

HYDROCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUM KARBONATKREISLAUF DES ATTERSEES (SALZKAMMERGUT, ÖSTERREICH)

Heinz Gerd SCHRÖDER und Jürgen SCHNEIDER

1. Summary

Hydrochemical investigations in the carbonate cycle of the Attersee (Salzkammergut, Austria)

During 1978/79 water samples were taken in the litoral zone of the Attersee, in the open water column and one profile in the deeper part of the lake.

By measuring temperature, pH, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , SO_4^{--} , Cl^- , O_2 contents and alkalinity it was possible to calculate and interpretate saturation ratios of calcite and oxygen, ΣCO_2 , and partial pressure of CO_2 .

The investigations led to the following results:

- a. In the epi/hypolimnion of the lake biogenic decalcification takes place during summer when the second annual planctonic bloom has happened.
- b. In deeper parts of the lake some of the solid calcium carbonate species is dissolved by influence of respiratory activity on the water chemistry.
- c. In the shallow sublitoral area the production of benthonic micro-algal calcareous crusts changes the chemical composition of the sublitoral water column according to a diurnal cycle. Autochthonous carbonate sedimentation of the Attersee is part of an ecological process depending not only on physico-chemical reactions but also on the biogenic activities within the water of the lake. A short discussion about inorganic and organic limnetic carbonates is given as appendix.

2. Einleitung und Problemstellung

In den Jahren 1978/79 wurden 287 Wasserproben von 3 Probenahmepunkten chemisch untersucht und ausgewertet unter der Fragestellung: Wie wirken sich chemische Zusammensetzung des Wassers und biogene Vorgänge im Wasserkörper auf den Karbonathaushalt und die damit verbundene Sedimentgenese im See aus?

Dieser übergeordnete Gesichtspunkt der Untersuchung kann in 3 Einzelaspekte unterteilt werden:

- A. Chemismus des freien Wasserkörpers unter besonderer Berücksichtigung des Epi- und Metalimnions.
- B. Chemismus des hypolimnischen Tiefenwassers.
- C. Chemismus des seichten Litoralwasserkörpers.

Messpunkte:

Die Auswahl der Messpunkte entspricht der jeweiligen Fragestellung und wurde deshalb analog gegliedert (vgl. Abb. 1, S.237).

- A. 30 m Station: 30 m Wassertiefe, Schelfhang, 1 km nordöstlich Litzlberg, ca. 150 m vom Ufer entfernt
Probenahme: 13./14.09.78, 19./20.03.79, 9./10.06.79, 6./7.09.79, jeweils alle 4 Stunden
- B. Tiefenprofil: 160 m Wassertiefe, Teilbecken zwischen Parschallen und Seeleiten, ca 1,5 km nördlich Seefeld, 500 m vom Ostufer des Attersees entfernt
Probenahme: 22.08.79
- C. Litoralstation: 0,5 m Wassertiefe, ufernahes Litoral, Krustensteinzone 1 km nordöstlich der Ortschaft Litzlberg
Probenahme: 9./10.06.79, jeweils alle 2 Stunden.

Gemessene Parameter:

T, pH, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , SO_4^{--} , Cl^- , O_2 , Alkalinität als mHCO_3^- . Daraus berechnete Werte: Sättigung Calcit (S_c), Sättigung O_2

ΣCO_2 ($=\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{CO}_3$), $-\log p\text{CO}_2$ (CO_2 - Partialdruck)

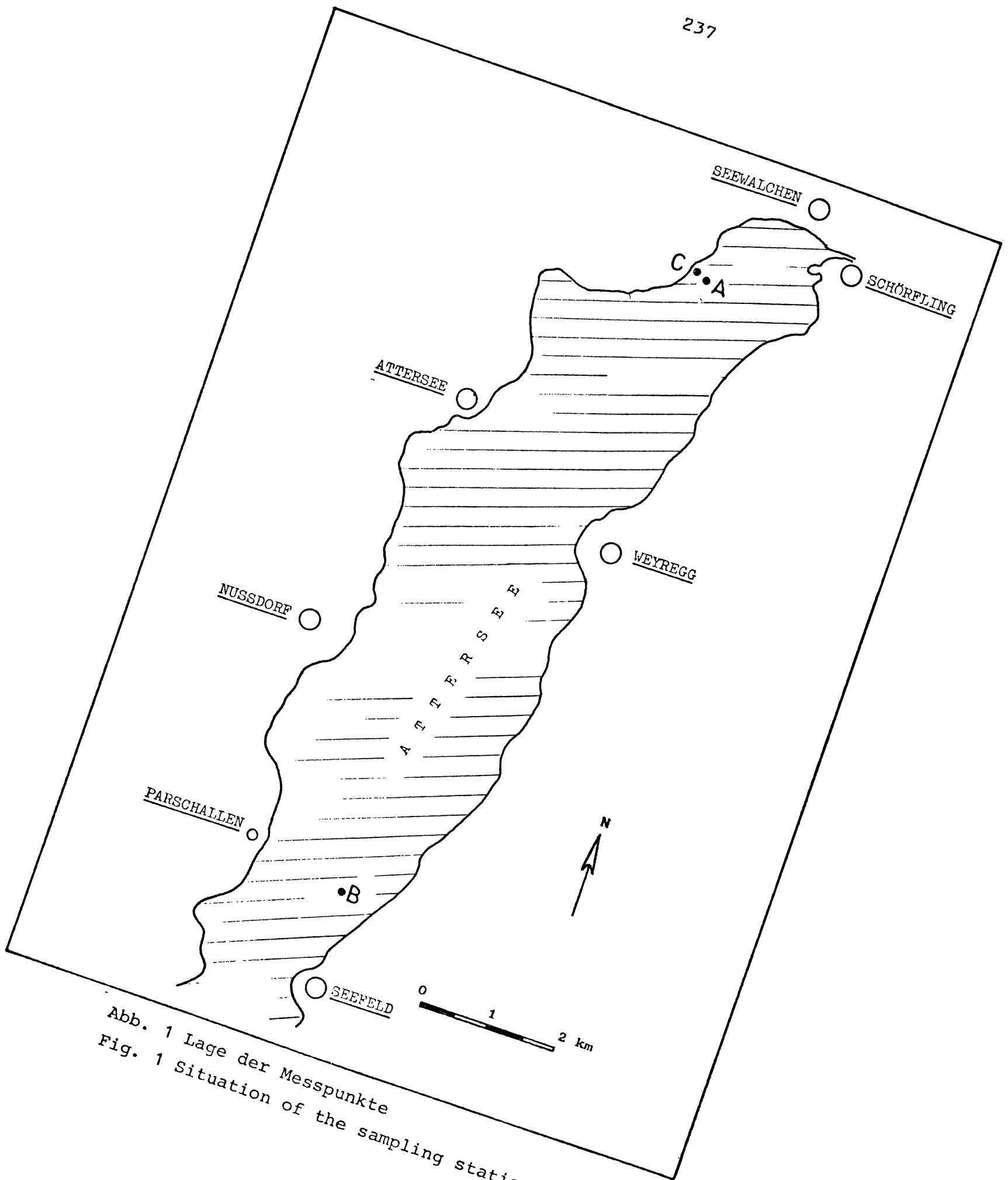


Abb. 1 Lage der Messpunkte
Fig. 1 Situation of the sampling stations

3. Methodik

3.1 Probenahme und Messungen

Probenahme: Wasserschöpfer nach RUTTNER (Hydrobios)
Spezialpipette nach SCHNEIDER (1976), geeichte 50 ml
Glasflaschen, 200 ml Polyäthylenflaschen

T-Messung: Braun - Tastoherm P 4, an Labor-Thermometer
geeicht, Genauigkeit $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

pH-Messung: Knick - Portamess 902/Elektroden: Ingold HA 450
Metrohm EA 121 3 e, Genauigkeit $\pm 0,03$.

$\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ - Bestimmung: Potentiographisch mit Metrohm
Potentiograph E 436 (nach HERRMANN 1975, S. 126 ff.),
Genauigkeit $\pm 2\%$.

$\text{K}^{+}/\text{Na}^{+}$ - Bestimmung: AAS (nach FISHMAN, M.J. et al. 1966),
Genauigkeit $\pm 2\%$.

Cl^{-} - Bestimmung: Titrimetrisch (nach MOHR, WINKLER, vgl.
HÖLL 1970, S. 48 ff.), Genauigkeit $\pm 2\%$.

SO_4^{--} - Bestimmung: Titrimetrisch (nach SIJDERIUS, vgl.
HÖLL 1970, S. 58), Genauigkeit $\pm 3\%$.

O_2 - Bestimmung: Titrimetrisch (nach WINKLER, vgl. GRASS-
HÖFF 1976), Genauigkeit $\pm 2\%$.

Alkalinität: Bestimmung des m und p - Wertes nach DEV
(1979), Genauigkeit $\pm 2\%$. Berechnet als mHCO_3^{-} .

Sättigung O_2 : Sauerstoff-Sättigungswerte bezogen auf
760 mm Hg, höhenkorrigiert für Attersee nach MORTIMER (1956).

Temperatur- und pH Messungen wurden unmittelbar bei der
Probenahme gemessen, Alkalinitäts-Bestimmung und Sauerstoff-
Titration erfolgten im Anschluß an das Meßprogramm im ÖEP
Labor in Weyregg. Die übrigen Parameter wurden in den
Chemie-Labors des Geologisch-Paläontologischen Institutes
der Universität Göttingen ca. 5-8 Tage nach der Probenahme
analysiert. Die Wasserproben lagerten bis zur Bearbeitung
kühl und dunkel in verschlossenen 200 ml Polyäthylen Flaschen.

