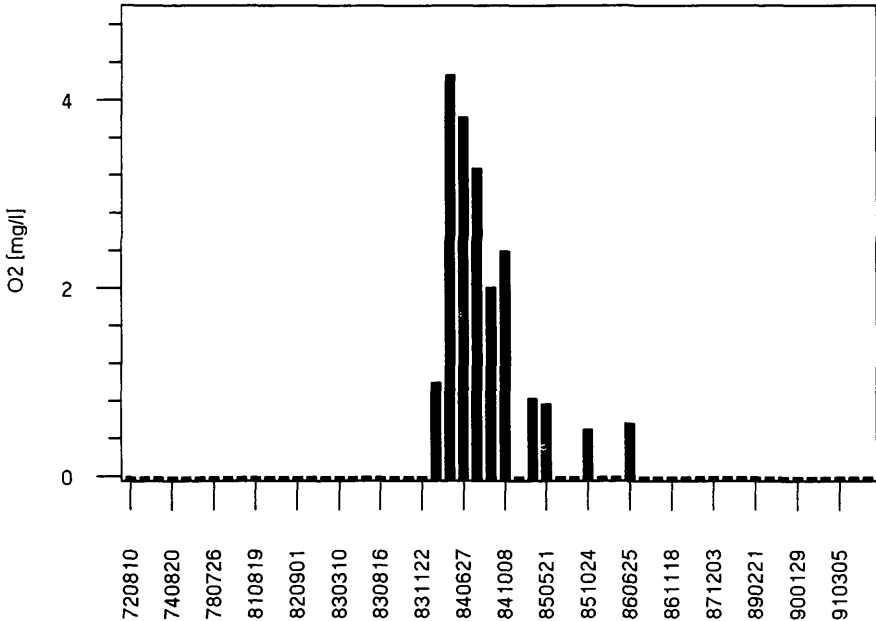


Abb. 4: Sauerstoffkonzentration (mg/l) in 90 m Tiefe im Zeitraum von 1972 bis 1991

