

## Die Dimensionen des Methan-Oxidations-Potentials in einem eutrophen See

Monir Naguib

The Methane-Oxidation-Potential (MOP) in the eutrophic lake Plußsee is reflected in the estimations of the Methane-Oxidation-Demand of Oxygen (MODO; in German MOBS). The *specific* MODO of the surface sediments has an average of 50 mg O<sub>2</sub>/l · d and is about 150 times that of the free water and can even reach 250 fold-values depending upon the nature of the sediments. However, the *absolute* MODO of the sediments makes with  $1.4 \times 10^4$  kg O<sub>2</sub>/a · total sediment area, only 1/10 of the absolute MODO in the free water. With respect to the corresponding absolute MODO the *effective* MODO makes about 46 % in the sediments and 17 % in the water. The MOP is calculated from the MODO values by applying the estimated *ecological stoichiometry* for the methane-oxidation in the lake.

*Eutrophic lake, methane oxidation potential.*

### 1. Einführung und Prinzip

Mit dem Methan-Oxidations-Potential (MOP) ist die mikrobielle Aufnahme rate des Methans im untersuchten Biotop gemeint.

In der Untersuchung soll die Frage nach Lokalisierung und Verteilung des MOP's bzw. des dazu benötigten Sauerstoffs im freien Wasser und im Oberflächensediment beantwortet werden. Dies erfordert jahreszeitlich bedingt zahlreiche horizontale und vertikale Profilaufnahmen.

Der Methan-Oxidations-Prozeß ist bekanntlich ein aerober Prozeß; anaerobe Methan-Oxidation (PANGANIBAN et al. 1979; REEBURGH 1979, 1980; ZAHNDER, BROCK 1980) scheint den heutigen Kenntnissen nach eine ökologisch untergeordnete Rolle zu spielen. Es ist wiederholt eindeutig festgestellt worden, daß die aerobe Methan-Oxidation einen entscheidenden Einfluß auf den Sauerstoffhaushalt der Gewässer ausübt (OHLE 1958; OVERBECK, OHLE 1964; NAGUIB 1971, 1976; RUDD 1976; RUDD, HAMILTON 1978). Daher ist es nicht überraschend, daß die höchsten Methan-Oxidations-Aktivitäten während der thermischen Schichtung in der Zone auftreten, wo Methan von unten und Sauerstoff von oben sich treffen. Dies findet im Bereich des Metalimnions statt.

Die Ermittlung des MOP's wurde in 2 parallel laufenden komplementären Serien von Experimenten durchgeführt:

- I. Die Bestimmung des Methan-Oxidations-Bedarfs an Sauerstoff (MOBS) nach dem Muster der BSB-Bestimmung in Abwesenheit und Anwesenheit von Methangas. Anders ausgedrückt ist der MOBS die Differenz zwischen BSB<sup>+</sup> (mit Methan) und BSB<sup>-</sup> (ohne Methan).
- II. Gasumatzmessungen von CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> in zeitlich ablaufenden Inkubationsversuchen, wobei Methan als die einzige Kohlenstoffquelle zu den mit anorganischer Nährlösung angereicherten Proben zugesetzt wird (NAGUIB 1971).

Daraus kann unter anderem die ökologische Methan-Oxidations-Stöchiometrie ermittelt werden. Die Umwandlung der Sauerstoff-Werte des MOBS kann dann in CH<sub>4</sub>-Einheiten, also in das MOP durch Anwenden der ermittelten Stöchiometrie erfolgen.

Von der Fülle an Informationen, die auf diese Weise erhältlich sind, lassen sich nicht nur das spezifische MOP sowie MOBS und BSB<sup>-</sup> ableiten, sondern auch das globale Potential des Sees. Ferner ist es möglich, an Hand der Verteilung beeinflussender limitierender Faktoren, insbesondere des Sauerstoffs, das effektive MOP, d.h. das tatsächlich wirksame Potential auszurechnen.

In dieser Arbeit ist der Versuch unternommen worden, erstmals die mögliche Dimension des Methan-Oxidations-Potentials (MOP) und den dazu benötigten Sauerstoff (MOBS) in einem eutrophen See darzustellen.

