

Jber. Abt. Limnol. Innsbruck 4: 109 - 118 (1978)

II. Ökosystemstudie Vorderer Finstertaler See

1. Beeinflussung der Bakterienflora des Vorderen Finstertaler Sees durch künstliche Düngung (G. TAUTERMANN)

1) Einleitung und Fragestellung

Vom Juli bis September 1974 wurde das Pelagial des VFS mit Phosphat gedüngt. Dieses Experiment sollte Information über den relativ tiefen Phytoplankton-Biomasse-Schwerpunkt während der eisfreien Periode liefern (WITT, 1975, 1977).

Eine bakteriologische Untersuchung der Auswirkungen dieses Versuches bot sich vor allem aus folgenden Gründen an: von TILZER (1972a, b) lagen Jahrgänge über Abundanz, Biomasse und Produktion des Bakterioplanktons vor. Außerdem fiel der Düngeversuch zeitlich mit der Endphase einer Dissertation über benthische Bakterien des VFS zusammen (TAUTERMANN, 1977). Einerseits sollte die Reaktion der pelagischen Bakterienflora auf die Düngung und andererseits sollten mögliche Auswirkungen auf die benthischen Bakterien untersucht werden. Da eine Zunahme autochthon gebildeter Detritus-Komplexe zu erwarten war, stellte sich die Frage nach der Verweildauer dieser Partikel im Pelagial, ihrer Größenentwicklung und Absinkgeschwindigkeit. Allgemein sollte die Möglichkeit einer Steuerung der benthischen Produktionsketten durch die pelagischen Biozöosen überprüft werden.

2) Methoden

Um eine Vergleichbarkeit mit den anderen Arbeiten zu ermöglichen, wurden die Bakterien mittels der Membranfilter-Methode gezählt. Zur Biomassebestimmung wurden vier Größenklassen ermittelt und getrennt ausgezählt. Die Bakterien wiesen in den drei unterschiedenen Lebensräumen: Pelagial, Sedimentoberfläche (oberste 2,5 mm) und in Mischproben über die obersten 5 cm des Sedimentes verschiedene Größen auf (Tab. 1.-1). Für jede Größenklasse wurden jeweils etwa 60 bis 90 Bakterien vermessen, und für jedes vermessene Bakterium das Volumen berechnet. Die Durchschnittsvolumina und die gefundenen Vertrauensgrenzen bei 95% C.L. gingen in die Rechnung ein.

Tab. 1.-1 Volumina der einzelnen Größenklassen für die unterschiedenen Lebensräume:

	Kokken I	Kokken II	Stäbchen I	Stäbchen II
Pelagial	0,06728	2,48697	0,19679	2,17617
Sediment-Oberfläche	0,04638	1,71741	0,07557	3,72677
5cm-Schicht	0,09568	0,95560	0,85064	3,42442

Die Daten der 5cm-Schicht wurden aus der Dissertation über benthische Bakterien (TAUTERMANN, 1977) übernommen.

Im Zeitraum vom 74-02-20. bis 75-02-05. wurden 11 Probenerserien pelagischer Bakterien entnommen. Als Sammelgerät diente ein 2-Liter Ruttner-Schöpfer. Normalerweise wurde an der tiefsten Stelle des VFS parallel zu den Algen-Proben (WITT 1977) entnommen. Die horizontale Verteilung der Bakterien über den See wurde mehrmals untersucht. In den Zeitraum des Düngeversuches fielen 8 Probenerserien (je 20 Stellen) der Arbeit über benthische Bakterien (5 cm Sedimenttiefe). Dazu wurde die oberflächliche Sedimentschicht (2-3 mm) von 6 Probenerserien (durchschnittlich je 9 Stellen) untersucht. Die Probenentnahme im Benthos erfolgte mittels eines modifizierten Kajak-Samplers und verschiedener subsampling-Einrichtungen.

Die organischen Partikel (Detritus-Komplexe) waren auf den Membranfiltern gut zu erkennen und auch in genügender Anzahl vorhanden, wie statistische Tests ergaben. Sie wurden mit Hilfe des Zeichengerätes zum WILD-Mikroskop M-20 gezeichnet. Die Fläche der Partikel wurde planimetrisch bestimmt. Zur Volumsberechnung wurden für jeden der getrennt ausgewerteten Lebensräume (Pelagial, Sedimentoberfläche und 5-cm-Schicht) von etwa 200 bis 300 Partikeln die Schichtdicke gemessen. Aus den Verhältnissen Partikeloberfläche zu Schichtdicke ließen sich kurvilineare Regressionen ableiten. Als Volumen der Partikel wurde das Produkt aus Oberfläche mal Schichtdicke definiert. Die mit Sicherheit anzunehmende Volumsschrumpfung der Partikel, resultierend aus der Behandlung der Filter (Färben, Trocknen, Einbetten) konnte nicht festgestellt werden. Der Schrumpfungsfaktor dürfte aber in derselben Größenordnung wie der für Bakterien liegen, also zwischen 2 und 3 (TAUTERMANN 1977). Die angegebenen Volumina für Partikel müssen daher als unterestimierend angesehen werden.