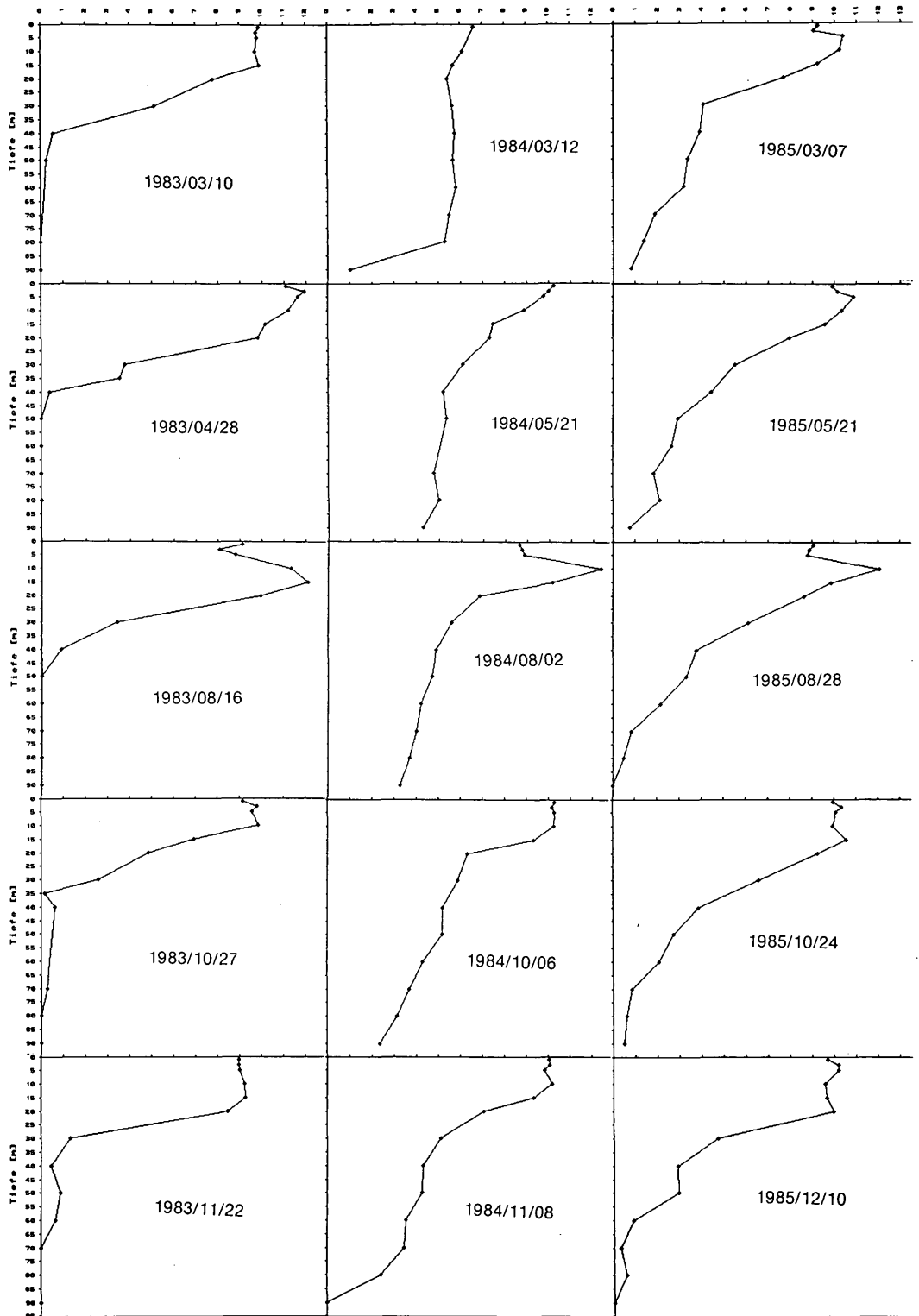


Abb. 5: Tiefenverteilung des Sauerstoffes in den Jahren 1983, 1984 und 1985

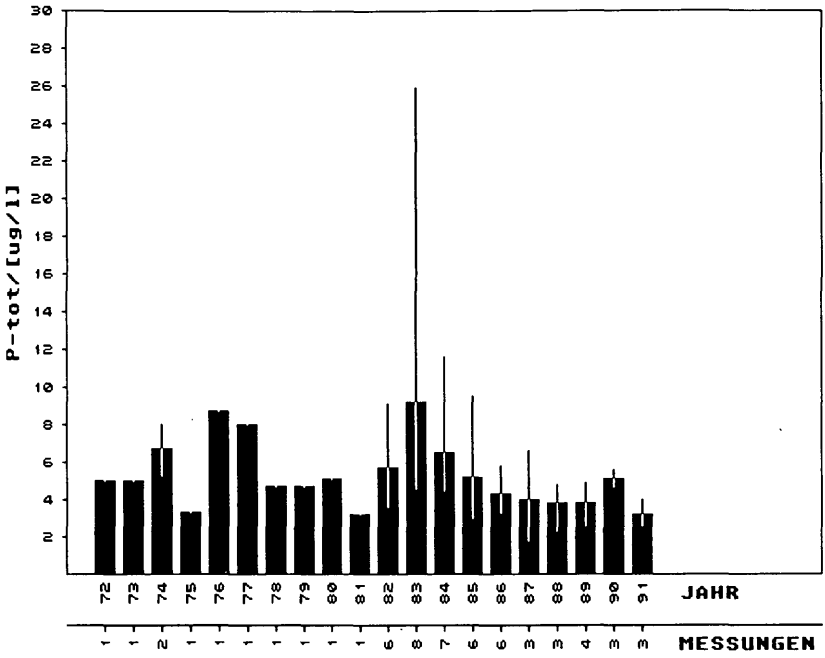


Abb. 6: Gesamtphosphor-Konzentration (µg/l) im Epilimnion (0 bis 6 m), Jahresmittelwerte

