

Stickstoffkreislauf und Primärproduktion im mesotrophen Vierwaldstättersee (Horwer Bucht) und im eutrophen Rotsee, mit besonderer Berücksichtigung des Nitrats als limitierenden Faktors

Doctoral Thesis

Author(s):

Stadelmann, Pius

Publication date:

1971

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000088728>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. Nr. 4629

Stickstoffkreislauf und Primärproduktion
im mesotrophen Vierwaldstättersee (Horwer Bucht)
und im eutrophen Rotsee,
mit besonderer Berücksichtigung des Nitrats
als limitierenden Faktors

Abhandlung
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Naturwissenschaften
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

PIUS STADELMANN

dipl. sc. nat. ETH

geboren am 11. Januar 1941

von Malters, Kanton Luzern

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. O. JAAG, Referent
Prof. Dr. W. STUMM, Korreferent

Basel
Birkhäuser Verlag
1971

Ausbleiben der Vollzirkulation verhindert, dass die Algenpopulation ständig verdünnt wird, so dass sich unter Eis, genügend Lichtintensität vorausgesetzt, eine grössere «standing crop» aufbauen kann als in der Horwer Bucht.

Nach dem Eisbruch kommt es jeweils zu Phytoplanktonmassenentfaltungen. Gleichzeitig erhöhen sich mit dem Aufbau der Sommerschichtung die Sedimentationsraten. Die oberen epilimnischen Schichten verarmen an Nährstoffen, und die Primärproduktion wird hauptsächlich von den allochthonen Nährstoffzufuhren aus dem Einzugsgebiet und dem Reuss-Stollen unterhalten.

Würde dem Rotsee sauberes, nicht abwasserbelastetes, Reusswasser zugeführt, dann würde die N-Belastung um etwa 20–50% verringert. Auf Grund verschiedener Parameter, wie der hohen Frühjahrsnährstoffkonzentrationen, der kleinen mittleren Tiefe und der geringen Wassererneuerung vor allem der hypolimnischen Wassermassen ist freilich zu schliessen, dass der Rotsee weiterhin ein eutrophes Gewässer bleiben wird.

Nach VOLLENWEIDER [76] ist für einen See mit einer mittleren Tiefe von 10 m eine Oberflächenbelastung von über 3 g N/m² und Jahr und 0,2 g P/m² und Jahr bereits gefährlich. Diese kritische Belastbarkeitsgrenze wird aber auch bei vollständiger Sanierung aller Abwasserbelastungsquellen noch übertroffen werden. Immerhin darf man erwarten, dass im Sommer in den oberen Schichten die Primärproduktion kleiner ausfallen wird und sich somit auch grössere Sichttiefen einstellen werden.

Als weitere zusätzliche Sanierungsmöglichkeiten müssten noch andere Massnahmen überlegt werden, die vor allem darauf abzielen, die Wassererneuerungszeit zu erhöhen, wie zum Beispiel hydraulische Veränderungen der Zuflüsse und des Abflusses, oder Anordnungen, die es ermöglichen, die tiefen Wasserschichten direkt dem Seeabfluss zuzuführen.

7. Zusammenfassung

In den Jahren 1969/70 wurden der mesotrophe Vierwaldstättersee (Stelle Horwer Bucht) und der hoch eutrophe Rotsee in physikalischer (Temperatur, subaquatische Lichtverhältnisse), chemischer (Stickstoff- und Phosphorkomponenten, Sauerstoff, Schwefelwasserstoff, Säurebindungsvermögen) und biologischer Hinsicht (Primärproduktion, Seston-Sedimentation, Planktonanalyse) untersucht.

Besondere Beachtung wurde der zeitlichen und räumlichen Verteilung der anorganischen (NO₃, NH₄, NO₂) und organischen Stickstoffkomponenten (part. N und gelöster organischer N) geschenkt.

Für die Bestimmung des part. N wurde eine genaue und störungsfreie Analysenmethode erarbeitet. Die Wasserproben werden durch Glasfaserfilter (GF/C Whatman) mit einer Deckschicht aus Magnesiumhydroxidkarbonat (p.A. Merck) filtriert und der Filterrückstand inklusive Filter aufgeschlossen, wodurch Störungen durch das im Wasser gelöste Nitrat beim Kjeldahl-Aufschluss wegfallen. Bei der Filtration von 200 ml Probewasser mit einem Gehalt von 50 µg part. N/l beträgt die Standardabweichung $s = \pm 10 \mu\text{g N/l}$. Die Bestimmung des part. N ist also auch in oligotrophen Gewässern möglich.

In allen Tiefen der Horwer Bucht ist Nitrat während des ganzen Jahres die Hauptkomponente des anorganischen Stickstoffs. Im Rotsee hingegen, bedingt durch die anaeroben Verhältnisse im Hypolimnion, fällt der Hauptteil auf Ammonium.