3) Ergebnisse und Diskussion

a) Pelagial

Um die Daten für die pelagischen Bakterien mit denen von TILZER (1972) vergleichbar zu machen, andererseits aber auch, um eine bessere Gegenüberstellung mit den Phytoplanktondaten zu ermöglichen, wurden die Bakteriendaten für den durchschnittlichen m^3 , gewichtet über den Gesamtsee angegeben (Tab. 1.-2 Abb. 1.-1, 1.-2). Es sei jedoch ausdrücklich betont, daß diese Daten keinerlei Aussage über den Gesamtsee zulassen. Wie schon aus Horizontalverteilungsversuchen unter der Winterdecke (74-02-20) hervorgeht, liegen die Abweichungen in den einzelnen horizontalen Schichten zwischen 50 und 500%. Während der Düngung liegen sie entsprechend höher und erreichen des öfteren 700 - 800%. Zieht man des weiteren die Zählfehler am Membranfilter in Betracht, die sich durch die hohe Überverteilung der Bakterien ergeben (Vertrauensgrenzen der Zählung 15 bis 36% \pm Mittelwert), so könnte nur eine Methode, aufbauend auf das "stratified random sampling" zum Ziele führen.

Tab. 1.-2 Bakterienbiomassen für den durchschnittlichen m^3 pro Gesamtsee, in $mg. m^{-3}$, gewichtete Mittel

74-02-20:	122,3	74-07-24:	257,6	74-11-05:	581,8
74-03-21:	121,3	74-08-01:	495,5	74-12-11:	683,1
74-04-09:	180,9	74-08-14:	640,7	75-02-05:	619,3
74-07-12:	148,7	74-09-28:	1156,9	75-03-01:	355,2

Während die Biomassedaten bis Juli noch sehr gut mit den von TILZER beobachteten Werten übereinstimmen, zeigt sich ab August eine rapide Erhöhung der Bakterienzahlen. Das Maximum wird im September erreicht (Abb. 1.-1, 1.-2). TILZER (1972 a,b) stellt eine Verzögerung der Bakterienentwicklung gegenüber der des Phytoplanktons um etwa 4 - 6 Wochen fest. Der Biomasseabfall im Herbst erfolgt etwa synchron mit dem Rückgang der Algenbiomasse. Während des Düngerversuches ist es genau umgekehrt. Der Anstieg der Bakterienbiomasse ist gegenüber dem der Algen nur um etwa 7 bis 10 Tage verzögert. Der Biomasserückgang der Bakterien ist erst einen Monat nach dem Zusammenbrechen des Phytoplankton-Maximums festzustellen (Abb.1.-3). Die Bakterien weisen aber noch Anfang März eine Biomasse von über $350 mg.m^{-3}$ auf, was in den früheren Jahren nicht der Fall war. Auch eine