## 2. Methoden und Technik

### 2.1 Probenentnahme

Der Plußsee, das Objekt der vorliegenden Untersuchungen, ist vom Max-Planck-Institut für Limnologie in Plön als Versuchs- und Modell-See vielfach untersucht worden (OVERBECK 1979). Er ist ein waldhumus-eutrophes, meist dimiktisches Gewässer mit einer markanten trichterförmigen Bodentopographie (Abb. 1 - KRAMBECK mdl.) Entsprechend der Heterogenität der Sedimentbeschaffenheit wurden vier Probenahmestationen ausgewählt, von der Mitte des Sees an der tiefsten Stelle (29 m) bis zum Ufer hin (Abb. 1). An jeder Station wurden in vertikalen Profilen vom Oberflächenwasser bis zum Oberflächensediment das ganze Jahr über repräsentative Proben entnommen. Die Proben wurden in 2 parallel laufenden Versuchsserien eingesetzt (siehe Kap. 2.2, 2.3).

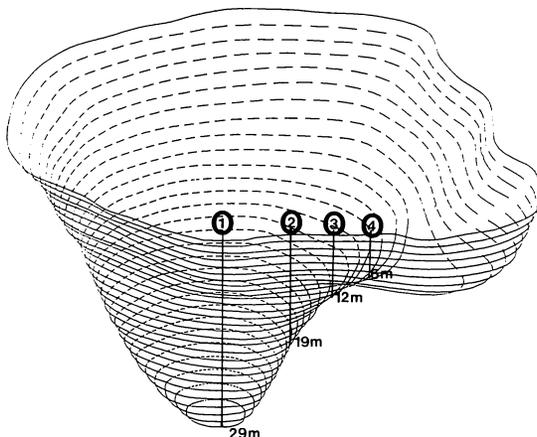


Abb. 1: Isobathenkarte des Plußsees mit den 4 Entnahmestationen.

### 2.2 Gasumsatzmessungen

Die Ausführung gaschromatographischer Bestimmungen sowie die statistische Auswertung der Gaschromatogramme wurden früher ausführlich beschrieben (NAGUIB 1970, 1975, 1976). Korrekturwerte für heterotrophe Sauerstoffaufnahmen wurden gesondert in Parallelversuchen ermittelt.

### 2.3 Methan-Oxidations-Bedarf an Sauerstoff (MOBS)

Prinzipiell ist diese Methode eine Erweiterung der bekannten biologischen Sauerstoff-Bedarfsbestimmung (BSB) nach Winkler. Von jeder Wasserschicht wurde eine mit Luft gesättigte Probe von ca. 1 l in eine Reihe von geeichten BSB-Flaschen gefüllt. Die Zahl der Flaschen ist abhängig von den Inkubationstemperaturen und kann durch Voruntersuchungen entsprechend geplant werden. Jede Flaschenserie wurde geteilt: In der einen Hälfte erfolgte die normale BSB-Bestimmung, die andere Hälfte wurde unter Einspritzung von 2 ml Methangas untersucht. Die Methan-Einspritzung erfolgte in die auf den Kopf gestellten und unter Wasser geöffneten Flaschen. (Sämtliche Flaschen wurden in einer mit Wasser gefüllten Schale auf den Kopf gestellt, so daß praktisch jeder Flaschenhals unter einem Wassersiegel, also unter Luftabschluß, stand.) Die Schale samt Flaschen wurde bei der im See gemessenen Temperatur inkubiert. Es ist praktisch nicht immer möglich, die natürlichen Temperaturgradienten als Inkubationstemperaturen zu verwenden. Unter Berücksichtigung von Korrelationen zwischen Sauerstoffaufnahme und Temperatur sind entsprechende Korrekturen vorzunehmen.

In bestimmten Abständen wurden einige Flaschen für "BSB<sup>-</sup>" (ohne Methan) und "BSB<sup>+</sup>" (mit Methan) entnommen. Die Versuche liefen praktisch so lange, bis eine fast vollkommene Sauerstoffzehrung stattgefunden hatte. Der Methanoxidations-Bedarf an Sauerstoff, MOBS, ist dann die Differenz zwischen BSB<sup>+</sup> und BSB<sup>-</sup>.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Der Gasumsatz

Der Konzentrationsverlauf von CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> wurde in der Gasphase der inkubierten Wasser- und Sedimentproben periodisch gaschromatographisch bestimmt. Alle Ergebnisse wurden nach einem Computer-Programm statistisch ausgewertet (NAGUIB 1976). Ein Beispiel solcher Analysen ist in Tab. 1 angegeben. In allen Inkuba-

Tab. 1: Beispiel einer Computer-Auswertung des CH<sub>4</sub>-, O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Umsatzes.

