

Diss. ETH Nr. 8371

**Abbau von planktischem Detritus in den Sedimenten voralpiner Seen:
Dynamik der beteiligten Mikroorganismen und Kinetik des
biokatalysierten Phosphoraustausches.**

ABHANDLUNG

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der Naturwissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH


vorgelegt von

Endre Laczkó
dipl. sc. nat. ETH
geboren am 6. Dezember 1957
von Luzern

Angenommen
auf Antrag von

Prof. Dr. G. Hamer, Referent
Prof. Dr. H. Ambühl, Coreferent

1988



KURZFASSUNG

Die Zugabe von natürlichem Detritus aus dem Vierwaldstätter- und Zugersee, sowie von gezüchteten Kieselalgen, auf die Oberfläche von Sedimentkernen aus den genannten Seen, in Mengen, die einer natürlichen Sedimentationsrate in meso- bis eutrophen Seen entspricht, erhöhte die Aktivität und den Bestand der Sedimentmikroorganismen.

Es wurde durch Felduntersuchungen in der mesotrophen Hornerbucht (Vierwaldstättersee) gezeigt, dass die jahreszeitlich schwankende Qualität und Menge des auf die Sedimentoberfläche abgelagerten Detritus eine entsprechende Veränderung der Sedimentorganismen der obersten Sedimentlagen (0 - 3 cm) in situ bewirkt.

Aus den Laborexperimenten mit Sedimentkernen wurde abgeleitet, dass der mikrobielle Abbau von Detritus oder von gezüchteten Kieselalgen an der Sedimentoberfläche in jedem Fall die Mineralisation von Kohlenstoff bewirkt, aber nicht in jedem Fall die gleichzeitige Mineralisation des detritalen Phosphors. Die teilweise beobachtete Immobilisierung von Phosphat in der Folge des Detritusabbaus, liess sich nur als Einbau in Bakterienbiomasse deuten.

In den Sedimenten der Hornerbucht liessen sich die Bestandsschwankungen der Sedimentbakterien mit dem Phosphorgehalt der oberflächensedimente (0 - 3 cm) korrelieren. Es liess sich zeigen, dass die Bakterien in dieser Schicht während der Vegetationsperiode den gesamten Phosphoreintrag in diese Schicht immobilisieren können. Unterhalb von 3 cm Sedimenttiefe findet im wesentlichen ein stetiger Nettozerfall der Bakterien und eine Mobilisierung des gebundenen Phosphors statt.

Die beobachtete Dynamik der Sedimentfeststoffe, der Porenwasserkonzentrationen und der Sedimentorganismen in den Sedimenten der Hornerbucht wurden miteinander verglichen und mit Hilfe eines Modells in einen funktionellen Zusammenhang gestellt. Um diese Zusammenhänge zu überprüfen, wurde ein experimentelles Sedimentmodell, ein Gradostat, konstruiert. Die Abbau- und Prozessstudien in diesem experimentellem System zeigten in qualitativer, d. h. funktioneller Hinsicht eine gute Übereinstimmung zwischen Sediment und Gradostat.

Um die Versuche mit dem Gradostat zu analysieren und zu simulieren, wurde ein mathematisches Modell und ein Computerprogramm entworfen. Das Modell stellt den quantitativen Zusammenhang zwischen der Stoffverteilung, bzw. chem. Spezierung und der mikrobiellen Aktivität für die Elemente C, N, P und S her. Die Resultate der ausgeführten Computersimulationen zeigten die Verwendbarkeit und die Grenzen des Modells auf.