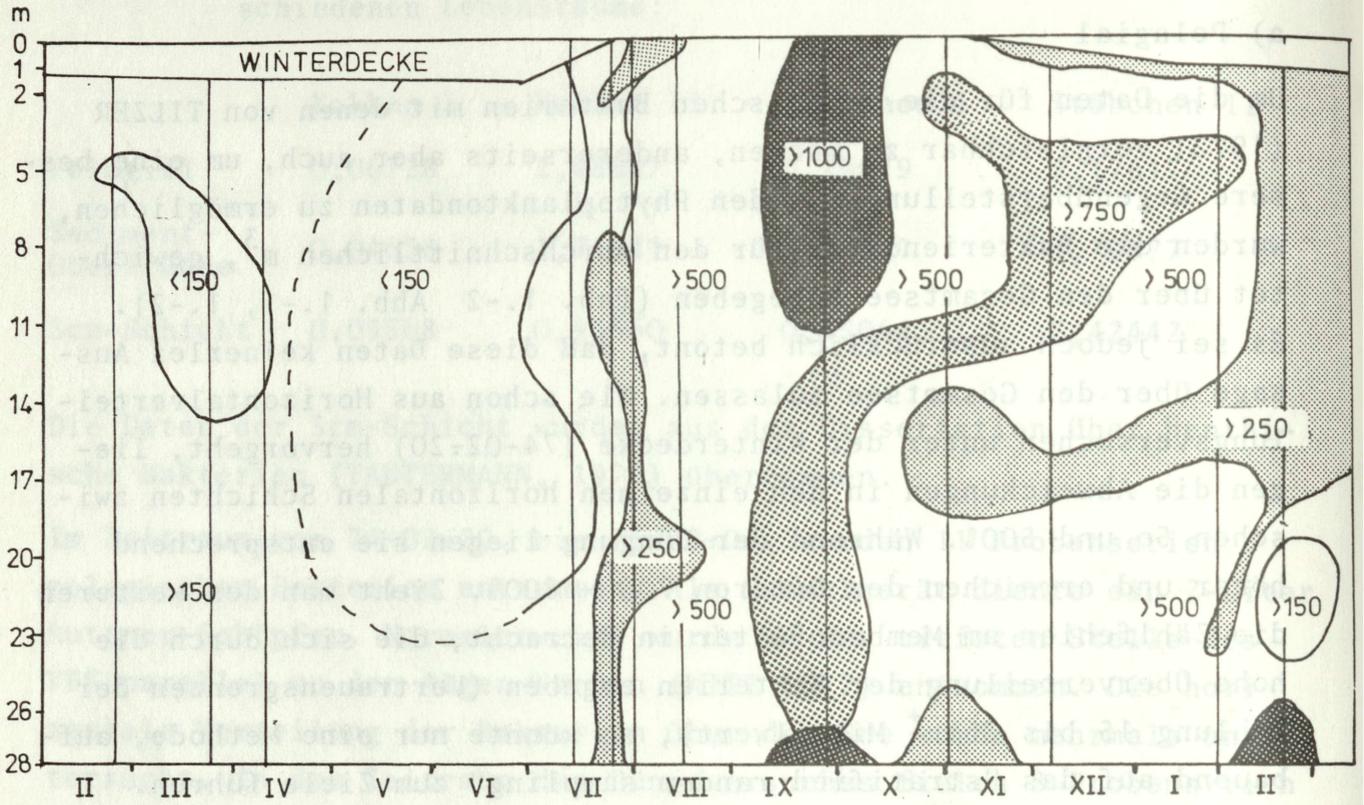


Abb.: 1.-1

Bakterienbiomasse in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ während des Düngerversuches - 1974/75

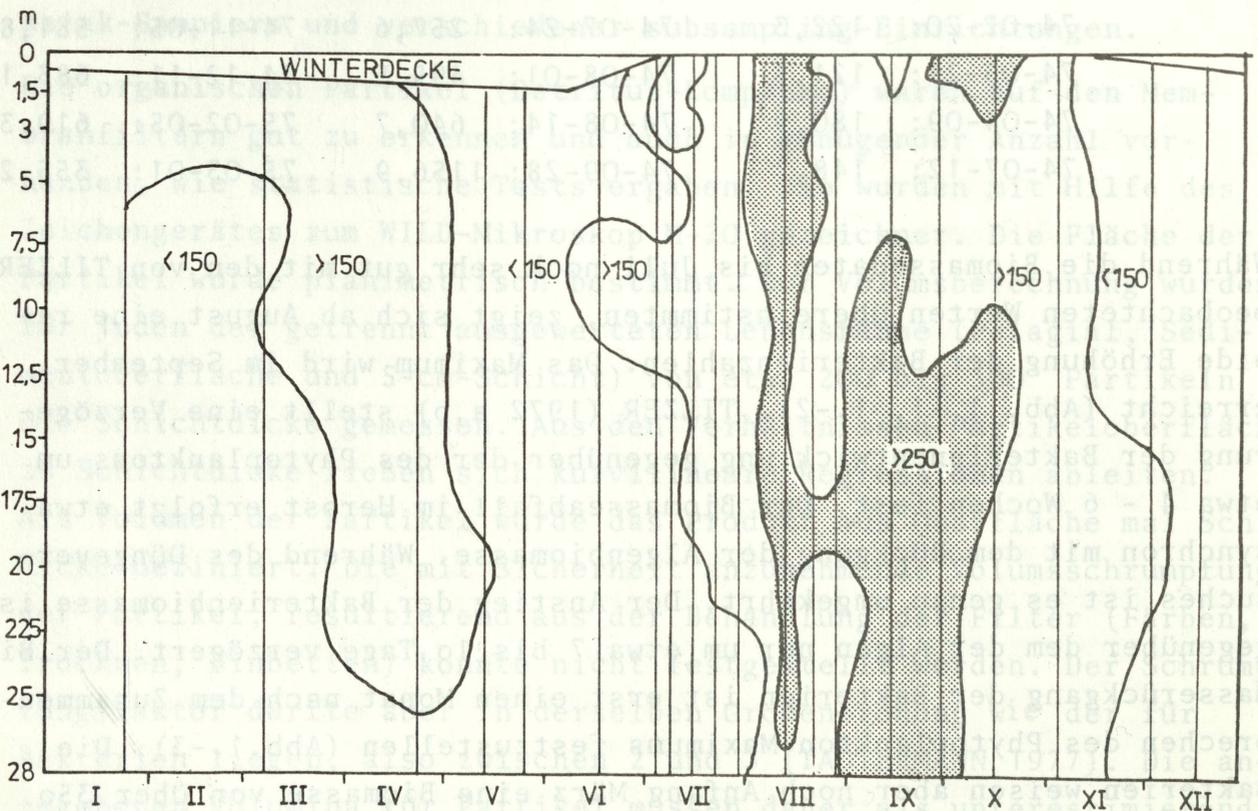


Abb.: 1.-2

Bakterienbiomasse in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ im Jahre 1970, nach TILZER (1972a)