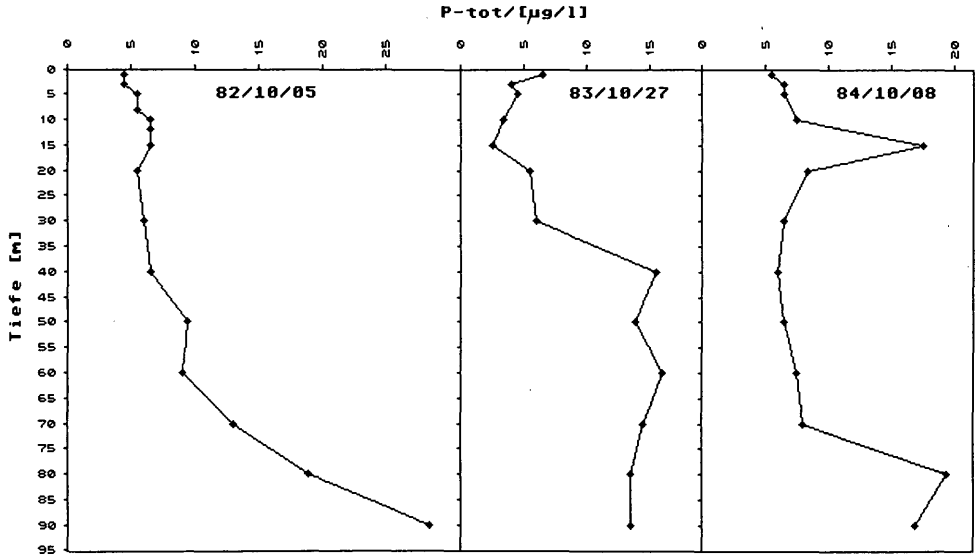


Abb. 7: Tiefenverteilung des Gesamtphosphors (µg/l) im Oktober der Jahre 1982, 1983 und 1984

eingeströmt ist und kühler als das Wasser des Mixolimnions war, wurde durch das Mixolimnion hindurch bis ins Monimolimnion verfrachtet. Es kam dadurch zu einer Erwärmung und gleichzeitig zu Zirkulationsvorgängen im Monimolimnion. Es erfolgte ein Ausgleich der Konzentrationen beispielsweise des Gesamtphosphors, der üblicherweise über Grund eine deutliche Anreicherung erkennen ließ, in der Form, daß das gesamte Monimolimnion gleiche Phosphorkonzentrationen aufgewiesen hat (Abb. 7). Im November, als die Teilzirkulation des Mixolimnions bereits im Gange war, konnte zwischen 20 und 30 m nur mehr 0,5 °C Unterschied festgestellt werden, so daß die temperaturbedingte Dichteschichtung kaum mehr gegeben war.

| Tiefenstufen | 1982 23. 11. | 1983 22. 11. | 1984 8. 11. |
|--------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 1 m | 7,9 | 7,4 | 9,6 |
| 5 m | 7,9 | 7,3 | 9,6 |
| 10 m | 7,9 | 7,3 | 9,6 |
| 20 m | 6,1 | 7,4 | 6,6 |
| 30 m | 5,0 | 6,9 | 5,2 |
| 40 m | 5,2 | 6,8 | 4,6 |
| 60 m | 5,4 | 6,5 | 4,6 |
| 80 m | 5,3 | 6,4 | 4,6 |
| 90 m | 5,3 | 6,4 | 4,6 |

Die Umwälzung hat in der Folge während des Winters unter Eis langsam den gesamten Wasserkörper erfaßt. Bei der Probennahme im März 1984 unter Eis reichte der Sauerstoff bis etwa 80 m (Abb. 5). Nach dem Eisbruch im Mai gelangte der Sauerstoff bis zum Grund, woraus man erkennen kann, daß diese einmalige Vollzirkulation abgeschlossen war. Ähnliche Beobachtungen über Zirkulationsvorgänge unter Eis wurden von MATTHEWS und HEANEY (1987) publiziert.

Erst ab dem Jahre 1985 haben sich die ursprünglichen Verhältnisse wieder eingependelt, wobei man bis zum Jahre 1988 über Grund noch immer geringe Mengen an Sauerstoff nachweisen konnte (Abb. 4).

ÄNDERUNGEN IM PHYTOPLANKTON

Es erhebt sich die Frage, ob sich diese einmalige Vollzirkulation auch im Phytoplankton bemerkbar gemacht hat. Insgesamt ist der Weißensee ein extrem oligotrophes Gewässer mit niedrigen Nährstoffgehalten. Entsprechend den geringen Phosphorgehalten weist er auch einen geringen Gehalt an Planktonalgen in seinem Wasserkörper auf. Während des Untersuchungszeitraumes von 1973 bis 1991 wurde im Epilimnion nur zweimal eine Algenbiomasse beobachtet, die mehr als 1000 mg/m³ betra-

gen hat. Umso auffällender war es, als plötzlich im Juni 1984 eine Phytoplanktonbiomasse von 1785 mg/m³ bestimmt wurde. Diese bestand zu 88 Prozent aus Diatomeen, insbesondere aus den Arten *Cyclotella melosiroides*, *Cyclotella bodanica* und *Synedra acus*. Durch die oben geschilderte Vollzirkulation gelangte nicht der Phosphor aus dem Monimolimnion an die Oberfläche, da dieser in das Sediment ausgefällt wurde, sondern die Kieselsäure. Sie stand somit den Kieselalgen als Nährstoff zur Verfügung.