		Zeit (Std.)	C <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CC <sub>2</sub>
Analyse	1 (mMol)	.0	6.120	5.457	.000
Fehler			.842	.906	.000
Analyse	2 (mMol)	22.0	5.970	5.421	.000
Fehler			.292	.247	.000
Umsatz	(mMol)		-.150	-.037	.000
Fehler			1.134	1.153	.000
Analyse	3 (mMol)	45.0	5.997	5.502	.000
Fehler			.598	.971	.000
Umsatz	(mMol)		-.123	.045	.000
Fehler			1.440	1.877	.000
Analyse	4 (mMol)	69.0	6.068	5.563	.000
Fehler			.454	.110	.000
Umsatz	(mMol)		-.052	.106	-.000
Fehler			1.296	1.017	.000
Analyse	5 (mMol)	93.0	6.021	5.663	.000
Fehler			.236	.077	.000
Umsatz	(mMol)		-.099	.206	.000
Fehler			1.078	.984	.000
Analyse	6 (mMol)	167.0	6.016	5.657	.000
Fehler			.445	.192	.000
Umsatz	(mMol)		-.104	.200	.000
Fehler			1.287	1.098	.000
Analyse	7 (mMol)	195.0	5.616	4.982	.002
Fehler			.521	.086	.000
Umsatz	(mMol)		-.504	-.475	.002
Fehler			1.363	.992	.000
Analyse	8 (mMol)	219.0	5.513	5.057	.008
Fehler			.491	.418	.001
Umsatz	(mMol)		-.607	-.401	.008
Fehler			1.333	1.324	.001
Analyse	9 (mMol)	261.0	5.512	5.013	.027
Fehler			.342	.050	.030
Umsatz	(mMol)		-.608	-.444	.027
Fehler			1.184	.956	.030
Analyse	10 (mMol)	334.0	5.460	4.874	.029
Fehler			.977	.687	.004
Umsatz	(mMol)		-.660	-.583	.029
Fehler			1.819	1.594	.004
Analyse	11 (mMol)	362.0	5.578	4.954	.034
Fehler			.128	.333	.004
Umsatz	(mMol)		-.542	-.504	.034
Fehler			.970	1.240	.004
Analyse	12 (mMol)	420.0	3.962	2.777	0.810
Fehler			.560	.110	.023
Umsatz	(mMol)		-3.500	-2.680	0.810
Fehler			1.110	.924	0.023
Analyse	13 (mMol)	551.0	1.555	1.851	1.099
Fehler			.757	.083	.064
Umsatz	(mMol)		-4.564	-3.596	1.099
Fehler			1.598	.990	.064
Analyse	14 (mMol)	575.0	-.122	.791	1.670
Fehler			.572	.196	.790
Umsatz	(mMol)		-6.242	-4.666	1.670
Fehler			1.414	1.103	.790
Analyse	15 (mMol)	599.0	-1.255	.000	1.613
Fehler			.201	.000	.011
Umsatz	(mMol)		-7.375	-5.457	1.613
Fehler			1.043	.906	.011

tionen hat eine Anreicherung von methanoxidierenden Bakterien stattgefunden; die Versuche wurden nach dem gesamten Verbrauch von CH<sub>4</sub> oder O<sub>2</sub> (bei der angewandten Gasmischung war der O<sub>2</sub>-Gehalt früher erschöpft) als beendet betrachtet. Die molare Korrelation zwischen CH<sub>4</sub> : O<sub>2</sub> : CO<sub>2</sub> ergibt die Stöchiometrie der abgelaufenen Reaktionen. Die O<sub>2</sub>-Werte sind jedoch nicht nur durch die Methanoxidation bedingt, sondern auch durch die mitlaufenden heterotrophen Aktivitäten. Die heterotrophen O<sub>2</sub>-Aufnahmen müssen in Parallel-Versuchen ermittelt und in der Berechnung berücksichtigt werden. Um die in den Initial-Analysen ermittelte Stöchiometrie zu sichern, wurden die abgelaufenen Initial-Anreicherungsversuche neu begast und der Gasumsatz wieder genau bestimmt. Es stellte sich heraus, daß die vertikale Wassersäule - im Gegensatz zu den Sediment-Untersuchungen - ein mehr oder weniger homogenes Wachstum und fast einheitliche Gasumsätze zeigte.

**Tab. 2:** Die ermittelten CH<sub>4</sub>-, O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Umsatzraten bei initialen Inkubationen und nach Neu-Begasung.

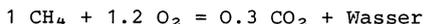
In der angegebenen Stöchiometrie sind die heterotrophen Aktivitäten berücksichtigt.