3.2 Berechnung der Kalzit Sättigung (S_c), ΣCO_2 und des CO_2 Partialdruckes (p_{CO_2})

Die vorliegenden Sättigungsberechnungen wurden mit Hilfe
eines Rechenprogramms mit einem Texas Instruments Rechner
Typ SR 60 durchgeführt. Prof. Dr. E. USDOWSKI (Sediment-
petrographisches Institut der Universität Göttingen) stellte
das von ihm ausgearbeitete Programm W 1 freundlicherweise
zur Verfügung.

Das folgende Fließschema (Abb. 2, S.240) veranschaulicht den Rechenablauf mit den zur Berechnung notwendigen Gleichungen. (Zu thermodynamischen Aspekten der Wasserchemie vgl. STUMM and MORGAN 1970; BERNER 1971).

Die Konstanten A und B (zur Berechnung der Aktivitätskoeffizienten) wurden von BERNER 1971 übernommen; $\log K_C$ nach JACOBSON and LANGMUIR 1974; $\log K_G$ nach MARSHALL and SLUSHER 1968; $\log K_O$ und $\log K_1$ nach HARNED and DAVIES 1943; $\log K_2$ nach HARNED and SCHOLLES 1941.

Folgende Messwerte wurden als Mittelwerte für die Berechnung der Ionenaktivität eingesetzt (die Analysen erbrachten weder jahreszeitlich noch tageszeitlich bedingte Schwankungen): Mg^{++} : 7,0 ppm, Na^+ : 2,3 ppm, K^+ : 0,9 ppm, Cl^- : 6,7 ppm, SO_4^{--} : 4,8 ppm.

4. Ergebnisse

4.1 Durchschnittswerte der 30 m Station A

(vgl. Abb. 1, S.237)

Fragestellung: Wie wirken sich chemische Zusammensetzung und biogene Vorgänge im Wasserkörper auf die Sedimentgenese des Sees aus?

T: Bis auf die Meßreihe im März (Vollständige Durchmischung) zeigen die Temperaturprofile eine deutliche Thermokline, die im Sommer am ausgeprägtesten ist. Eine Einteilung des Wasserkörpers in Epi-, Meta- und Hypo-Limnion ist daher möglich (vgl. WETZEL 1975, S. 70).

Die niedrigste Temperatur wurde im März ($3,4^{\circ}C$), die höchste im Juli ($19,3^{\circ}C$) gemessen (vgl. Abb. 3, S.242).

pH: Entsprechend den Temperaturlinien verlaufen die pH-Profile. Der Einfluß des Temperatursprungs ist jedoch nur im September-Profil (1978) auffällig, ansonsten verlaufen die pH-Änderungen kontinuierlich, wobei die niedrigsten Werte im Sommer und Herbst an den tiefsten Bereich gebunden sind, und nur im Winter-Profil eine leichte pH-Abnahme zur Oberläche hin auftritt. (Mögliche Ursache: Verstärkte CO_2 -Lösung an der Luft-Wasser-Grenze.) Die pH-Werte schwanken zwischen 7,9 und 8,5 (vgl. Abb. 3)

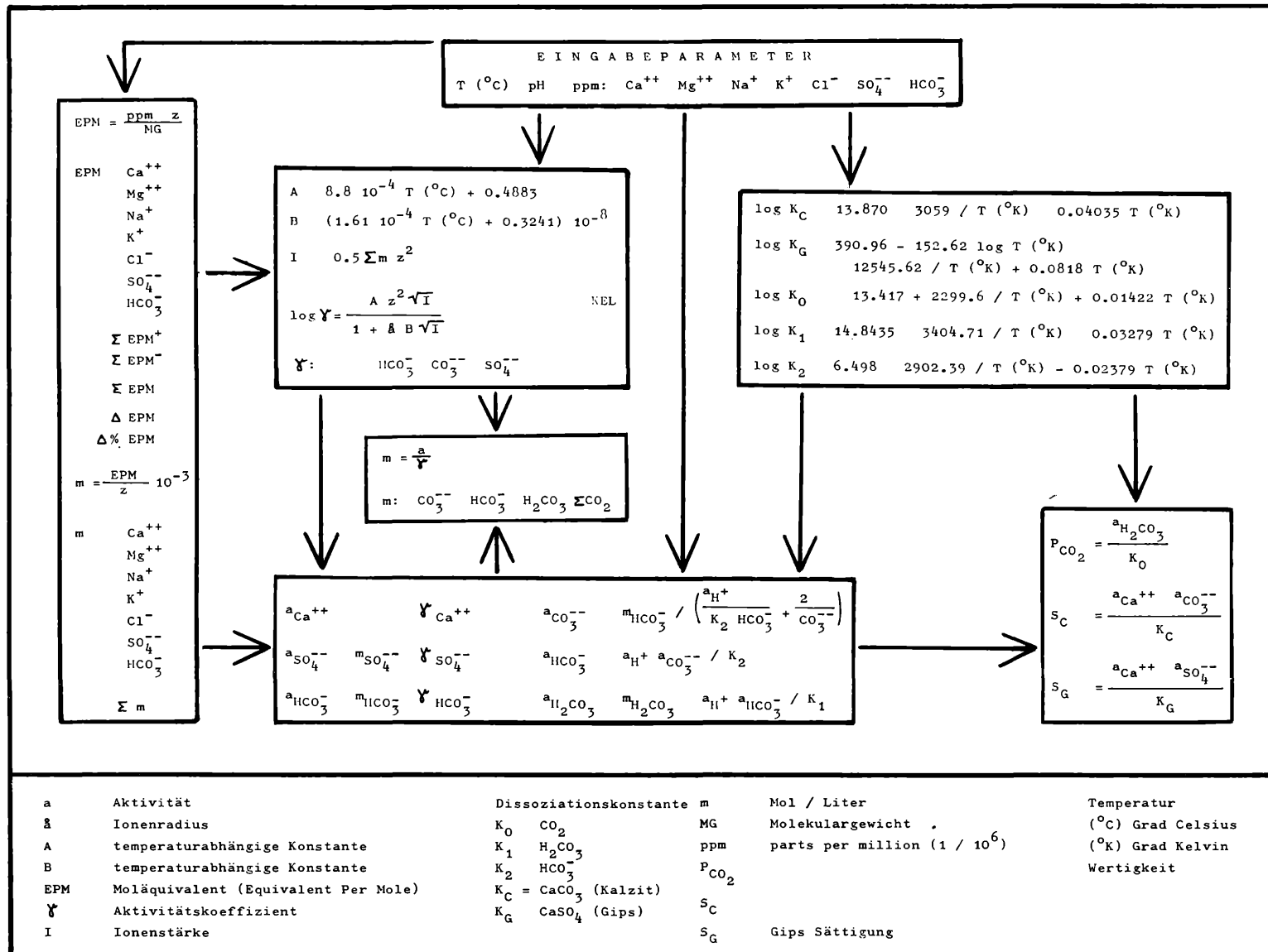


Abb. 2 Flußdiagramm des Rechenprogramms W 1

Fig. 2 Flow diagram of the calculating program W 1

Ca⁺⁺: Ausgehend vom März-Profil der vollständigen Wassermischung finden sich gleichverteilte Ca⁺⁺-Gehalte von 1,01 mmol/l bzw. 40,5 ppm. Dieser Zustand ist auch noch im Juli zu beobachten. Die beiden September-Profile hingegen zeigen signifikant niedrigere Werte des Ca⁺⁺-Gehaltes in den oberen 15 - 20 m von 0,15 mmol/l bzw. 6,0 ppm (dieser Wert entspricht einer Abnahme von ca. 16 % im Vergleich zum Tiefenwasser) (vgl. Abb. 4, S.243).

S_c: Vergleicht man die Sättigungswerte in Bezug auf Calcit (CaCO₃) mit den Ca-Gehalten, bietet sich folgendes Bild: Im März gleichförmiger Sättigungsverlauf (1,3 - 1,5), im Juni hohe Übersättigung in den obersten 10 m (bis 4,5), die sich in den September-Profilen wieder abbaut (vgl. Abb. 4, S.243).

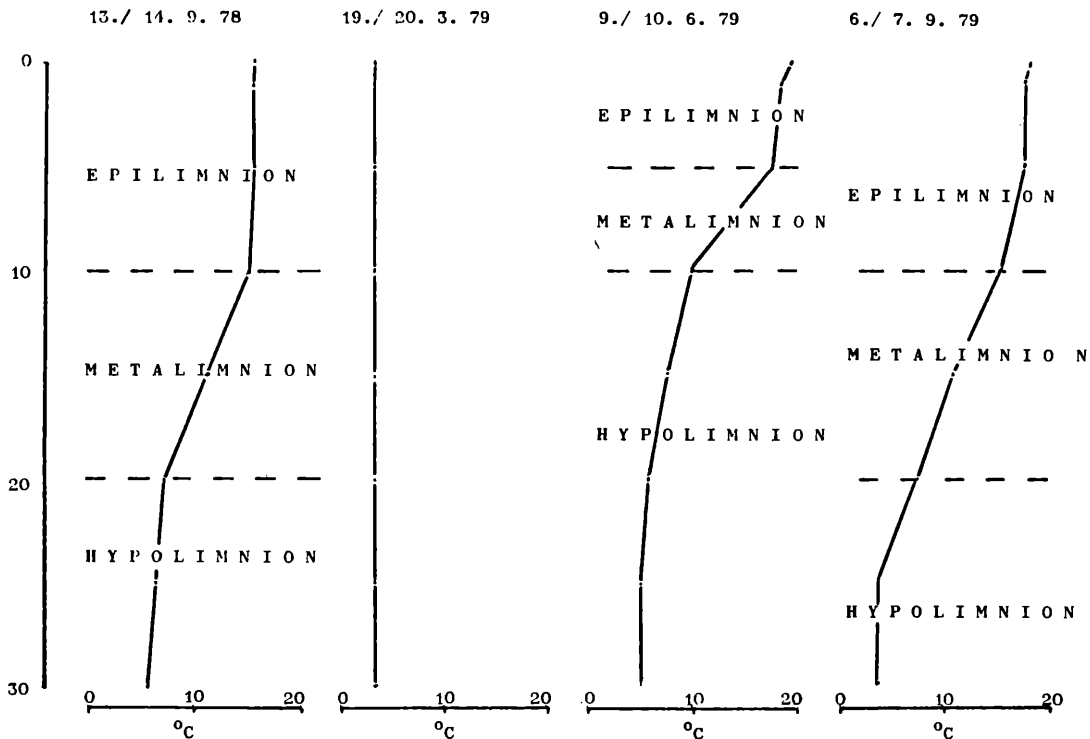
O₂: Ausgehend von gleichförmiger O₂-Verteilung im März (0,375 mmol/l) zeigt das Juni-Profil an der Oberfläche geringere O₂-Werte (0,311 mmol/l), zwischen 10 und 15 m findet sich ein Maximum (0,41 mmol/l), das sich nach unten hin wieder reduziert. Die September-Profile weisen noch ein schwaches Maximum bei - 15 m (0,318 bzw. 0,346 mmol/l) auf, mit der Tendenz zu einer gleichförmigen Verteilung (vgl. Abb. 5, S.244).