Kieselsäure (mg/l)

| Tiefenstufen | Kieselsäure (mg/l) | | |
|--------------|--------------------|----------------|---------------|
| | 1983 10. 3. | 1984 12. 3. | 1985 7. 3. |
| 1 m | 2,1 | 4,3 | 2,0 |
| 5 m | 2,2 | 3,9 | 2,5 |
| 10 m | 2,4 | 3,8 | 2,2 |
| 20 m | 2,4 | 3,8 | 2,5 |
| 30 m | 4,4 | 4,2 | 4,1 |
| 40 m | 6,2 | 3,8 | 4,0 |
| 50 m | 6,2 | 3,8 | 4,0 |
| 80 m | 6,2 | 3,8 | 5,1 |
| 90 m | 6,4 | 5,2 | 6,0 |

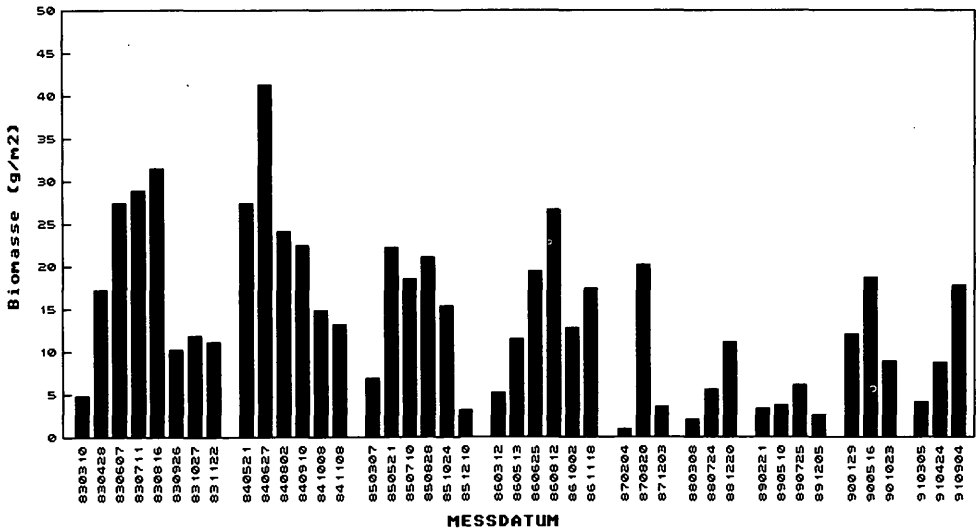


Abb. 8: Phytoplanktonbiomasse unter 1 m² Seefläche im Wasserkörper von 0 bis 30 m im Zeitraum von 1983 bis 1991 (g/m²)

Durch den Sauerstoffeintrag bis zum Grund wurde – wie bereits erwähnt – der Phosphor ausgefällt, wodurch in weiterer Folge dem Phytoplankton noch weniger Phosphor als Nährstoff zur Verfügung stand als vor der Durchmischung. Es kam zu einer weiteren Verarmung an Phytoplankton (Abb. 8). Infolge der Volldurchmischung des Sees trat eine Veränderung in der Zusammensetzung des Phytoplanktonbestandes nur insofern ein, als es zu einer Vergrößerung des Diatomeen-Anteiles kam. Dieser stieg im Jahresmittel von 43 Prozent (1983) auf 54 Prozent (1984) in der Wassersäule unter 1 m² an. Von 1985 bis 1988 ging der Anteil der Diatomeen kontinuierlich zurück, stieg jedoch in den Jahren darauf wieder an und erreichte 1991 etwa denselben Prozentsatz wie 1983 (44 Prozent). Auch die Diatomeenmenge ging nach einem Biomassegipfel von 33 g/m² im Juni 1984 deutlich zurück (Abb. 9).

Die Phytoplanktonbiomasse pendelte sich erst wieder in den Jahren 1990 und 1991 auf ein für den Weißensee charakteristisches niedriges Niveau ein.

Die extrem hohe Sichttiefe von über 16 m im März 1984, es ist dies die größte jemals im Weißensee gemessene (Abb. 10), erklärt sich aus dem niedrigen Nährstoff- und Algenbestand nach der Vollzirkulation.