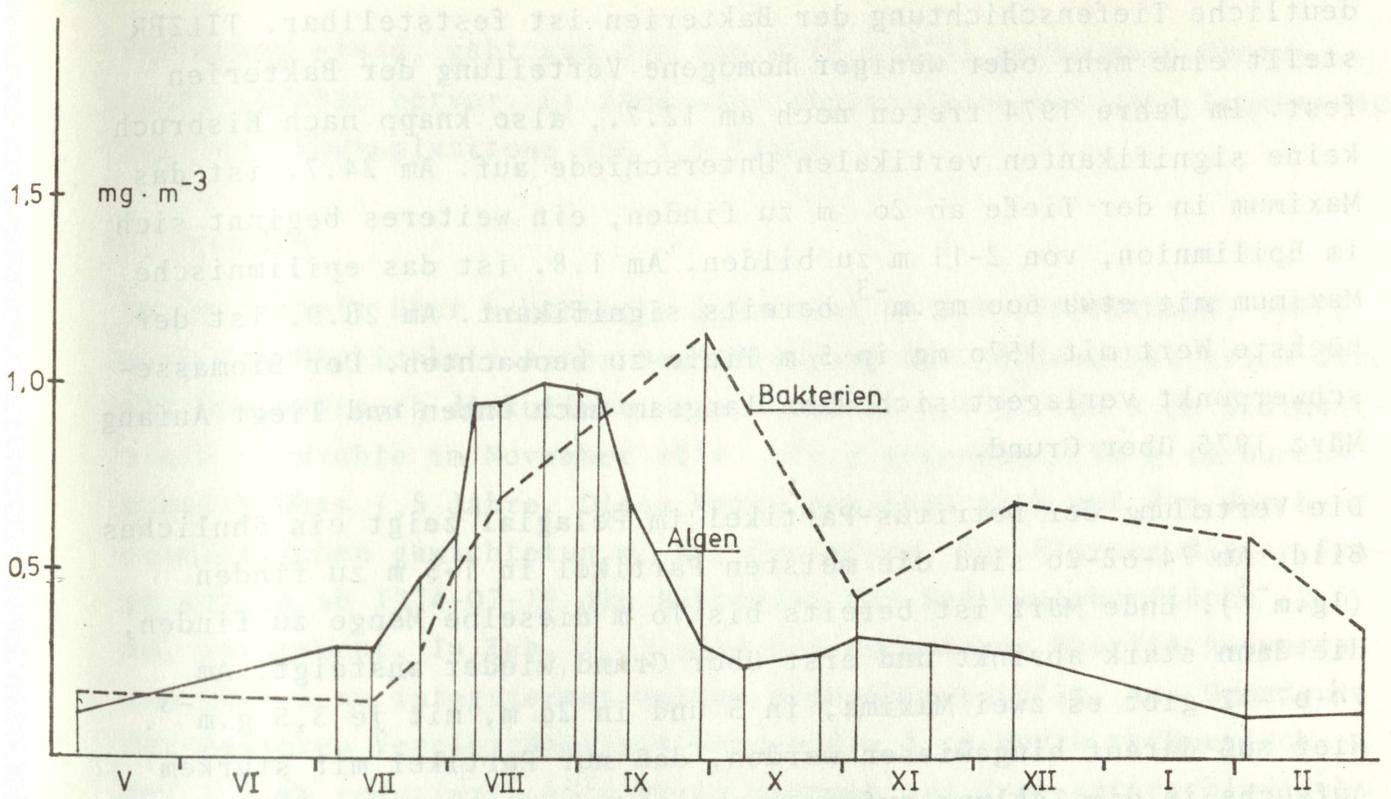


Abb.: 1.-3

Vergleich zwischen Algen und Bakterien-Biomasse während des Düngerversuches. Algenaten nach WITT (1977).