Sättigung O₂: Bei den Profilen der O₂-Sättigungswerte ist der Temperatureffekt des Wassers mit berücksichtigt. Das März-Profil zeigt einheitlich 100 % Sättigung. Die Sättigungswerte der übrigen Profile verlaufen fast analog zu den absoluten O₂-Gehalten. Untersättigung tritt unterhalb - 15 m in dem geschichteten Wasserkörper auf. Maximale Sättigungswerte: im Juni zwischen 10 und 15 m Wassertiefe: 120-124 % (vgl. Abb. 5, S.244).

ΣCO₂: Während in den März- und Juni-Profilen fast gleichmäßige Verteilung vorliegt (2,5-2,6 mmol/l), zeigen die September-Profile eine klare Abnahme der ΣCO₂ auf 2,2 bzw. 2,28 mmol/l oberhalb 16 bzw. 20 m Wassertiefe (um 14 bzw. 18 %) (vgl. Abb. 6, 245).

pCO₂: Entsprechend den ΣCO₂-Werten verhält sich der CO₂-Partialdruck. Hier ist jedoch auch schon im Juni-Profil eine Zunahme mit der Tiefe zu beobachten (vgl. Abb. 6)

WASSERTEMPERATUR



pH

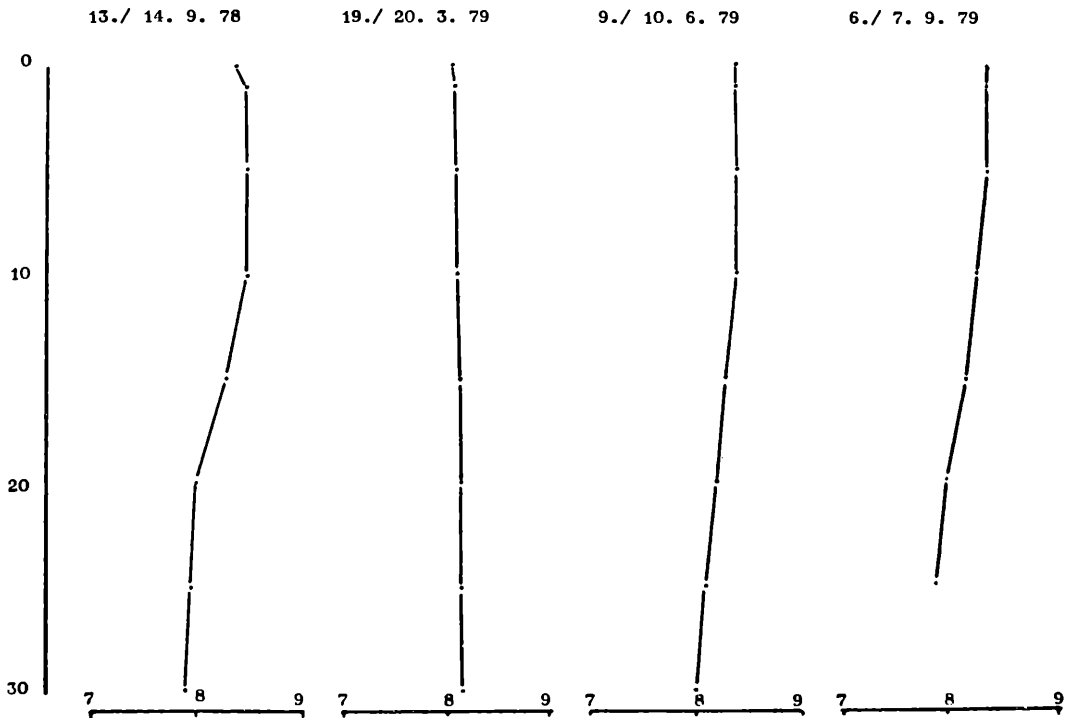
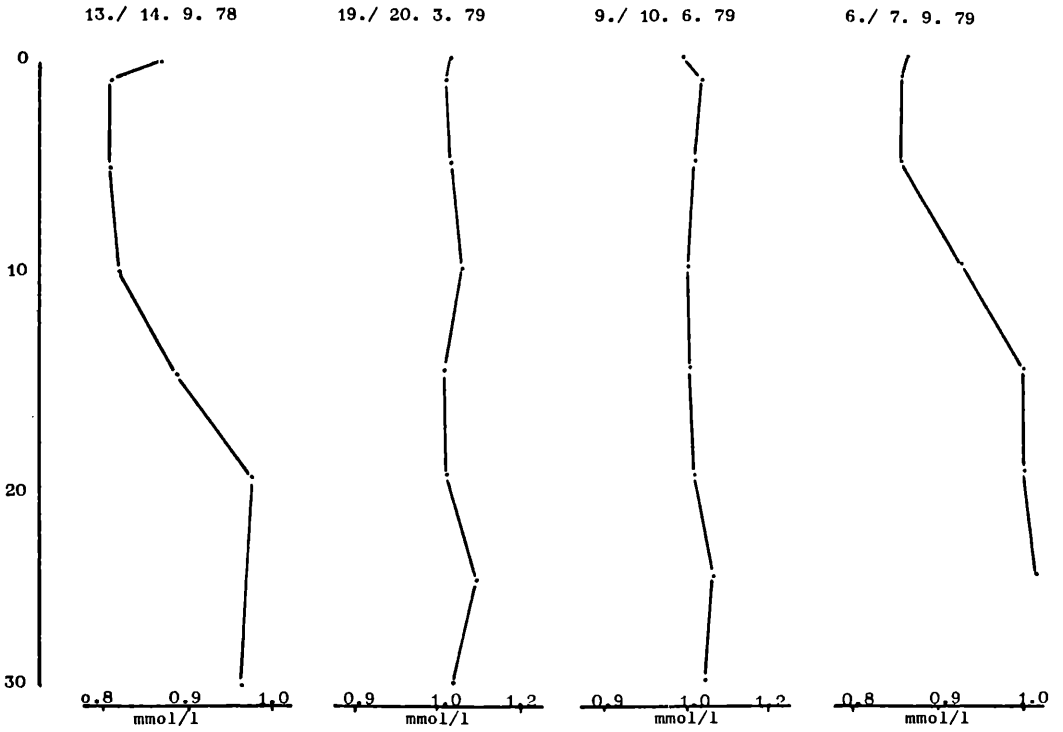


Abb. 3 Station A (T-, pH- Profile)

Fig. 3 Station A (T-, pH- profiles)