Aus den Resultaten der gesamten Arbeit wurde geschlossen, dass die Bakterien der oberflächensedimente bei konstanter Detrituszufuhr (während der Vegetationsperiode) Phosphat immobilisieren. Die Remobilisierung des bakteriellen Phosphors bewirken die Bakterienfresser (hauptsächlich Protozoen). Bei abnehmendem Energie- (Elektronendonoren und -akzeptoren) und/oder Substratangebot (C-Quelle) findet ebenfalls eine Remobilisierung des bakteriellen Phosphors statt, allerdings mit einer 20 mal kleineren Rate. Durch den Einbau des Phosphors in bakterielle Biomasse, wird dieses wichtige Bioelement im biologischen Kreislauf gehalten. Das heisst, die Bakterien verhindern

den übermäßigen Verlust von Phosphor aus dem Sediment und machen den Phosphor gleichzeitig verfügbar für andere Organismen. Die komplexe Struktur der Bakterienpopulation im Sediment erlaubt es den Bakterien diese "Pufferfunktion" unter allen Bedingungen im See aufrechtzuerhalten. Sie haben daher für den Phosphorhaushalt eines Sedimentes eine wesentliche Bedeutung. Der Austausch von Phosphor zwischen dem oberflächensediment und dem Wasser kann deshalb nur unter Berücksichtigung der Populationsdynamik der Sedimentbakterien verstanden werden.

ABSTRACT

Natural detritus, collected from the hypolimnions of Lake Lucerne and Lake Zug, and cultivated diatoms were added to the surface of isolated sediment cores taken from these lakes. Upon such additions, which simulated the natural sedimentation in mesotrophic and eutrophic lakes, the activity and the standing crop of the sediment bacteria increased.

Examination of in situ bacterial standing crop in sediments of the mesotrophic Horwerbuch (Lake Lucerne) at 64 m water depth revealed, that seasonal variation in the composition and in the deposition rate of lake detritus affects the bacteria in the top sediment layer (0 to 3 cm) in a similar way.

It was concluded from experiments with isolated sediment cores, that decomposition of lake detritus at the sediment surface leads to the mineralisation of detrital carbon, but not necessarily to the comineralisation of detrital phosphorus. In some cases immobilisation of phosphate occurred during decomposition of detritus and it is argued, that the responsible mechanism for the immobilisation is phosphate uptake by growing bacteria in the sediment.

The observed variations of in situ bacterial standing crop in the top layer (0 to 3 cm) of Horwerbuch sediments correlated with particulate phosphorus. It was demonstrated, that during the vegetation period (April to October), the bacteria are able to store the entire phosphorus flow into this layer. Below 3 cm, no dynamics are detected. It can be concluded that the net decay of bacterial biomass and continuous mobilisation of previously bound phosphorus takes place.

The observed dynamics of particulate matter changes, porewater concentrations and the sediment biota in the Horwerbuch sediments were correlated. A qualitative model of their functional interdependences was developed. In order to test this model an experimental sediment model, a gradostat was constructed. It was found, that the gradostat provides a suitable experimental model for the investigation of sediment microorganism activity. The characteristics of detritus decomposition and the microorganisms mediating decomposition in the gradostat resembled those found in nature.

In order to analyze and simulate the gradostat data, a numerical model and a simulation program were developed. The numerical model establishes a quantitative interdependence between distribution and chemical speciation of the elements under investigation (C, N, P and S) and the bacterial population dynamics. Comparison of computer simulations with experimental gradostat data showed the usefulness and the restrictions of the model. Most of the calculated parameters fit the experimental data within reasonable limits.

The results of this work indicate that bacteria at the sediment surface (sediment/water interface) immobilize phosphate during times of steady fresh detritus supply (vegetation period). In this phase, the remobilisation of bacterial phosphorus is due to grazing on bacteria by bacterivorous organisms (mainly protozoa). Partial or complete depletion of energy sources (electron donors and electron acceptors) and / or substrates (carbon and nutrient sources) also induces remobilisation of bacterial phosphorus, but at a rate, which is ten to

twenty times lower than the rate due to grazing. As a result of bacterial phosphate incorporation, phosphorus, the limiting element in most aquatic habitats, is retained in the biological cycle. This means, that sediment bacteria prevent an excessive phosphate loss from their habitat and, at the same time, keep phosphorus available to other organisms in the detrital food web. The complex structure of the bacterial population in the top sediment layer permits the operation of this bacterial "buffering function" under all circumstances in lakes. Therefore, bacteria have an important impact on the phosphorus content of sediments. The results of the present study show, that the exchange of phosphate between particulate matter and porewater as well as the sediments and the water column can be understood only, if the bacterial population dynamics in the top sediment layer is taken into account.