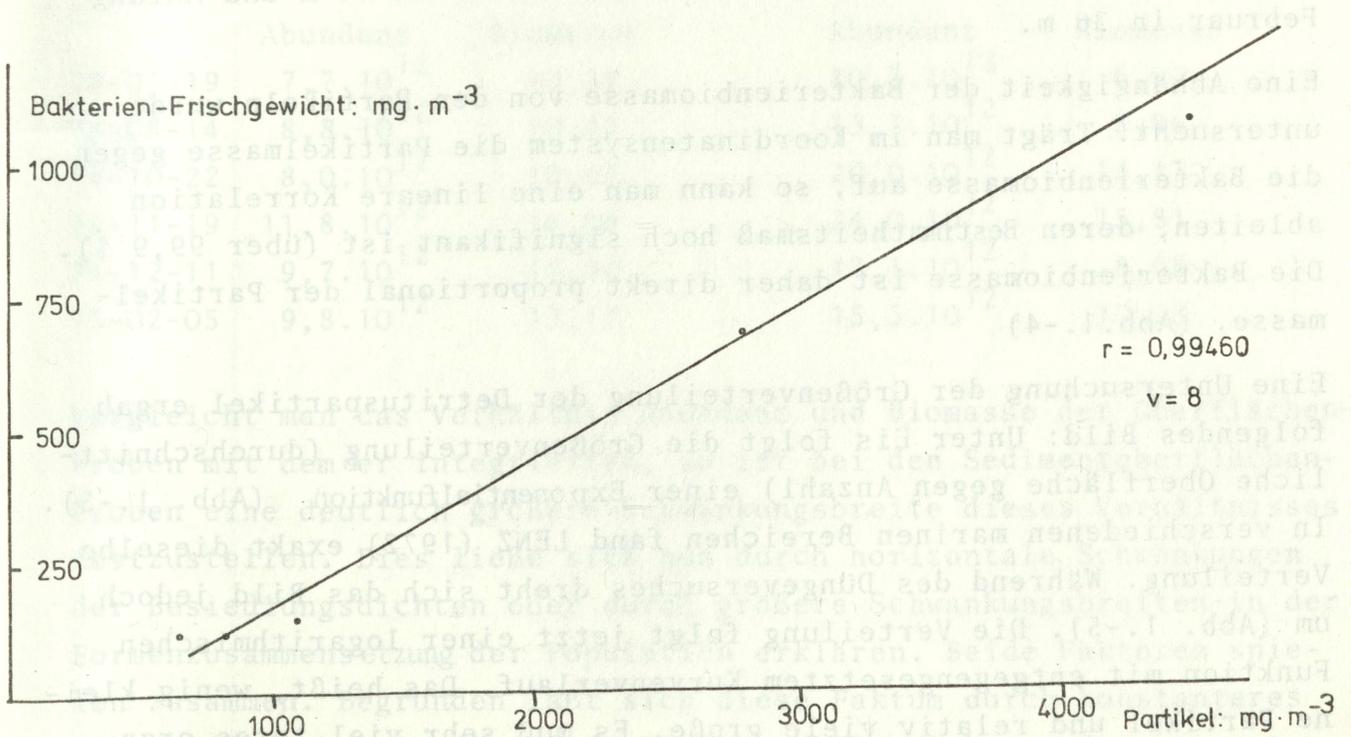


Abb.: 1.-4

Regression zwischen Bakterien-Frischgewicht und Partikelgewicht

deutliche Tiefenschichtung der Bakterien ist feststellbar. TILZER stellt eine mehr oder weniger homogene Verteilung der Bakterien fest. Im Jahre 1974 treten noch am 12.7., also knapp nach Eisbruch keine signifikanten vertikalen Unterschiede auf. Am 24.7. ist das Maximum in der Tiefe ab 20 m zu finden, ein weiteres beginnt sich im Epilimnion, von 2-11 m zu bilden. Am 1.8. ist das epilimnische Maximum mit etwa $600 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ bereits signifikant. Am 28.9. ist der höchste Wert mit 1570 mg in 5 m Tiefe zu beobachten. Der Biomassenschwerpunkt verlagert sich dann langsam nach unten und liegt Anfang März 1975 über Grund.

Die Verteilung der Detritus-Partikel im Pelagial zeigt ein ähnliches Bild. Am 74-02-20 sind die meisten Partikel in 1-5 m zu finden ($1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$). Ende März ist bereits bis 10 m dieselbe Menge zu finden, die dann stark absinkt und erst über Grund wieder ansteigt. Am 74-07-12 gibt es zwei Maxima, in 5 und in 20 m, mit je $3,5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$. Hier muß darauf hingewiesen werden, daß nur Partikel mit starkem Aufwuchs in die Zählung aufgenommen wurden. Gletscherschluff, der um diese Zeit in den See gelangt, konnte auf den Filtern kaum festgestellt werden. Am 28. 9. wird der höchste Wert, mit $7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ in 5 m Tiefe gefunden, wo auch die höchste Biomasse während des Düngerversuches zum selben Zeitpunkt zu finden war. Die Hauptmasse der Partikel sinkt dann langsam ab, ist am 11. 12. in 14 m und Anfang Februar in 26 m.