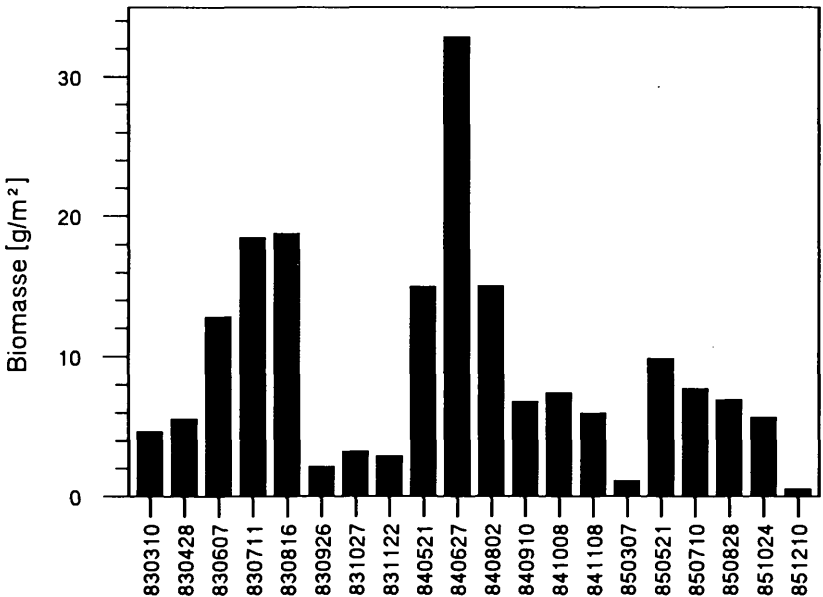


Abb. 9: Biomasse der Kieselalgen unter 1 m² Seefläche im Wasserkörper von 0 bis 30 m im Zeitraum von 1983 bis 1985 (g/m²)

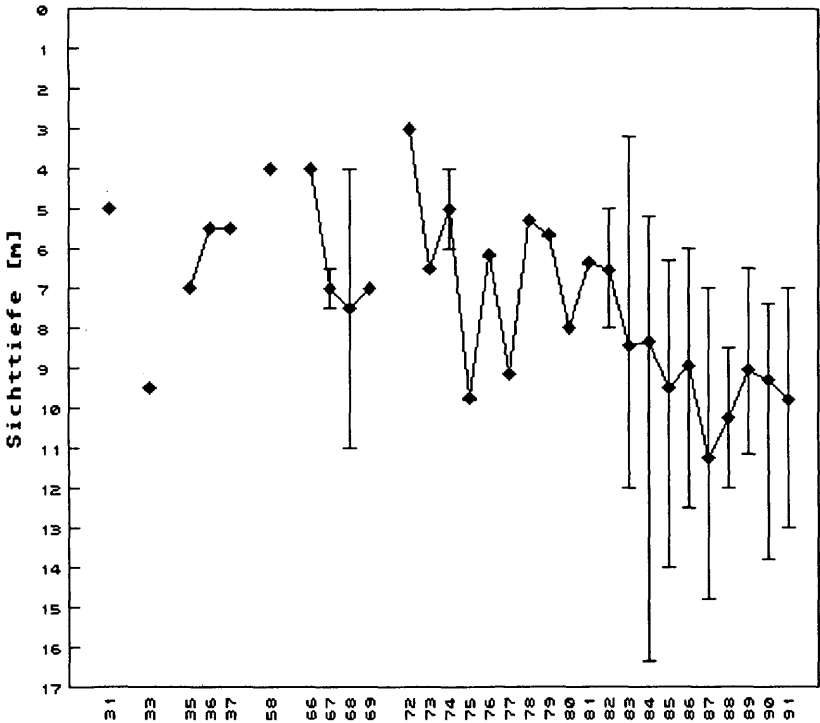


Abb. 10: Sichttiefe (Jahresmittelwert, Minimum, Maximum)

ZUSAMMENFASSUNG

Der Weißensee (930 m Seehöhe, 6,5 km² Fläche, 99 m max. Tiefe) galt seit den ersten Untersuchungen von FINDENEKG als typischer geschichteter meromiktischer See. Am Ende des Jahres 1983 ist es offensichtlich zu einer Umwälzung des Wasserkörpers gekommen, wodurch im Frühjahr 1984 bis zum Grund Sauerstoff vorhanden war. Eine Vollzirkulation im Weißensee wurde trotz einer Untersuchungsreihe seit 1930 vorher niemals registriert. Bis zu diesem Ereignis war der Wasserkörper unterhalb von 50 m (Monimolimnion) nahezu oder zur Gänze O₂-frei.