		O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
		(µMol/h · l)		
Mittelwert der freien Wassersäule von 0 - 29 m	Initial	76.7	58.1	19.25
	Heterotr.	12.6	-	1.75
	Stöchio.	1.2	1	0.3
		<u>+0.18</u>		<u>+0.02</u>
	nach Neu-Begasung	188	148.7	45
	Heterotr.	9.8	-	1.4
	1.2	1	0.29	
	<u>+0.18</u>		<u>+0.02</u>	
Oberflächen-Sediment 29 m	Initial	353	185	101
	Heterotr.	129.8	-	44.9
	Stöchio.	1.21	1	0.3
		<u>+0.15</u>		<u>+0.05</u>
	nach Neu-Begasung	1292	712	464
	Heterotr.	438	-	251
	1.2	1	0.3	
	<u>+0.11</u>		<u>+0.03</u>	
20 cm tiefes Sediment 29.2 m	Initial	253	150	84
	Heterotr.	70	-	37.7
	Stöchio.	1.22	1	0.31
		<u>+0.18</u>		<u>+0.04</u>
	nach Neu-Begasung	764	510	295
	Heterotr.	159	-	142
	1.19	1	0.3	
	<u>+0.05</u>		<u>+0.03</u>	

In Tab. 2 sind die Gasumsatzraten in µMole/h · l und die entsprechende Stöchiometrie als Mittelwert für die initiale Inkubation und nach Neu-Begasung angegeben für die gesamte Wassersäule sowie für die Sediment-Oberfläche und das Sediment in 20 cm Tiefe.

Daraus ergaben sich folgende klare Aussagen:

a) Die Stöchiometrie der ökologischen Methan-Oxidation ist



b) Die CH<sub>4</sub>-Umsatzraten nach Neu-Begasung sind wesentlich intensiver und liegen im Wasser um 2.6 mal bzw. im Oberflächensediment um 3.8 mal höher als in initialen Inkubationen. Das ist darauf zurückzuführen, daß in initialen Inkubationen ein rasches Wachstum der Methanoxidierer erfolgte, so daß bei einer Neu-Begasung eine wesentlich kürzere Lagphase benötigt wird.

c) Die CH<sub>4</sub>-Umsatzraten im Oberflächensediment sind 3 bis 5 mal höher als in der freien Wassersäule. Dies ist eine erste Indikation für die Lokalisierung des höchsten spezifischen Methan-Oxidations-Potentials, nämlich im Oberflächensediment.

### 3.2 Methan-Oxidations-Bedarf an Sauerstoff "MOBS"

Als Beispiel für MOBS wurde eine komplette Profilanalyse in der Mitte des Plußsees während der noch vorhandenen thermischen Schichtung im September 1979 in Tab. 3 angegeben und in Abb. 2 graphisch dargestellt.

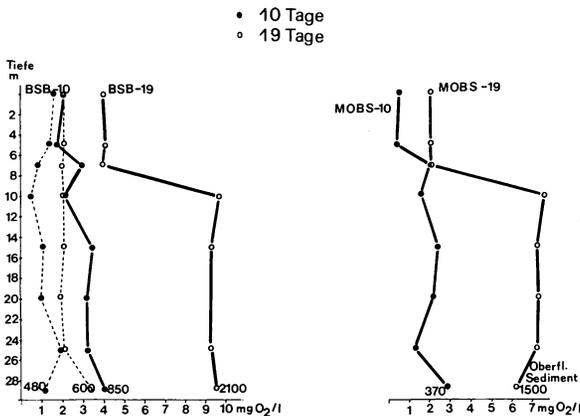
**Tab. 3:** BSB<sup>+</sup> (mit Methan) und BSB<sup>-</sup> (ohne Methan) sowie der entsprechende MOBS in einem vertikalen Profil im September 1979 in der Mitte des Sees (siehe auch Abb. 2).