Eine Abhängigkeit der Bakterienbiomasse von den Partikeln wurde untersucht. Trägt man im Koordinatensystem die Partikelmasse gegen die Bakterienbiomasse auf, so kann man eine lineare Korrelation ableiten, deren Bestimmtheitsmaß hoch signifikant ist (über 99,9 %). Die Bakterienbiomasse ist daher direkt proportional der Partikelmasse. (Abb.1.-4)

Eine Untersuchung der Größenverteilung der Detrituspartikel ergab folgendes Bild: Unter Eis folgt die Größenverteilung (durchschnittliche Oberfläche gegen Anzahl) einer Exponentialfunktion (Abb. 1.-5). In verschiedenen marinen Bereichen fand LENZ (1972) exakt dieselbe Verteilung. Während des Düngerversuches dreht sich das Bild jedoch um (Abb. 1.-5). Die Verteilung folgt jetzt einer logarithmischen Funktion mit entgegengesetztem Kurvenverlauf. Das heißt, wenig kleine Partikel und relativ viele große. Es muß sehr viel totes organisches Material zur Verfügung gestanden sein, welches so schnell nachgeliefert wurde, daß es die mikrobielle Zerkleinerung der Partikel maskierte. Ebenso können natürlich Kondensierungseffekte eine Rolle gespielt haben. Daß sehr viel totes organisches Material zur

Verfügung stand, geht aus den von WITT (1977) gemessenen Photosyntheseraten hervor. Er fand eine theoretische maximale Erneuerungszeit des Phytoplanktons von 1,9 Tagen.

b) Benthos

In der Arbeit über benthische Bakterien im VFS (TAUTERMANN, 1977) wird die Möglichkeit einer Beeinflussung der Sedimentbakterien durch den Düngeversuch diskutiert. Die Biomasse pro m^2 und 5 cm Sedimenttiefe erreichte im November 1974 316 g gegenüber 152 g im Durchschnitt über 1,5 Jahre. Diese Werte beziehen sich auf den durchschnittlichen gewichteten m^2 pro Gesamtsee. Zur Klärung dieser Frage wurden ab 1974-07-19 die Bakterien der Sedimentoberfläche (2,5 mm) untersucht. In Tab. 1.-3 sind die gefundenen Oberflächenwerte den über 5 cm integrierten Werten gegenübergestellt. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit wurden die 5 cm-Werte rechnerisch auf 2,5 mm reduziert. Alle Werte stammen aus drei unterschiedlich besiedelten Sedimentbereichen und stellen gewichtete Mittel dar.

Tab. 1.-3: Werte pro m^2 , Biomasse in g
Sedimentoberfläche (2,5 mm tief) Intgr. Proben (5 cm, red. auf 2,5 mm)

	Abundanz	Biomasse	Abundanz	Biomasse
74-07-19	$7,7 \cdot 10^{12}$	10,54	$10,3 \cdot 10^{12}$	6,92
74-08-14	$8,8 \cdot 10^{12}$	10,42	$13,7 \cdot 10^{12}$	8,86
74-10-22	$8,0 \cdot 10^{12}$	10,63	$20,0 \cdot 10^{12}$	14,17
74-11-19	$11,8 \cdot 10^{12}$	16,06	$24,0 \cdot 10^{12}$	15,81
74-12-11	$9,7 \cdot 10^{12}$	13,50	$17,1 \cdot 10^{12}$	8,68
75-02-05	$9,8 \cdot 10^{12}$	13,17	$15,3 \cdot 10^{12}$	10,23

Vergleicht man das Verhältnis Abundanz und Biomasse der Oberflächenproben mit dem der integrierten, so ist bei den Sedimentoberflächenproben eine deutlich größere Schwankungsbreite dieses Verhältnisses festzustellen. Dies ließe sich nun durch horizontale Schwankungen der Besiedlungsdichten oder durch größere Schwankungsbreiten in der Formenzusammensetzung der Population erklären. Beide Faktoren spielen zusammen. Begründen läßt sich diese Faktum durch konstanteres Nährstoffangebot in der Tiefe. Weiters läßt sich aus dem genannten Verhältnis ein größeres Volumen der Oberflächen-Bakterien ableiten, was auch aus Tab. 1.-1 hervorgeht.