Ca⁺⁺



CALCIT-SÄTTIGUNG

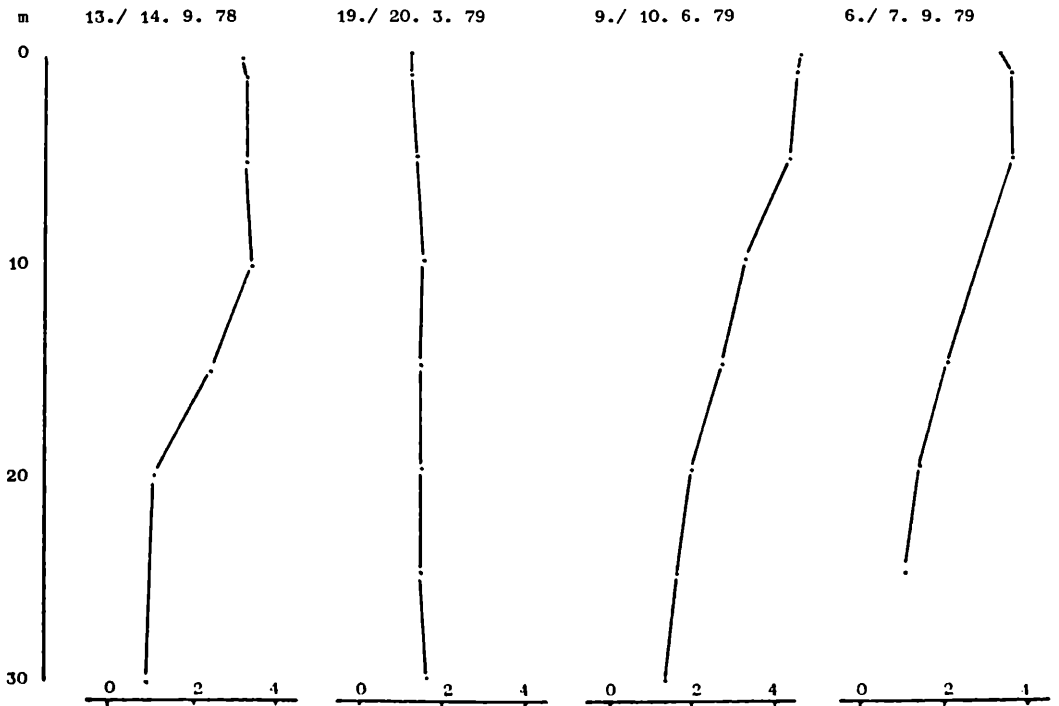
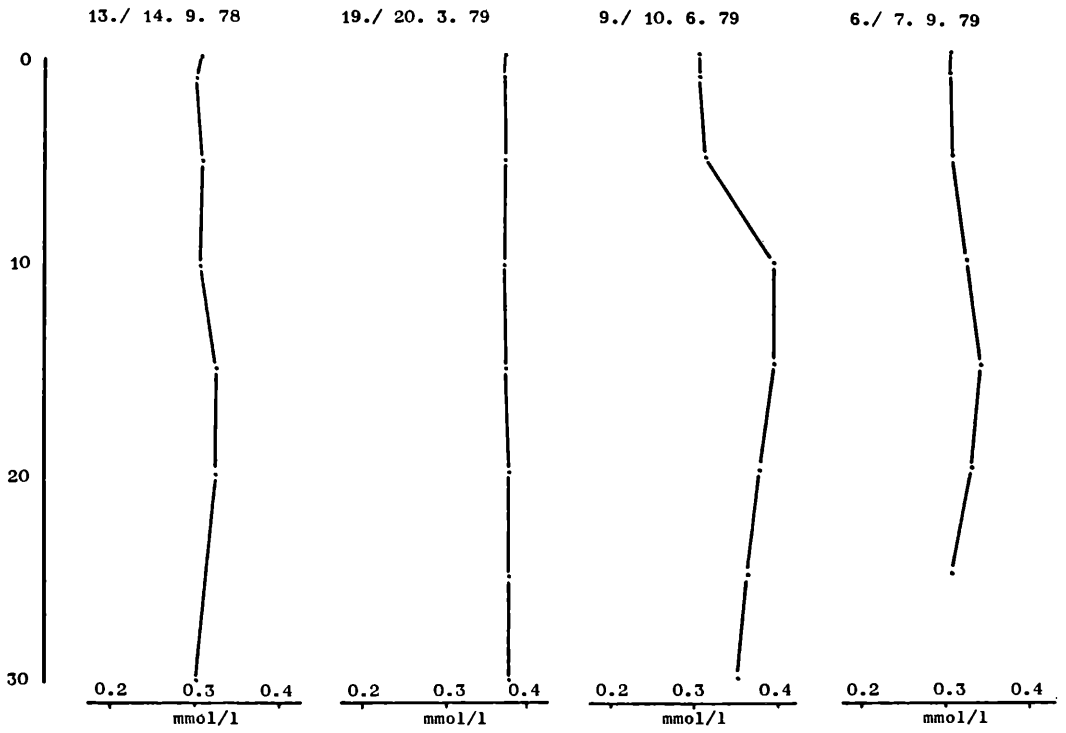


Abb. 4 Station A (Ca⁺⁺-, S_C- Profile)

Fig. 4 Station A (Ca⁺⁺-, S_C- profiles)

O_2



SAUERSTOFF-SÄTTIGUNG

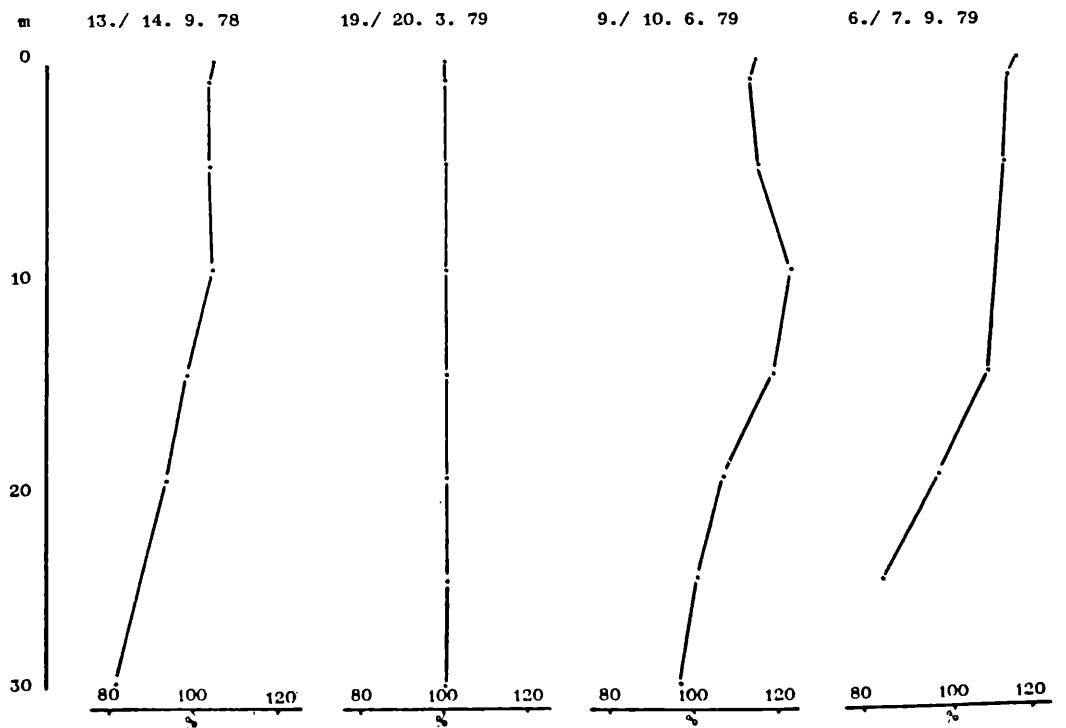
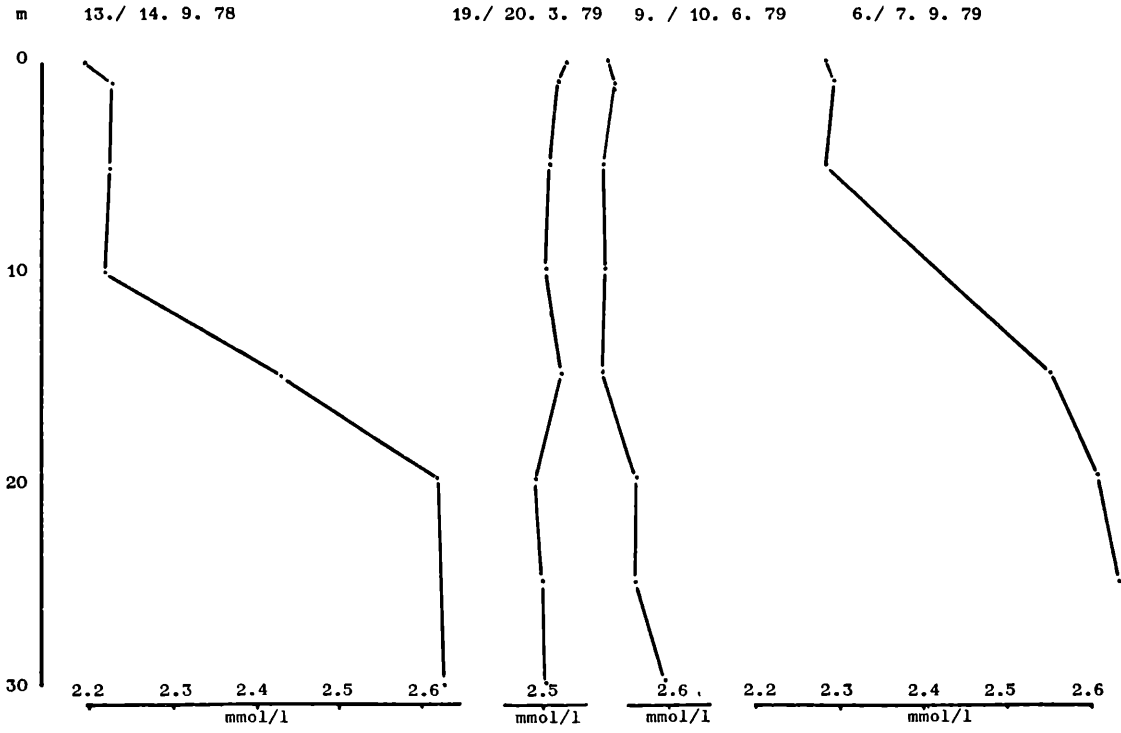


Abb. 5 Station A (O_2 -, S O_2 - Profile)

Fig. 5 Station A (O_2 -, S O_2 - profiles)

ΣCO_2



$-\log P_{\text{CO}_2}$

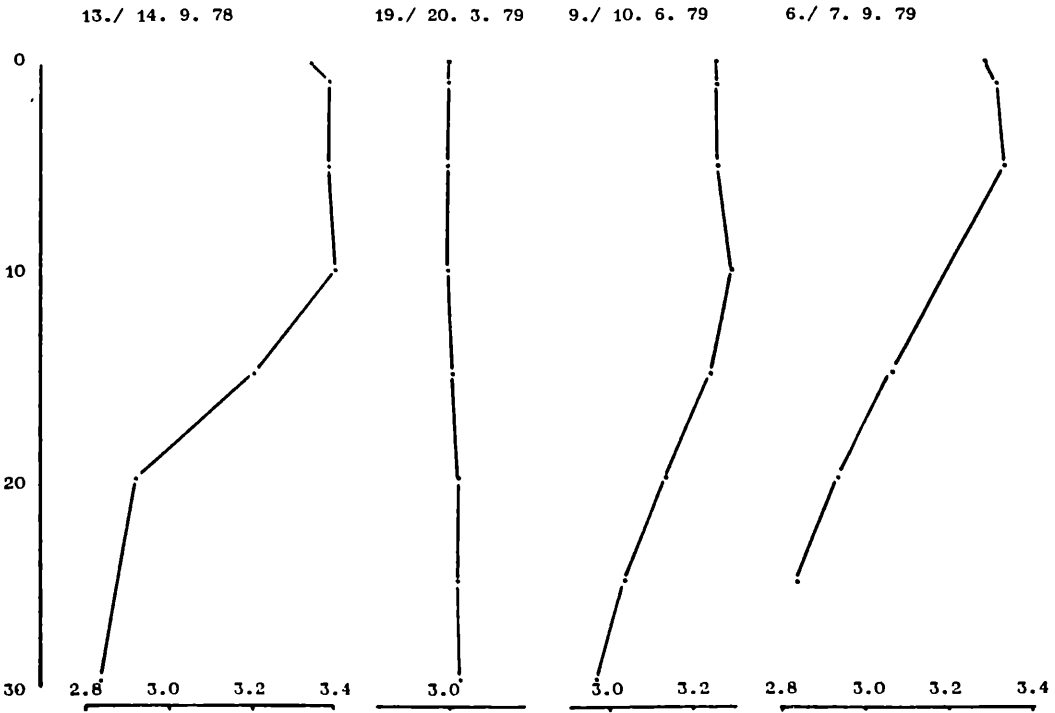


Abb. 6 Station A (ΣCO_2 -, P_{CO_2} - Profile)