Gegen den Herbst hin war in beiden Seen in den Schichten maximaler Photosyntheseaktivität eine deutliche Zehrung von anorganischen N-Verbindungen festzustellen. Die hypolimnische Nitratanreicherung betrug in der Horwer Bucht (15–60 m) am Ende der Sommerstagnation $3,7 \text{ g NO}_3\text{-N/m}^2$; im Rotsee betrug die hypolimnische NH_4 -Anreicherung (5–14 m) $24 \text{ g NH}_4\text{-N/m}^2$ (Tab. 12, 13 und 14, Abb. 10, 11, 12, 13 und 14).

Die epilimnischen Konzentrationen an part. N schwankten in der Horwer Bucht zwischen 30 und $420 \mu\text{g N/l}$ (0–15 m), im Rotsee zwischen 130 und $3440 \mu\text{g N/l}$ (0–5 m). Im Gegensatz zur Horwer Bucht wurden im Hypolimnion hohe Konzentrationen an part. N gemessen. Die höchste epilimnische «standing crop» (part. N/m²) wurde im Rotsee jeweils in den Monaten Januar/Februar unter Eis und nach Eisbruch in den Monaten März/April ermittelt, in der Horwer Bucht in den Monaten Mai/Juni und August/September (Tab. 17 und 20, Abb. 15 und 16).

Die epilimnischen Konzentrationen an gelöstem organischem Kjeldahl-N lagen in der Horwer Bucht bei 20–210 $\mu\text{g N/l}$, der Gehalt unter 1 m² Seeoberfläche (0–15) bei 1,00–2,36 g N/m^2 . Im Rotsee betragen die Konzentrationen an gelöstem organischem Kjeldahl-N 150–880 $\mu\text{g N/l}$. Der Gehalt an gelöstem N unter 1 m² Seeoberfläche (0–5) variierte von 1,27–2,87 g N/m^2 (Tab. 18, 19 und 20).

Während der Stagnationsperiode (April bis Oktober) wurden in der Horwer Bucht N-Sedimentationsraten von 8–34 mg N/m^2 und Tag, im Rotsee von 32–397 mg N/m^2 und Tag gemessen, das heisst in der Horwer Bucht sedimentieren täglich 1–2% und im Rotsee 2–37% des vorhandenen part. N aus (Tab. 35, Abb. 17 und 18).

Die höchsten Assimilationsraten betragen in der Horwer Bucht 63 $\text{mg C}_{\text{ass}}/\text{m}^3$ und Stunde, im Rotsee 287 $\text{mg C}_{\text{ass}}/\text{m}^3$ und Stunde. Mit Hilfe der täglichen Assimilationsleistung ($\text{g C}_{\text{ass}}/\text{m}^2 \cdot \text{Tag}$) und des vorhandenen partikulären Stickstoffs in der trophogenen Schicht wurden tägliche Erneuerungskoeffizienten von 0,08–0,19 für die Horwer Bucht und 0,05–0,37 für den Rotsee ermittelt (Tab. 23, 24 und 35).

In der Horwer Bucht schwankte das N:P-Gewichtsverhältnis im partikulären Material sowohl jahreszeitlich als auch im Tiefenprofil. Während der Stagnationsperiode lag in den Tiefenstufen 0–10 m das mittlere Verhältnis bei 10,5, in den Tiefenstufen 15–35 m bei 7,1 und in 45–60 m bei 5,6. Ein hohes Gewichtsverhältnis (bis zu 22:1) wurde jeweils in jenen Tiefenstufen festgestellt, in denen *Oscillatoria rubescens* eingeschichtet war (Abb. 19, 20 und 21).

In der trophogenen Schicht des Rotsees betrug das N:P-Gewichtsverhältnis während des Jahres $8,5 \pm 3,5$.

Im Vierwaldstättersee wurde mit durchsichtigen Plastikzylindern (sogenannte Nährstofftestzellen) von 1400 l Volumen, die in 2,5 m Tiefe versenkt wurden, der Einfluss der Nitratdüngung (Zugabe von NaNO_3 p.A. Merck) geprüft. Es wurde eine Steigerung der mittleren Photosyntheseaktivität erreicht (6–34%); verglichen mit der starken Produktionssteigerung bei Phosphorzugabe ist der Effekt der Nitratdüngung gering. Eine Steigerung des partikulären Stickstoffs in den Nährstofftestzellen konnte nur nach der Phosphatdüngung erreicht werden (Tab. 27 bis 32).