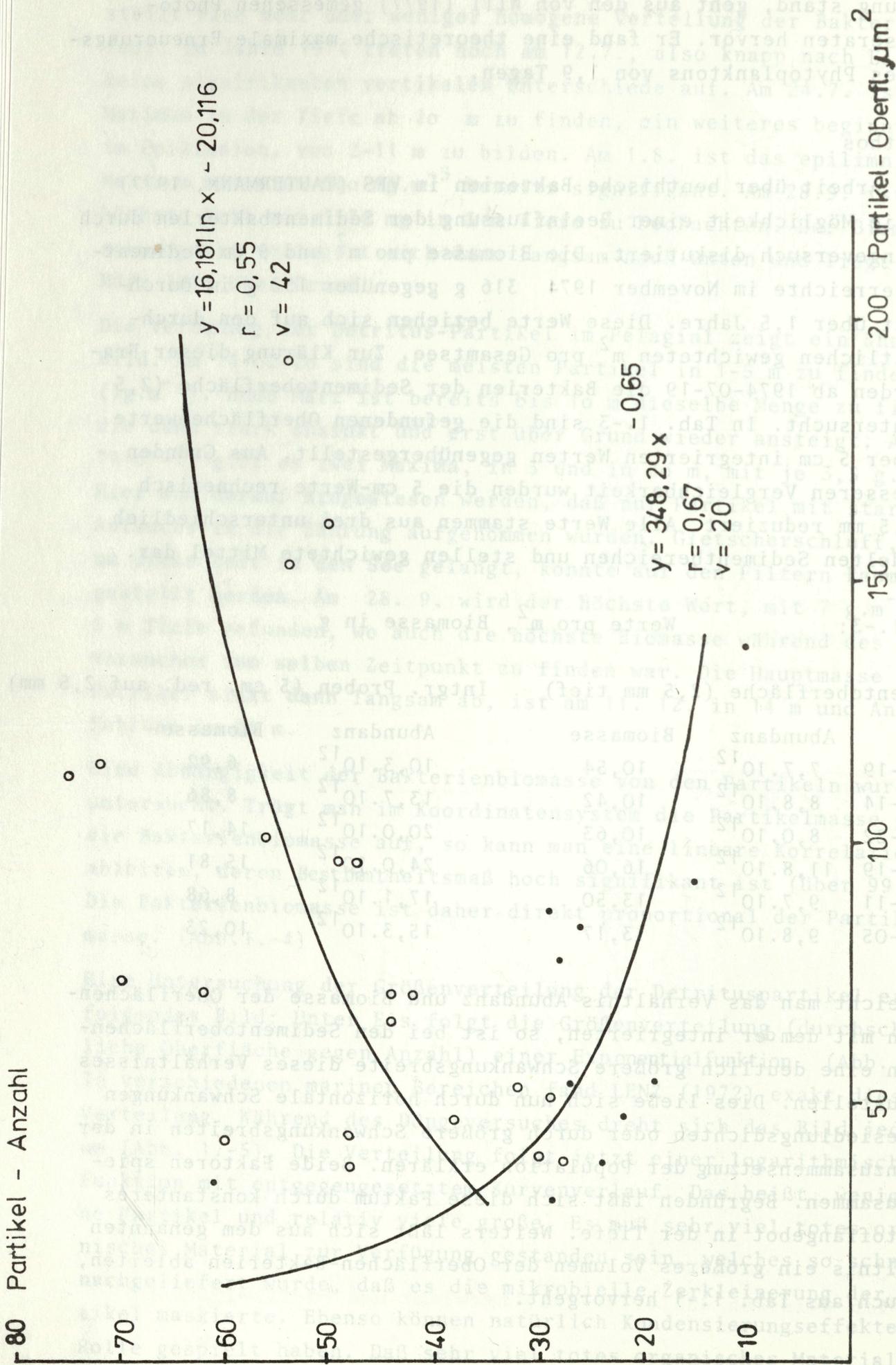


Abb.: 1.-5

Größenverteilung der Detrituspartikel: Anzahl gegen Oberfläche.

Die vollen Punkte sind Daten vor dem Düngerversuch, die leeren Kreise stellen Daten während des Düngerversuches dar.

Das Bakterienmaximum beider benthischer Lebensräume tritt zur selben Zeit auf. Da der zeitliche Probenabstand aber einen Monat beträgt, läßt sich nicht feststellen, ob dieses Maximum zuerst an der Oberfläche auftrat oder nicht. Eine ungeklärte Tatsache ist das relativ schnelle Eindringen von Nährstoffen in tiefere Sedimentschichten, führt man die Biomassezunahme in der Tiefe auf den Düngeversuch zurück. Eine Möglichkeit wäre das aktive Einmischen von Nährstoffen durch zoobenthische Organismen, bzw. durch die umstrittene Vertikalwanderung von Diatomeen im Sediment.

Die Zunahme der Abundanzen und Biomassen der Bakterien an der Sedimentoberfläche läßt sich eindeutig auf das Absinken von wesentlich vermehrt gebildeten Detrituspartikeln im Pelagial zurückführen, wie aus dem vorhergehenden Kapitel ersichtlich ist. Zieht man weiters in Betracht, daß zwischen partikulärer und gelöster Nährstoff-Fraktion ein Gleichgewichtszustand herrscht (z.B. SHELDON et al., 1967), so muß angenommen werden, daß auch gelöste Nährstoff-Komponenten in den Sediment-Bereich gelangten. Es ist anzunehmen, daß den Bakterien auf dem, bzw. im Sediment abbaubare C- und N-Verbindungen zur Verfügung gelangten, da PO_4 -P, und Ges.-P im Sediment im Überschuß vorhanden ist. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sehr vieles darauf hindeutet, daß die Zunahme der Bakterien im Sediment auf den Einfluß der Düngung zurückzuführen ist.