Fig. 6 Station A (ΣCO_2 -, P_{CO_2} - profiles)

Schlußfolgerung:

Temperatur-, pH-, und hydrochemische Profile des Attersees entsprechen dem typischen Bild eines oligotrophen, kalkreichen Gewässers mit epilimnischer Entkalkung (vgl. WETZEL 1975, S. 126 ff., S. 174 ff.). Aus den Ca^{++} Werten bzw. den CaCO_3 Sättigungsberechnungen läßt sich ablesen, daß dem Wasserkörper in der Zeit zwischen Juni und September Ca^{++} Ionen entzogen werden, und - bezieht man die gleichzeitige Abnahme der ΣCO_2 mit ein - als CaCO_3 ausgefällt werden. Die im Juni auftretende 4,5 fache Sättigung in Bezug auf CaCO_3 (Calcit) (hohe Wassertemperatur, niedriger CO_2 Partialdruck) reicht offensichtlich nicht aus, eine CaCO_3 Fällung zu verursachen. Erst in Kombination mit der ab Juli/August auftretenden zweiten Planktonblüte (vgl. MÜLLER 1979, S. 153 ff.) fällt der Ca^{++} -Gehalt ab, d.h. die Entkalkung findet statt. In Bezug auf die Sedimentgenese bedeutet dies: der Wasserkörper des Sees trägt durch seine Zusammensetzung und die biogen induzierten Fällungsreaktionen direkt zur Sedimentproduktion bei. (Zur Wasserchemie des Sees vgl. auch NEUHUBER 1976, NEUHUBER et al. 1978 und BROSSMANN et al. 1979)

4.2 Tiefenprofil B

(vgl. Abb. 1)

Das am 22.08.79 gemessene Tiefenprofil soll als Momentaufnahme den Chemismus eines tieferen Teilbeckens des Attersees beleuchten. Fragestellung:

Inwieweit beeinflußt die Wassertiefe (und die damit verbundenen physiko-chemischen sowie biologischen Parameter) das Karbonat-System?

T: Der Temperaturverlauf zeigt einen gut geschichteten Wasserkörper mit einer maximal 15°C betragenden Temperaturdifferenz.

pH: Der pH-Wert des Wassers ist an der Oberfläche am größten (8,85) und nimmt dann zur Tiefe hin kontinuierlich ab (bis 7,45).

pCO₂: Vergleicht man die pH Werte mit dem Verlauf der -log pCO₂ Kurve, so fällt die gute Parallelität beider Wertekurven auf. Man kann daraus schließen, daß das pH-Regime des Wasserkörpers im wesentlichen vom Karbonat-system kontrolliert wird.

Ca⁺⁺: Der Gehalt an Ca⁺⁺ Ionen geht im Epilimnion deutlich zurück (von 0,9 auf 0,77 mmol/l bzw. 36,1 auf 30,9 ppm) und steigt zum tieferen Hypolimnion hin wieder an (0,93 mmol/l bzw. 37,3 ppm).

S_c: Die Sättigungswerte für Calcit zeigen im Epi- und Metalimnion z.T. starke Übersättigung (5,76), die zur Tiefe hin kontinuierlich abnimmt, bei 30 m in Untersättigung übergeht und am Boden 0,3 fache Sättigung erreicht.

ΣCO₂: Die ΣCO₂-Kurve zeigt Ähnlichkeit mit den Ca⁺⁺ Werten. Der ΣCO₂-Gehalt ist im Epilimnion mit 2,28 mmol/l am geringsten und steigt dann zum Beckentiefsten hin an (2,85 mmol/l).

O₂: Die höchsten O₂-Werte finden sich im Epi- und Metalimnion (0,345 - 0,372 mmol/l) und nehmen dann zur Tiefe hin ab.

S O₂: Die Sättigungswerte für O₂ nehmen von 122 % an der Oberfläche bis 74 % im unmittelbaren Bodenwasser ab (vgl. Abb. 7, S. 248).

Schlußfolgerung

Im Epi/Metalimnion findet ein Entzug an Ca⁺⁺-Ionen mit gleichzeitigem Rückgang der ΣCO₂-Werte statt, d.h. Kalkausfällung. Die Sättigungswerte für Calcit sind in diesem Bereich am höchsten. Gleichzeitig steigen die Ca⁺⁺-Ionen-gehalte über dem Sedimentboden an, wie auch die ΣCO₂-Werte ansteigen; man kann diese Zunahme als Folge einer teilweisen CaCO₃-Auflösung verstehen, insbesondere wenn man die Untersättigung in Bezug auf Calcit im Tiefenwasser und den niedrigen pH mitberücksichtigt.

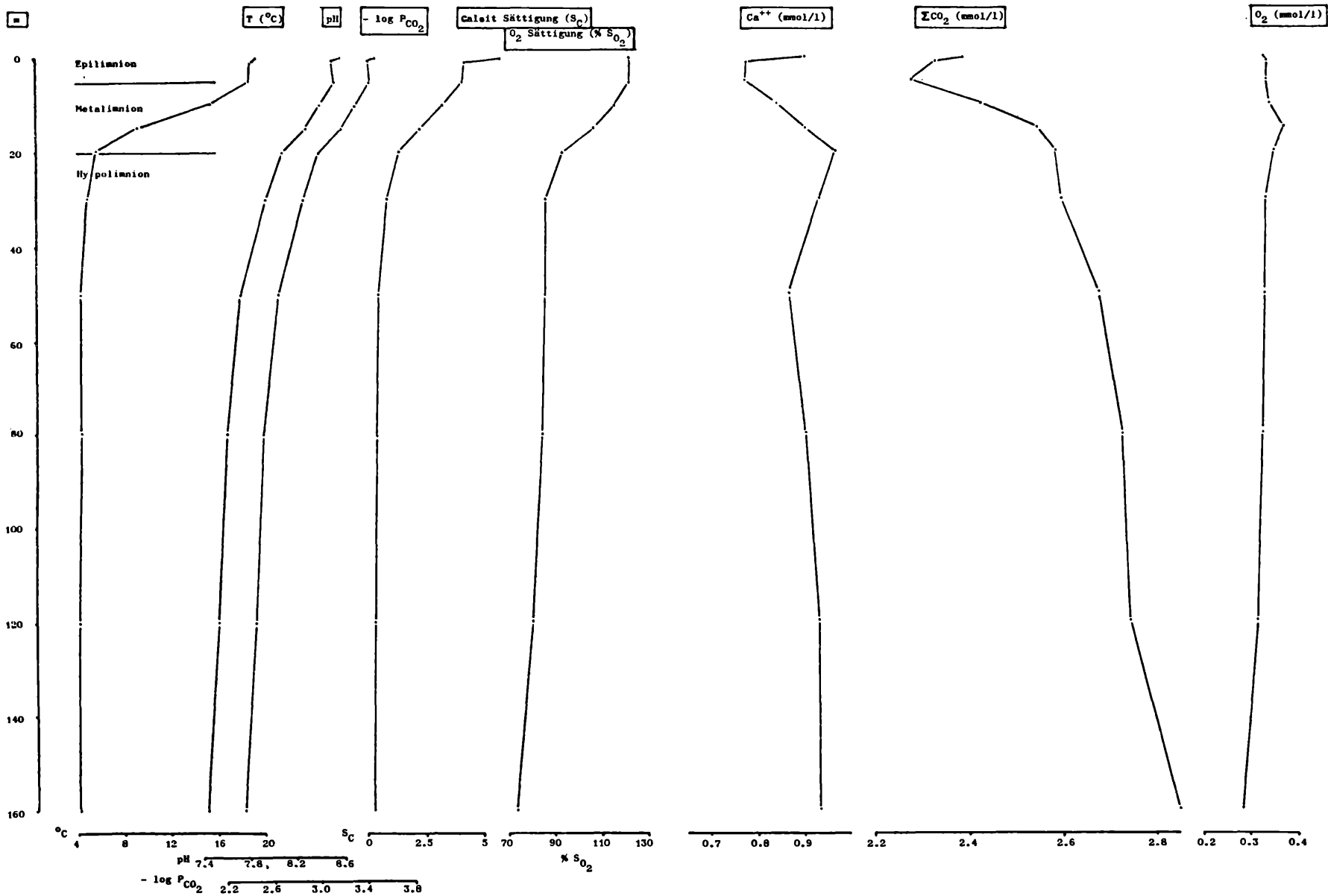


Abb. 7 Station B (T -, pH -, P_{CO_2} -, S_C -, S_{O_2} -, Ca^{++} -, ΣCO_2 -, O_2 - Profile)
 Fig. 7 Station B (T -, pH -, P_{CO_2} -, S_C -, S_{O_2} -, Ca^{++} -, ΣCO_2 -, O_2 - profiles)

Deutung:

Im Sommer (August) erreicht die zweite Planktonblüte ihr Maximum. Daraus resultiert im Epi/Metalimnion eine höhere Produktion an Biomasse, die einerseits dem Oberflächenwasser CO_2 entzieht und dann das Karbonatsystem in Richtung auf CaCO_3 -Fällung beeinflusst und andererseits dem Tiefenwasser tote organische Substanz zuführt, die ans Tiefenwasser via Benthosrespiration (vgl. NEW RKLA 1978, S. 209 ff.) CO_2 abgibt und damit Teile der vorhandenen Karbonatphase wieder auflöst.