Initiale O<sub>2</sub>-Konzentration: 10 mg O<sub>2</sub>/l September 1979

Tiefe m	BSB-10		BSB-19		MOBS-10	MOBS-19
	+	-	+	-		
0	2.0	1.5	3.9	1.9	0.5	2.0
5	1.7	1.3	4.0	2.0	0.4	2.0
7	2.8	0.7	3.8	1.8	2.1	2.0
10	2.0	0.4	9.6	2.0	1.6	7.6
15	3.4	1.0	9.2	2.0	2.4	7.2
20	3.1	0.9		1.8	2.2	
25	3.2	1.9	9.2	2.0	1.3	7.2
28.8 Oberflächen Sediment	4.0	1.2	9.5	3.3	2.8	6.2
290	850	480	2100	600	370	1500

Der Verlauf dieses Profils ist im allgemeinen repräsentativ für den MOBS während des Zustandes der thermischen Schichtung. Bei der Betrachtung des BSB-19 fallen besonders auf:

- Eine Limitierung des BSB<sup>+</sup> bzw. des MOBS im Epilimnion.
- Der BSB<sup>+</sup>-19 im Hypolimnion läuft bis zur vollkommenen Sauerstoffzehrung ab, während ein beträchtlicher Rest des BSB<sup>-</sup>-19 in derselben Zeit noch übrig bleibt.
- Der BSB<sup>+</sup> und BSB<sup>-</sup> im Oberflächensediment ist vergleichsweise extrem hoch. Ein quantitativer Vergleich wird später noch abgehandelt.



**Abb. 2:** Vertikalprofile vom BSB<sup>-</sup>-10 und 19 (ohne Methan, gestrichelte Linie) sowie vom BSB<sup>+</sup>-10 und 19 (mit Methan, durchgezogene Linie) und vom MOBS-10 und 19. (September 1979, vgl. Tab. 3).

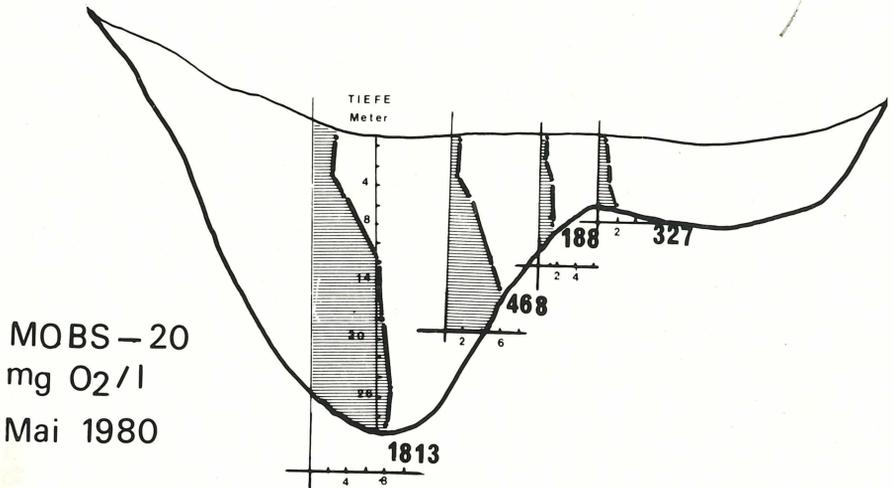
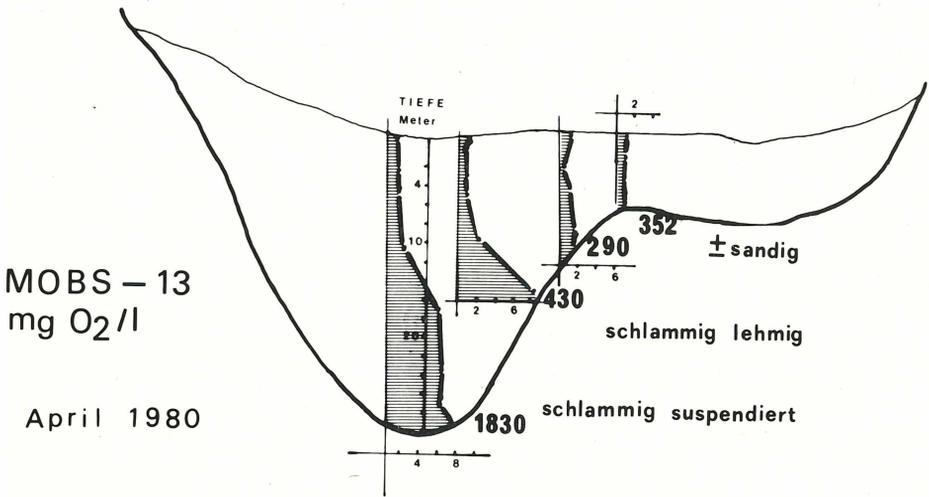
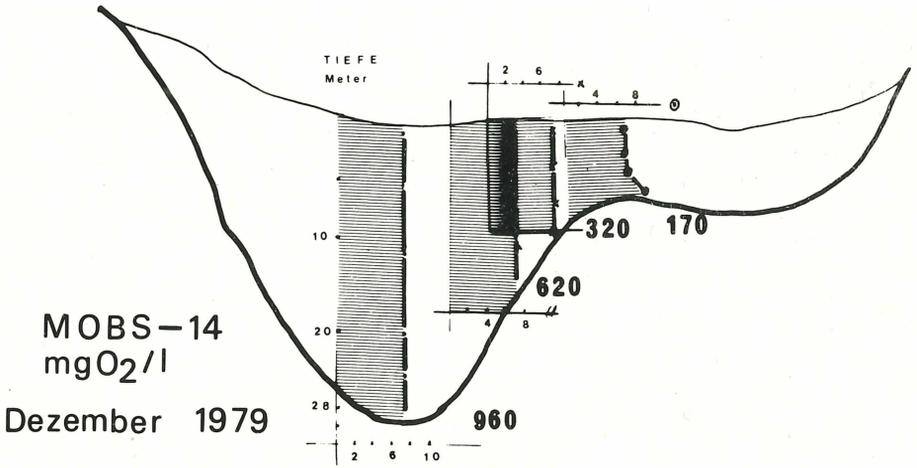