Da die internen Zufuhren (epilimnische N-Zehrung) und die externen Zufuhren (N-Belastung) nicht ausreichen, um die gemessene Primärproduktion aufrechtzuerhalten, und da mit den Sedimentationsmessungen ebenfalls nur ein geringer Anteil der Primärproduktion erfasst werden konnte, wird ein kurzgeschlossener

Kreislauf (intrabiocoenotisch) postuliert, der der N-Sedimentation entgegenwirkt und im Epilimnion Stickstoff regeneriert.

Die Untersuchungen im Vierwaldstättersee zeigen, dass von den Nährstoffen C, N, P Phosphor am meisten limitierend wirkt. Während der kurzen herbsthlichen Minima an anorganischem Stickstoff können auch N-Fixationen durch Blaualgen stattfinden (Tab. 34).

Um die Eutrophierung des Vierwaldstättersees zu verlangsamen, wird auf Grund der vorliegenden Untersuchung empfohlen, durch geeignete Massnahmen zuerst einmal die P-Zufuhren ins Epilimnion zu erniedrigen.

Werden einmal alle Siedlungsabwässer vom Rotsee ferngehalten, dann wird er auf Grund verschiedener Parameter, wie hohe Nährstoffkonzentration im Frühjahr, geringe mittlere Tiefe, kleine Erneuerungszeit, ein eutrophes Gewässer bleiben. Je nach der Qualität, die man an das Wasser des Rotsees stellt, müssen noch andere Massnahmen in Betracht gezogen werden, die eine schnellere Erneuerung vor allem der hypolimnischen Wassermassen ermöglichen.

SUMMARY

In 1969/70 the physical (temperature, under water light field), chemical (nitrogen and phosphorus components, oxygen, sulphide, alkalinity) and biological (measurement of the primary production with the ^{14}C -technique, sedimentation from the trophic layers, plankton analyses) properties of the mesotrophic Lake of Lucerne (Horw Bay) and the highly eutrophic Rotsee were investigated.

Special studies were carried out on the seasonal distribution of NO_3 , NO_2 , NH_4 , and particulate and soluble organic nitrogen in the different depths of the two lakes.

A micro-Kjeldahl method for the determination of particulate organic nitrogen in lake water is described. The water samples are filtered on glass fibre filters (GF/C Whatman, 55 mm) covered with a layer of magnesium carbonate (Magnesiumhydroxidcarbonate p. A. Merck). With the method proposed, the influence of nitrates on the determination of organic nitrogen is eliminated. The precision of the method filtering 200 ml lake water at the $50 \mu\text{g N/l}$ level is $s = \pm 10 \mu\text{g N/l}$. The method enables the particulate nitrogen content of oligotrophic lake water samples to be determined.

In the Horw Bay the main inorganic N component during the whole year is NO_3 ; in the Rotsee ammonia is predominant owing to anaerobic conditions in the hypolimnion. Towards autumn the two lakes showed a depletion of inorganic N compounds in the layers with high productivity. At the end of the stagnation period the increase of NO_3 was $3.7 \text{ g NO}_3\text{-N/m}^2$ in the hypolimnion (15–60 m) of the Horw Bay; in the Rotsee the hypolimnic increase of ammonia was $24 \text{ g NH}_4\text{-N/m}^2$ (5–14 m) (Tables 12, 13, 14; illustrations 10, 11, 12, 13 and 14).

The concentrations of particulate N in the epilimnion (0–15 m) of the Horw Bay varied from 30 to $420 \mu\text{g N/l}$, in the Rotsee from 130 to $3400 \mu\text{g N/l}$, but contrary to the Horw Bay the hypolimnic content of particulate N was always high. In the Rotsee a great standing crop (particulate N/m^2) was measured under ice in January/February and after it had thawed in March/April. In the Horw Bay the standing crop was great in May/July and August/September (Tables 17 and 20, illustrations 15 and 16).

Dissolved organic Kjeldahl-N concentrations varied in the epilimnion of the Horw Bay from 20 to $210 \mu\text{g N/l}$, the content per unit area for the entire trophogenic zone being $1.00\text{--}2.36 \text{ g N/m}^2$. In the Rotsee concentrations of $150\text{--}880 \mu\text{g}$ of soluble organic N/l were measured; the content per unit area was $1.27\text{--}2.87 \text{ g N/m}^2$ (Tables 18, 19 and 20).

The highest photosynthetic rate obtained in the Horw Bay was $63 \text{ mg C}_{\text{ass}}/\text{m}^3 \cdot \text{hour}$ and in the Rotsee $287 \text{ mg C}_{\text{ass}}/\text{m}^3 \cdot \text{hour}$. The specific growth rate (production biomass quotient) was calculated on the basis of the daily primary production rate and the particulate nitrogen per unit area for the entire trophogenic zone. The specific growth rate varied in the Horw Bay from 0.08 to 0.19 and in the Rotsee from 0.05 to 0.37 (Tables 23, 24 and 35).