4.3 24 Stunden Meßreihe Litoral (-0,5m) (vgl. Abb. 1)
24 Stunden Meßreihe Station A (-1m)

Fragestellung:

Nachweis einer biogenen benthischen Entkalkung im flachen (ca-0,5m) Litoralbereich anhand der Veränderungen des Wasserchemismus in Abhängigkeit vom Tag/Nacht Rhythmus

T: Der Temperaturverlauf weist nur geringe Schwankungen innerhalb von 24 Stunden auf. Die höchsten Tagestemperaturen liegen bei $21,6^\circ\text{C}$, die tiefsten Werte frühmorgens bei $17,5^\circ\text{C}$. Die Temperaturlinie der 30 m Station verläuft relativ monoton um 18°C (vgl. Abb. 8, S.251).

pH: Während der Nacht fällt der pH auf 8.13 und zeigt tagsüber Spitzenwerte von 8,41. Im offenen Wasserkörper sind keine signifikanten pH Schwankungen messbar; der pH Wert liegt bei 8,4 (vgl. Abb. 8, S.251).

Ca⁺⁺: Zu Beginn der Dunkelphase steigt der Ca-Gehalt des Litoralwassers von ursprünglich $0,96\text{ mmol/l}$ bzw. $38,5\text{ ppm}$ auf $1,01\text{ mmol/l}$ bzw. $40,5\text{ ppm}$ an und erreicht damit den einheitlichen Wert der 30 m Station. In der Hellphase verringert sich der Ca^{++} -Gehalt im Litoralwasser wieder auf $0,96\text{ mmol/l}$ bzw. $38,5\text{ ppm}$ (vgl. Abb. 9, S.252).

S_C: Analog zu den absoluten Ca^{++} -Gehalten verhält sich die CaCO_3 Sättigung: nahezu konstante Übersättigung im offenen Wasserkörper (4,5). Im Litoralbereich: abnehmende Sättigungswerte während der Nacht (2,2) und tagsüber wieder Anstieg auf 4,5 (vgl. Abb 9, S.252).

O₂: Der Sauerstoffgehalt im Litoralwasser erreicht nachts mit 0,259 mmol/l seinen Tiefpunkt; tagsüber gibt es Spitzenwerte von 0,378 mmol/l. Demgegenüber verhalten sich die O₂Werte des offenen Wasserkörpers fast konstant mit Werten um 0,31 mmol/l.

S O₂: Der Verlauf der O₂Werte spiegelt sich in den Sättigungswerten wider. Litoral: In den Nachtstunden treten Untersättigungen bis 92 % auf, während die Spitzenwerte des Tages bei 142 % liegen. Die Sättigung des Wassers der 30 m Station beträgt rund 110 % (vgl. Abb. 8, S.251).

ΣCO₂: Im Litoralbereich beobachtet man einen Anstieg der ΣCO₂ auf 2,65 mmol/l in den frühen Morgenstunden, dem tagsüber ein Abfall bis auf 2,4 mmol/l folgt. Die Werte des offenen Wasserkörpers bewegen sich um 2,55 mmol/l (vgl. Abb. 9, S.252).

pCO₂: Der CO₂-Partialdruck steigt ebenfalls frühmorgens an (- log p CO₂ = 2,994) und sinkt dann wieder ab (- log p CO₂ = 3,274) (vgl. Abb. 8, S.251).

Die Werte der 30 m Station liegen bei 3,25. Bei beiden Meßstationen ist der CO₂-Partialdruck im Wasserkörper stets höher als der Atmosphärenwert von 10^{-3,5} atm (vgl. STUMM & MORGAN 1970, S. 126); daraus folgt, daß der Wasserkörper in bezug auf das CO₂-System stets übersättigt ist.

Schlußfolgerung:

Die hydrochemischen Parameter des Litoralwasserkörpers sind tageszeitlichen Schwankungen unterworfen, deren Ursache in biogen induzierten Prozessen zu sehen ist. Nachts, wenn sämtliche Organismen O₂ veratmen und CO₂ abgeben, findet man infolgedessen Sauerstoffschwund, ΣCO₂ Anstieg und damit verbunden einen Rückgang des pH-Wertes. Die Anteile gelöster Ca⁺⁺Ionen entsprechen dem Gesamtwasser-System. Mit Beginn der Photosynthese des benthischen Phytals (in erster Linie Mikrophytal auf Moränengeröllen - Krustensteine - und Onkoide, vgl. KANN 1941, SCHNEIDER 1977, SCHRÖDER & SCHNEIDER 1979,

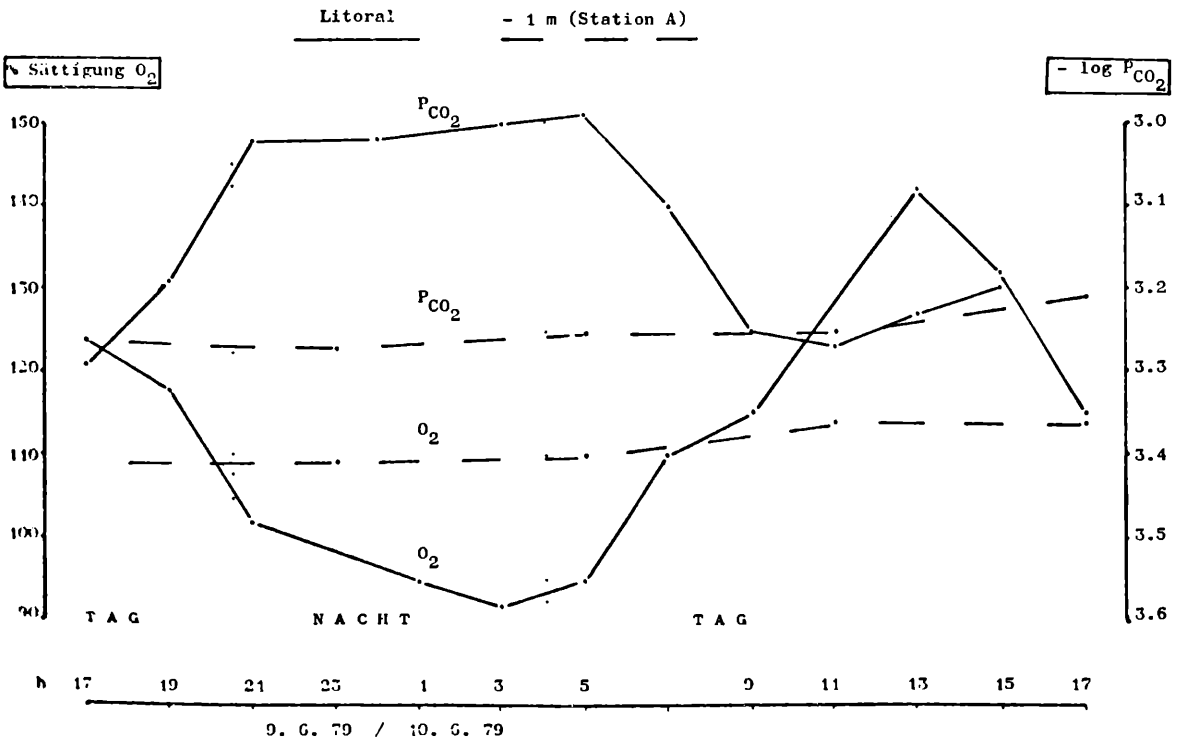
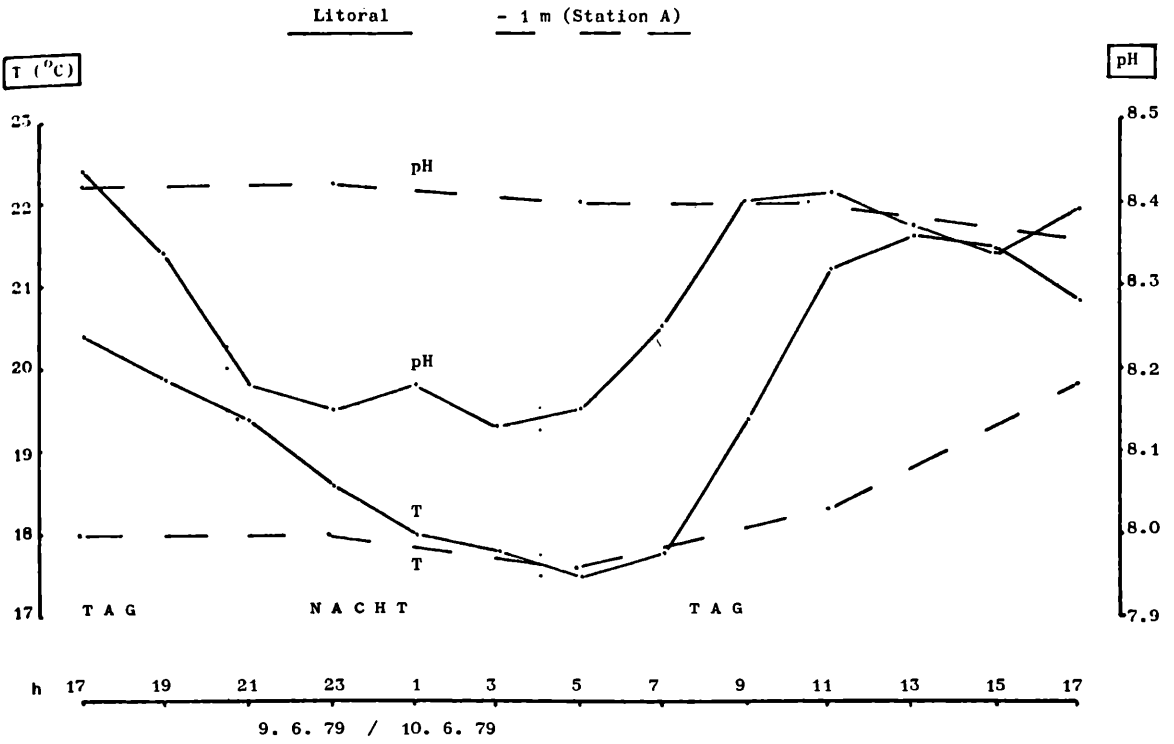