Abb. 3: Vertikalprofile des MOBS an den 4 Stationen im Dezember 1979, April 1980 und Mai 1980.

Nun ist die Sediment-Beschaffenheit entlang des trichterförmigen Bodens des Fluß-sees keineswegs homogen. An den in Abb. 1 angegebenen Stationen wurden vertikale Profile nach dem eben geschilderten Muster ermittelt. In Abb. 3 wurde die vertikale MOBS-Verteilung an den vier Stationen für drei repräsentative Monate graphisch dargestellt.

Zwei Phänomene wurden unter anderem eindeutig sichtbar:

- Die Limitierung des MOBS im Epilimnion wird im Zustand der Durchmischung, z.B. im Spätherbst, aufgehoben: Die Wassersäule zeigt einen durchaus homogenen MOBS.
- Der spezifische MOBS im Oberflächensediment ist in der Intensität in den verschiedenen Sedimentarten unterschiedlich.

In der folgenden Tab. 4 sind die Jahresdurchschnittswerte des  $BSB^-$  und des MOBS in  $mg\ O_2/l \cdot d$  angegeben. Die Metalimnion-MOBS-Werte sind den Hypolimnion-Werten angegliedert.

Tab. 4: Jahres-Durchschnittswerte von  $BSB^-$  und MOBS in  $mg\ O_2/l \cdot d$  während des Zustandes der thermischen Schichtung und Durchmischung.

	$BSB^-$ ( $mg\ O_2/l \cdot d$ )	MOBS	$\frac{MOBS}{BSB^-}$
Epilimnion	0.172	0.111	0.7
Hypolimnion	0.046	0.38	8.5
Homogene Wassersäule	0.12	0.29	3.04
<u>MOBS Hypolimnion</u>			3.3
<u>MOBS Epilimnion</u>			

Die Einzelwerte können zu den verschiedenen Jahreszeiten, ausgenommen im Winter, um 20 % der angegebenen Mittelwerte variieren. Im Winter ist der MOBS mit  $0.51\ mg\ O_2/l \cdot d$  um 75 % höher als der Mittelwert. Der Methan-Oxidationsprozeß ist also im Winter am intensivsten und kann unter einer Eisdecke die Ursache für einen totalen  $O_2$ -Schwund im Wasser sein.