In the Horw Bay the N:P weight ratio in the particulate material differs not only during the course of the year but also in the different depths. During the stagnation period the average ratio was 10.5 in 0–10 m, 7.1 in 15–35 m and 5.6 in 45–60 m. Very high N:P ratios (22:1) were measured in those depths where *Oscillatoria rubescens* was interstratified. The average ratio during the year was 8.5 ± 3.5 (0–5 m) in the Rotsee (illustrations 19, 20 and 21).

The fertilizing influence of nitrates (NaNO_3 , p.A. Merck) on the phytoplankton production was tested with plastic containers (1,400 l volume) which were exposed in situ in 2.5 m in the Lake of Lucerne. The average increase in photosynthetic rates was insignificant (6–34%) compared with the high increase effected by the addition of phosphates. The concentrations of particulate nitrogen in the plastic containers could only be raised by means of phosphate fertilization (Tables 27 to 32).

During the stagnation period (April to October) in the Horw Bay the N-Sedimentation rates were 8–34 mg N/m² · day and in the Rotsee 32–397 mg N/m² · day. Measurements have shown that in the Horw Bay approximately 1–2% and in the Rotsee 2–37% of the particulate N settles each day, disappearing from the trophogenic layers (Table 35, illustrations 17 and 18).

Because internal supplies (epilimnic N consumption) and external imports (N loading) are not sufficient to maintain the primary production during the stagnation period measured and because sedimentation measurements can determine only a small fraction of the primary production, an intrabiocoenotic cycle is postulated which regenerates nitrogen within the trophic layer.

The investigations in the Lake of Lucerne revealed that, regarding the nutrients C, N, P, phosphorus is the most limiting factor. When inorganic nitrogen is at its lowest level N-fixation by blue-green algae must also be taken in consideration (Table 34).

In conclusion, corrective measures should be taken as a first step to limit the phosphorus supplies in the trophogenic layers.

Even if all domestic sewage were kept away from the Rotsee, this lake would still be eutrophic as can be seen in the light of several parameters (high nutrient concentrations in spring, small rate of water renewal especially in the hypolimnic layers). Depending on the water quality desired, other measures have to be examined, which above all enable a better rate of water renewal.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] ALSTERBERG, G., *Die Winklersche Bestimmungsmethode für in Wasser gelösten, elementaren Sauerstoff sowie ihre Anwendung bei Anwesenheit oxydierbarer Substanzen*, Biochem. Z., S. 170 (1926).
- [2] AMBÜHL, H., *Die praktische Anwendung der elektrochemischen Sauerstoffbestimmung im Wasser*, Schweiz. Z. Hydrol. 22, 23–39 (1960).
- [3] AMBÜHL, H., *Die Nährstoffzufuhr zum Hallwilersee*, Schweiz. Z. Hydrol. 22, 563–597 (1960).
- [4] AMBÜHL, H., *Der Einfluss chemischer Düngung auf stehende Oberflächengewässer*, Wass. Abwass. GWF 107/14, 336–363 (1966).
- [5] AMBÜHL, H., *Die neueste Entwicklung des Vierwaldstättersees (Lake of Lucerne)*, Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol. 17, 219–230 (1969).
- [6] AMBÜHL, H., und SCHMID, M., *Bestimmung geringster Mengen von Phosphation im Wasser von Binnenseen*, Schweiz. Z. Hydrol. 27, 172–183 (1965).
- [7] AMSTRONG, F. A., und TIBBITTS, S., *Photochemical Combustion of Organic Matter in Sea Water, for Nitrogen, Phosphorus and Carbon Determination*, J. mar. biol. Ass. U. K. 48, 143–152 (1968).
- [8] BACHOFEN, R., *Stoffhaushalt und Sedimentation im Baldegger- und Hallwilersee*, Diss., Juris-Verlag Zürich, S. 1–118 (1960).
- [9] BARSDATE, R. J., und DUGDALE, R. C., *Rapid Conversion of Organic N to N₂ for Mass Spectrometry: An Automated Dumas Procedure*, Analyt. Biochem. 13, 1–5 (1965).
- [10] BILLAUD, V. A., *Nitrogen Fixation and the Utilization of Other Inorganic Nitrogen Sources in a Subarctic Lake*, J. Fish. Res. Bd. Can. 25, 2101–2110 (1968).
- [11] BLOESCH, J., Diss., EAWAG Zürich, in Vorbereitung.
- [12] BRINGMANN, G., und KÜHN, R., *Nitrat und Phosphat als Begrenzungsfaktor des Algenwachstumtests*, Gesundheit-Ingenieur 86, 210–214 (1965).
- [13] CAIN, B. J., *Nitrogen Utilization in 38 Fresh-Water Chlamydomonad Algae*, Can. J. Bot. 43, 1367–1378 (1965).