Abb. 8 Station C (T-, pH-, S O₂-, P CO₂- Profile)

Fig. 8 Station C (T-, pH-, S O₂-, P CO₂- profiles)

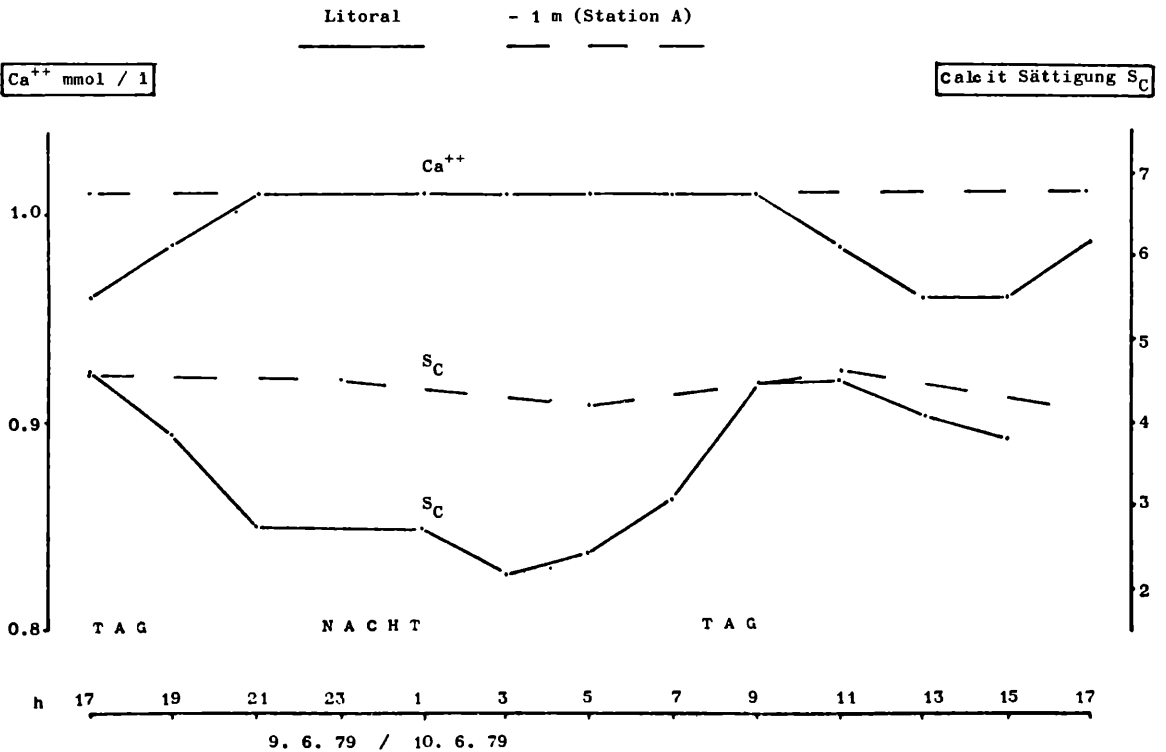
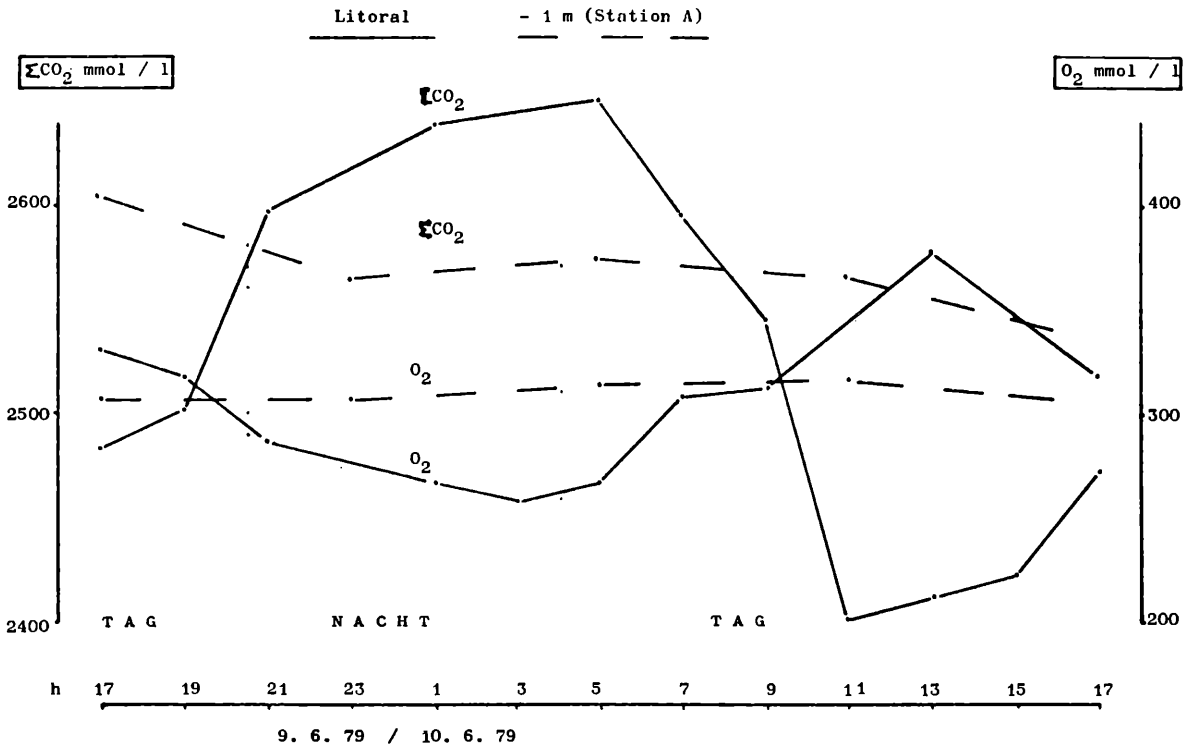


Abb. 9 Station C (ΣCO₂-, O₂-, Ca⁺⁺-, S_C- Profile)

Fig. 9 Station C (ΣCO₂-, O₂-, Ca⁺⁺-, S_C- profiles)

steigt der O_2 Gehalt merklich an, der ΣCO_2 Wert geht zurück und als wichtige Konsequenz für das Karbonat-system verringert sich der Gehalt an gelösten Ca^{++} -Ionen proportional zur Abnahme der CO_2 -Spezies. Mit anderen Worten: dem Wasserkörper wird Ca^{++} in Form von $CaCO_3$ entzogen, es kommt zur biogen induzierten Kalk-Krusten-Bildung im Litoralbereich.

4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Anhand von hydrochemischen Untersuchungen im Verlauf der Jahre 1978/79 konnte für den Karbonathaushalt des Attersees folgendes nachgewiesen werden:

1. Eine biogen induzierte epi/metalimnische Entkalkung während der sommerlichen Planktonblüte spiegelt sich im Chemismus des Wasserkörpers wider.
2. In größeren Wassertiefen kommt es zur teilweisen Auflösung von $CaCO_3$.
3. Im Litoralbereich findet biogene benthische Karbonatproduktion hauptsächlich durch Mikrophytal-Krusten statt.

Die autochthone Karbonatsedimentation im Attersee hängt als Teilprozeß eines komplexen Ökosystems unmittelbar von den biologischen Vorgängen in diesem Gewässer ab und ist nur im Zusammenwirken physiko-chemischer Parameter mit biogenen Prozessen zu deuten und zu verstehen.

5. Diskussion zur limnischen Karbonatgenese

Über den Einfluß biogener Vorgänge auf das Karbonat-system und die damit verbundene Sedimentbildung finden sich unterschiedliche Beschreibungen in der Literatur (eine Übersicht geben KELTS und HSÜ 1978). NIPKOW 1920 und MINDER 1922 deuten die Kalkfällung des Zürichsees als biogene Entkalkung.

STUMM und STUMM-ZOLLINGER 1968 erläutern den Zusammenhang zwischen pH-Änderungen und Photosynthese - bzw. Respirationsvorgängen und deren Auswirkung auf den Kalksättigungswert eines Wasserkörpers.

MÜLLER 1966, 1971, SCHÄFER 1973 und SCHÄFER & STAPF 1978 beschreiben biogene benthische Karbonatproduktion aus dem eutrophen Untersee des Bodensees.

ROSSKNECHT 1977 weist in seinen Untersuchungen biogene epi/metalimnische Entkalkung im oligotrophen Obersee des Bodensees nach, sowie eine teilweise Kalklösung in tieferen Wasserschichten.

Andererseits weisen BRUNSKILL 1969, JACOBSEN und USDOWSKI 1975 und USDOWSKI et al. 1979 rein anorganische Kalkfällung für einen See bzw. ein Fließgewässer nach.

KELTS und HSÜ 1978 schließlich berücksichtigen für den Zürichsee die Wichtigkeit der an die Temperatur gebundenen CO₂-Entgasung ebenso wie den CO₂-Entzug durch Photosynthese, ohne jedoch den einen oder anderen Faktor als dominant anzusehen.