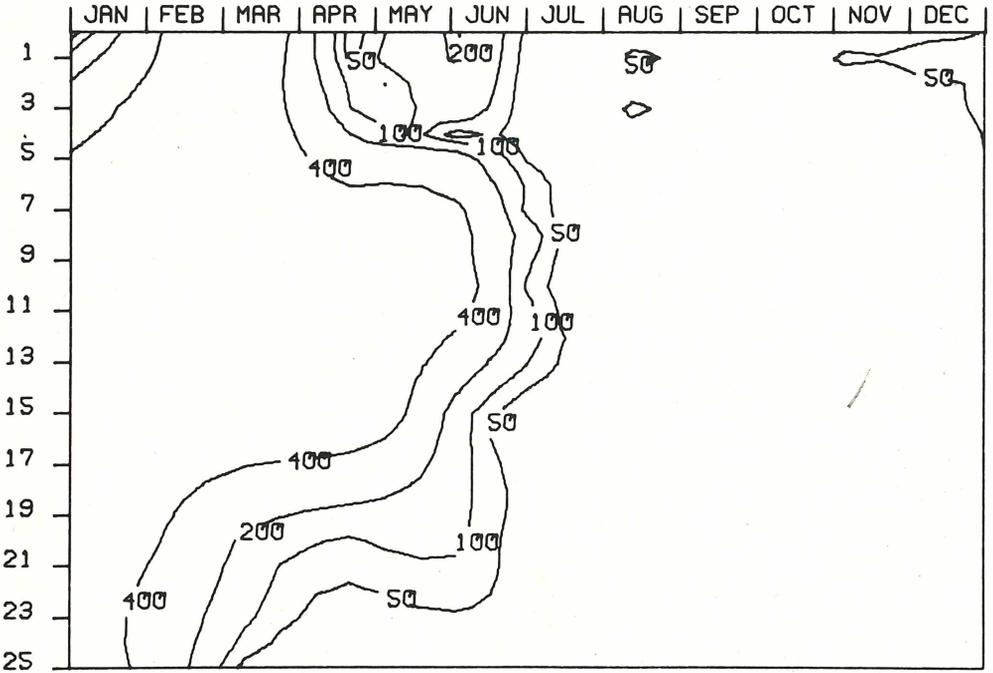
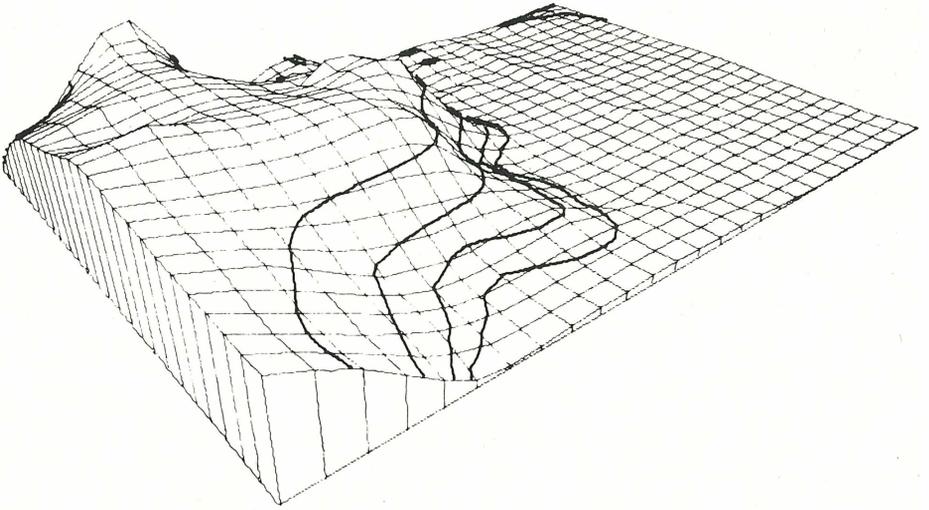
Die ausgerechneten Korrelationen MOBS :  $BSB^-$  zeigen deutlich die Limitierung bzw. Hemmung der Methan-Oxidation im Epilimnion. Dieses Phänomen wurde von DALTON, WHITTENBURY (1976) sowie von RUDD (1976) beobachtet. Die genannten Autoren glauben die Ursache in den hohen  $O_2$ -Konzentrationen gefunden zu haben, die die Fixierung von  $N_2$  durch Methan oxidierende Bakterien bei Mangel an gebundenem Stickstoff empfindlich hemmen.

In den vorliegenden Untersuchungen scheint diese Ursache keine Bestätigung zu finden. An Hand der vorliegenden chemischen Analysen (ALBRECHT et al. 1978, KRAMBECK mdl.) scheinen zwei Verbindungen als limitierende Faktoren in Frage zu kommen, nämlich Nitrat und Phosphat. Deren Jahresverteilung ist in Abb. 4 und 5 wiedergegeben.

Bei einer genauen Betrachtung des Verteilungsmusters von Nitrat und Phosphat stellt sich heraus, daß beide im Epilimnion während der thermischen Schichtung nur noch in minimalen Konzentrationen vorhanden sind. Im Gegensatz zu Phosphat erfaßt das nitratfreie Wasser das tiefere Hypolimnion. Nicht Nitrat, sondern eher Phosphat kann nach diesem Vergleich als limitierender Faktor für die Methan-Oxidation im Epilimnion angenommen werden.