Durch starke Niederschläge im September 1983 haben große Mengen an kühlen und mineralpartikelreichen Oberflächenwässern den ersten Schritt für eine Vollzirkulation eingeleitet. Das schwallartig von den erosionsanfälligen Steilhängen einströmende Oberflächenwasser war kühler als das Wasser des Mixolimnions und wurde durch das Mixolimnion hindurch bis ins Monimolimnion verfrachtet. Es erfolgt ein Ausgleich der Konzentration der gelösten Inhaltsstoffe in der Form, daß

das gesamte Monimolimnion gleich oder ähnlich hohe Konzentrationen aufgewiesen hat. Gleichzeitig erfolgte hier eine Aufwärmung. Im November 1983, als die Teilzirkulation des Mixolimnions bereits im Gange war, konnte zwischen 20 und 30 m nur mehr 0,5° C Temperaturunterschied festgestellt werden, so daß die temperaturbedingte Dichteschichtung kaum mehr gegeben war. Die Umwälzung hat in der Folge während des Winters unter Eis langsam den gesamten Wasserkörper erfaßt. Im März 1984, noch unter Eis, reichte der Sauerstoff bereits bis etwa 80 m Tiefe, nach dem Eisbruch im Mai gelangte der Sauerstoff bis zum Grund, woraus man erkennen konnte, daß diese einmalige Vollzirkulation abgeschlossen war.

Im Phytoplankton gab es nur insofern Veränderungen, als die Diatomeen-Biomasse bzw. der Anteil an Diatomeen deutlich angestiegen ist, denn durch die Vollzirkulation gelangte nicht der Phosphor aus dem Monimolimnion an die Oberfläche, da dieser in das Sediment ausgefällt wurde, sondern die Kieselsäure, die somit den Kieselalgen als Nährstoff zur Verfügung stand.

L I T E R A T U R

- FINDENEGG, I., 1932: Beobachtungen an den Kärntner Seen. – Carinthia II, 121/122:41–54.
- FINDENEGG, I., 1934a: Zur Frage der Entstehung pseudo-eutropher Schichtungsverhältnisse in den Seen. – Arch. Hydrobiol. 27:621–625.
- FINDENEGG, I., 1934b: Umschichtungsvorgänge im Millstätter See und Weißensee in Kärnten. – Internat. Revue Ges. Hydrobiol. 31:88–89.
- FINDENEGG, I., 1935: Limnologische Untersuchungen in Kärntner Seengebieten, ein Beitrag zur Kenntnis des Stoffhaushaltes in Alpenseen. – Internat. Revue Ges. Hydrobiol. 32:369–423.
- FINDENEGG, I., 1936: Der Weißensee in Kärnten, eine seenkundliche Darstellung. – Carinthia II, Sonderheft 4:1–46.
- FINDENEGG, I., 1937: Holomiktische und meromiktische Seen. – Internat. Revue Ges. Hydrobiol. 35:586–610.
- KÄRNTNER INSTITUT FÜR SEENFORSCHUNG 1984: Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Kärnten. Hydrogeologie der Zentralen Gailtaler Alpen – Weißensee – KA 24; Untersuchungsbericht 1983/84; unveröffentlichter Bericht.
- MATTHEWS, P. C., and S. J. HEANEY 1987: Solar heating and its influence on mixing in ice-covered lakes. – Freshwater Biology 18:135–149.
- SAMPL, H., R. E. GUSINDE und H. TOMEK 1982: Seenreinhaltung in Österreich, Limnologie – Hygiene, Maßnahmen – Erfolge; Schriftenreihe Wasserwirtschaft des BMLF, Heft 6:1–256.
- SAMPL, H., L. SCHULZ und N. SCHULZ 1976, 1977, 1978, 1979, 1980: Bericht über den limnologischen Zustand der Kärntner Seen. – Veröffentlichungen des Kärntner Institutes für Seenforschung, Hefte 2, 3, 4, 5, 6.
- Anschrift der Verfasser: Univ.-Doz. Dr. Hans SAMPL, Dipl.-Ing. Gerhild DEISINGER, Dr. Josef GRUBER, Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 15 – Umweltschutz, A-9020 Klagenfurt, Flatschacher Straße 70.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: [182_102](#)

Autor(en)/Author(s): Sampl Hans

Artikel/Article: [Eine einmalige Volldurchmischung eines meromiktischen Sees, des Weißensees in Kärnten 739-751](#)