Zitierte Literatur:

- LENZ, J., 1972 : The size distribution of particles in marine detritus.-Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 29 Suppl.:17-35
- SHELDON, R.W., T.P.T. EVELYN and T.R. PARSONS, 1967: On the occurrence and formation of small particles in seawater.-
Limnol. Oceanogr., 12:367-375
- TAUTERMANN, G., 1977: Benthische Bakterien im Vorderen Finstertaler See (2237 m, Kühtal, Tirol),-Diss. Univ. Innsbruck, 103pp
- TILZER, M., 1972a: Dynamik und Produktivität von Phytoplankton und pelagischen Bakterien in einem Hochgebirgssee (Vorderer Finstertaler See, Österreich).-Arch. Hydrobiol. Suppl. 40:201-273
- 1972b: Bacterial productivity of a high mountain lake.-
Verh. Internat. Verein. Limnol. 18:188-196
- WITT, U., 1975: Düngungsexperiment.-Jber. Abt. Limnol. Innsbruck 2:
148-151

WITT, U., 1977: Auswirkungen der künstlichen Düngung eines Hochgebirgssees (Vorderer Finstertaler See, Kühltai, Tirol).-Arch. Hydrobiol. 81:211-232

Vertikale Veränderung von Diatomeen im Sediment.
 Stoffe durch zoobenthische Organismen, bzw. durch die am stärkste
 auch zurück. Eine Möglichkeit wäre das aktive Einmischen von Nähr-
 ten, führt man die Biomassezunahme in der Tiefe auf den Nährver-
 tiv schnelle Eindrängen von Nährstoffen in tiefere Sedimentschicht-
 Fläche führt oder nicht. Eine ungeklärte Tatsache ist das rela-
 1988: sich nicht

Die Zunahme der Abundanz und Biomasse der Bakterien an der Sedi-
 mentoberfläche läßt sich eindeutig auf das Absinken von wesentlichen
 vermehrt gebildeten Detrituspartikeln im Pelagial zurückführen,
 wie aus dem vorhergehenden Kapitel ersichtlich ist. Nicht nur wei-
 ters in Betracht, das zwischen partikulärer und gelöster Nähr-
 stoff-Fraktion ein Gleichgewichtsverhältnis herrscht (z.B. SHELDON et
 al., 1967), so muß angenommen werden, das auch gelöste Nährstoff-
 Komponenten in den Sediment-Bereich gelangen. Es ist anzunehmen,
 das die Bakterien auf dem, bzw. im Sediment abbaubare C- und N-Ver-
 bindungen zur Verfügung gelangen, da PO₄-P, und Ges.-P im Sedi-
 ment im Überschuß vorhanden ist. Zusammenfassend kann gesagt werden,
 das sehr vieles darauf hindeutet, das die Zunahme der Bakterien im
 Sediment auf den Einfluß der Düngung zurückzuführen ist.

WITT, U., 1975: Düngungsexperiment.-Jber. Abt. Limnol. Innsbruck 2:
 1-5
 Verteilung der Detrituspartikel: Anzahl gegenüber
 allen Punkte sind Daten vor dem Düngungsveruch, die letzten Punkte
 50
 100
 LITIERTE LITERATUR:
 1975b: Bacterial productivity of a high mountain lake
 Suppl. 40: 201-273
 1975a: Dynamik und Produktivität von Phytoplankton und
 pelagischen Bakterien in einem Hochgebirgssee (Vor-
 derer Finstertaler See, Österreich).-Arch. Hydrobio
 76: 188-196
 1973: Benthische Bakterien im Vorderen Finstertaler
 See (2237 m Kühltai, Tirol).-Diss. Univ. Innsbruck
 1972: The size distribution of particles in marine detri-
 tus.-Mar. Ist. Ital. Idrobiol. 29 Suppl.: 17-32
 and formation of small particles in seawater.-
 Limnol. Oceanogr. 12: 367-375
 SHELDON, R.W., T.P.T. EVELYN and T.R. PARSONS, 1967: On the occurrence
 of particles in the ocean.-Limnol. Oceanogr. 12: 367-375

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahresbericht der Abteilung für Limnologie am Institut für Zoologie der Universität Innsbruck](#)

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: [1977](#)

Autor(en)/Author(s): Tautermann G.

Artikel/Article: [Ökosystemstudie Vorderer Finstertaler See. Beeinflussung der Bakterienflora des Vorderen Finstertaler Sees durch künstliche Düngung 109-118](#)