Es stellt sich nun die Frage nach der möglichen Ursache, die einmal rein anorganische Kalkbildung in natürlichen Gewässern bewirkt und ein anderes Mal biogen gesteuerte Kalkfällung zur Folge hat.

Vergleicht man die Gewässer, in denen rein anorganische Kalkfällung beobachtet wurde, so fällt auf:

1. Es handelt sich um relativ kleine Wasserkörper mit im Vergleich zum Wasservolumen großer Oberfläche. (So beträgt z.B. das Verhältnis Oberfläche/Volumen beim Fayetteville Green Lake (vgl. BRUNSKILL, 1969) 0,07 beim Attersee jedoch nur 0,01. Der von JACOBSEN und USDOWSKI (1975) beschriebene Westerhöfer Bach in der Nähe von Göttingen läuft über mehrere Kaskaden und Wasserfälle, die erheblich zur Oberflächenvergrößerung der Wasserschicht beitragen.)

2. Der Gehalt an Ca^{++} -Ionen des Wassers ist hoch und entsprechend groß sind die in den Sommermonaten gemessenen Übersättigungen (Fayetteville Lake: 10,4 mmol Ca^{++}/l (416,8 ppm) bzw. 9,4 fache Sättigung; Westerhof: 3,5 mmol Ca^{++}/l (140,3 ppm) bzw. 14 fache Sättigung; vgl. Attersee: 0,96 mmol Ca^{++}/l (38,5 ppm) bzw. 4,7 fache Sättigung (Maximum im Litoral!))

Schlußfolgerung:

Anorganische Kalkfällung ist dann möglich, wenn die physikochemischen Bedingungen eines Gewässers extreme Sättigungswerte erlauben, d.h. im Fall der diskutierten Beispiele: große Wasseroberflächen, die eine intensive CO_2 Entgasung fördern und hohe Calciumgehalte als Voraussetzung für Übersättigung.

Im Falle des Attersees sind die Bedingungen für rein anorganische Kalkfällung nicht gegeben, so daß erst durch biogene Aktivität fällungsrelevante Sättigungskonzentrationen im Mikromilieu planktonischer bzw. benthonischer Algen auftreten, die dann nachweisbar ihren Anteil zur gesamten Sedimentbilanz beisteuern (vgl. SCHRÖDER und SCHNEIDER 1979).

Danksagung

Die Arbeiten wurden im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft dankenswerterweise geförderten Projektes durchgeführt (DFG Az.: Schn 16/8).

Einen Teil der chemischen Untersuchungen führten wir am Attersee im ÖEP - Labor Weyregg durch (Projektleiter: Dr. G. MÜLLER, Dr. O. MOOG). Für die Hilfsbereitschaft und Gastfreundschaft sagen wir an dieser Stelle unseren Dank.

Dr. J. PAUL und H. PETERS (Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Göttingen) unterstützten den analytischen Teil der Untersuchung durch technische Anleitung und zahlreiche kritische Diskussionen. Prof. Dr. E. USDOWSKI (Sedimentpetrographisches Institut der Universität Göttingen) stellte sein Rechenprogramm W1 zur weiteren Auswertung der Analysen zur Verfügung und beteiligte sich intensiv an der Diskussion der Ergebnisse. Allen sei für ihre hilfreiche Unterstützung herzlich gedankt.

Literaturverzeichnis

- BERNER, R.A., 1971, Principles of Chemical Sedimentology, McGraw-Hill Book Company, New York, 240 S.
- BROSSMANN, H., NEUHUBER, F., ZAHRADNIK, P., 1979, Chemische Untersuchungen des Attersees 1978, Arb. Lab. Weyregg, 3, 131-152
- BRUNSKILL, G.J., 1969, Fayetteville Green Lake, New York. II: Precipitation and sedimentation of calcite in a meromictic lake with laminated sediments. Limnol. Oceanogr., 14 (6), 83Q-847
- Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung (DEV) 1979, (Hrsg. Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker), 3. Aufl., 8. Lieferung 1979, Verlag Chemie, Weinheim
- FISHMAN, M.J. and DOWNS, S.C., 1960, Methods for Analysis of Selected Metals in Water by Atomic Absorption, Geol. Survey Water Supply Paper 1540 C, 45 S.
- GRASSHOFF, K., 1976, Methods of sea water analysis, Chemie Verlag Weinheim - New York, 317 S.
- HARNED, H.S. and DAVIES, R., 1943, The ionization constant of carbonic acid in water and the solubility of carbon dioxide in water and aqueous salt solutions from 0 to 50°C, J. Am. Chem. Soc., 65, 2030-2037
- HARNED, H.S. and SCHOLLES, S.R., 1941, The ionization constant of HCO_3^- from 0 to 50°C, J. Am. Chem. Soc., 63, 1706-1709
- HERRMANN, A.G., 1975, Praktikum der Gesteinsanalyse, Chemisch-instrumentelle Methoden zur Bestimmung der Hauptkomponenten, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 204 S.
- HÖLL, K., 1970, Wasser - Untersuchung - Beurteilung - Aufbereitung - Chemie - Bakteriologie - Biologie. 5. Aufl., Verlag W. de Gruyter, Berlin, 473 S.
- JACOBSON, R.L. and LANGMUIR, D., 1974, Dissociation constants of calcite and CaHCO_3^+ from 0 to 50°C, Geochim. Cosmochim. Acta, 38, 301-318
- JACOBSON, R.L. and USDOWSKI, H.E., 1975, Geochemical controls on a calcite precipitating spring. Contr. Mineral. Petrol., 51, 65-74
- KANN, E., 1941, Krustensteine in Seen, Arch. Hydrobiol., 37, 504-532
- KELTS, K. and HSÜ, K.J., 1978, Freshwater Carbonate Sedimentation. In: LERMAN, A. (Ed.): Lakes, Chemistry - Geology - Physics, Springer Verlag New York, 295-323
- MARSHALL, W.L. and SLUSHER, R., 1968, Solubility to 200°C of Calcium Sulfate and Its Hydrates in Sea Water and Saline Water Concentrates, and Temperature-Concentration Limits, J. Chem. and Eng. Data, 13, 83-93
- MINDER, L., 1922, Über biogene Entkalkung im Zürichsee, Verh. Int. Ver. Limnol., 1, 20-23
- MORTIMER, C.H., 1956, The oxygen content of air-saturated fresh waters, and aids in calculating the percentage saturation, Mitt. int. Ver. Limnol., 6, 120 S.
- MÜLLER, German, 1966, Die Sedimentbildung im Bodensee, Naturwissenschaften, 53, 237-247

- MÜLLER, German, 1971, Sediments of Lake Constance. In Sedimentology of Parts of Central Europe, Guidebook, VII Int. Sed. Congress, Heidelberg, 237-252
- MÜLLER, Günter, 1979, Das Phytoplankton des Attersees. In: MÜLLER, G. (Hrsg.): Jahresbericht 1978, Arb. Lab. Weyregg, 3, 153-164
- NEUHUBER, F., 1976, Chemismus des Sees. In: Atterseebericht 1976, 74-90
- NEUHUBER, F., BROSSMANN, H., ZAHRADNIK, P., 1977, Chemismus des Sees. In: Atterseebericht 1977, 41-51
- NEWRKLA, P., 1979, Benthosrespiration im Attersee. In: Atterseebericht 1978, 209-220
- NIPKOW, F., 1920, Vorläufige Mitteilungen über Untersuchungen des Schlammabsatzes im Zürichsee, Z. Hydrol., 1, 1-27
- ROSSKNÉCHT, H., 1977, Zur Autochthonen Calcitfällung im Bodensee-Obersee, Arch. Hydrobiol., 81, 35-64
- SCHÄFER, A., 1973, Zur Entstehung von Seekreide, N. Jahrb. Geol. Pal. Mh., 4, 216-230
- SCHÄFER, A. and STAPF, R.G., 1978, Permian Saar-Nahe Basin and Recent Lake Constance (Germany): two environments of lacustrine algal carbonates, Spec. Publs. int. Ass. Sediment., 2, 83-107
- SCHNEIDER, 1976, Biological and Inorganic Factors in the Destruction of Limestone Coasts, Contributions to Sedimentology, No. 6, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 112 S.
- SCHNEIDER, J., 1977, Carbonate construction and decomposition by epilithic and endolithic micro-organisms in salt- and freshwater. In: FLÜGEL, E., (Ed.) Fossil algae, Recent results and developments, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 248-260
- SCHRÖDER, H.G. und SCHNEIDER, J., 1979, Sedimentgeologische Untersuchungen zum Karbonatkreislauf und zur Sedimentationsgeschichte des Attersees, Arb. Lab. Weyregg, 3, 229-242
- STUMM, W. and STUMM-ZOLLINGER, E., 1968, Chemische Prozesse in natürlichen Gewässern, Chimia, 22, 325-337
- STUMM, W. and MORGAN, J., 1970, Aquatic Chemistry, Wiley Interscience, New York, 583 S.
- USDOWSKI, E., HOEFS, J. and MENSCHER, G., 1979, Relationship between ^{13}C and ^{18}O Fractionation and Changes in Major Element Composition in a recent Calcite-depositing Spring - a Model of Chemical Variations with Inorganic CaCO_3 Precipitation, Earth and Planetary Science Letters, 42, 267-276
- WETZEL, R.G., 1975, Limnology, W.B. Saunders, Philadelphia, PA., 743 S.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten aus dem Labor Weyregg](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [4_1980](#)

Autor(en)/Author(s): Schröder Heinz-Gerd, Schneider Jürgen

Artikel/Article: [HYDROCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUM
KARBONATKREISLAUF DES ATTERSEES \(SALZKAMMERGUT,
ÖSTERREICH\) 235-257](#)