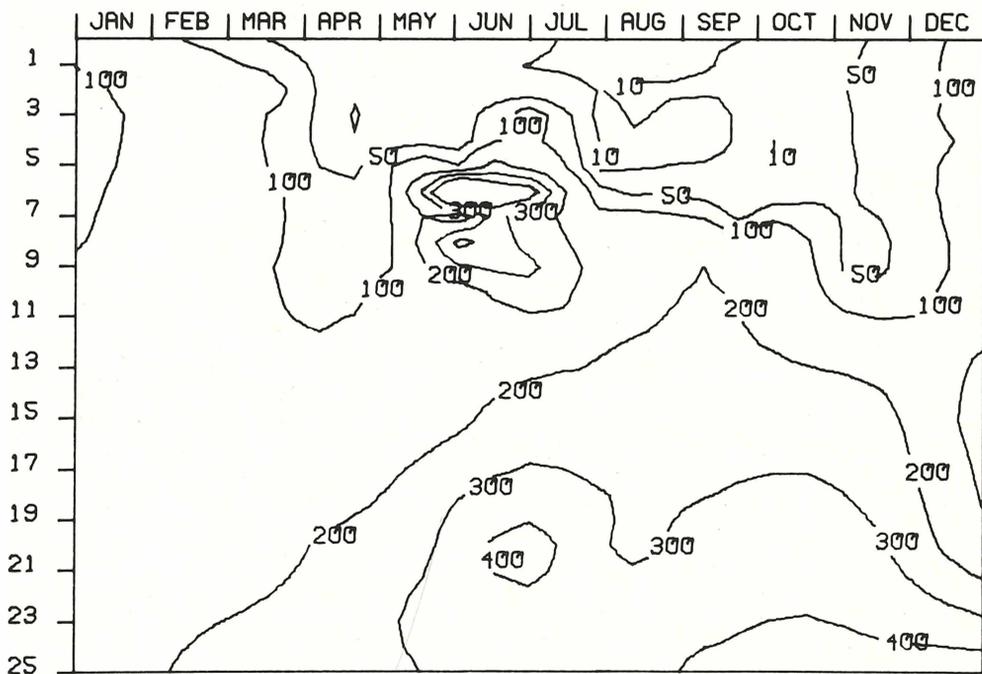
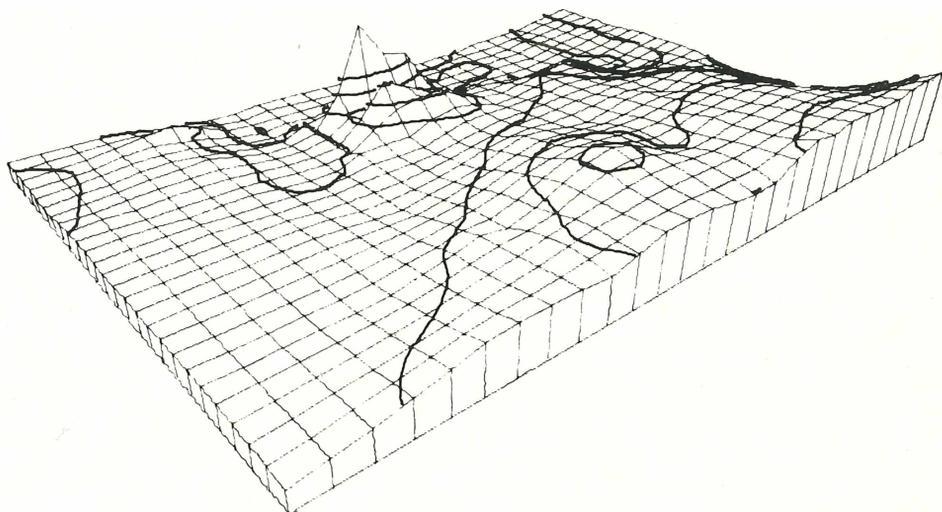
Es ist eindeutig, daß sowohl  $BSB^-$  als auch MOBS am höchsten in der Mitte des "Trichters" sind (Abb. 3). Dort sind die Sedimente schlammig und an der Grenzzone Wasser/Sediment suspendiert. Der Sediment-Sauerstoff-Bedarf nahm zum Ufer hin wesentlich ab.

Es wurden einige Sediment-Analysen vorgenommen, um die Beziehungen zu klären. Die vorläufig einzige signifikante Korrelation ergab sich für die Methankonzentrationen der verschiedenen Sedimenttypen (Tab. 5). Logischerweise ist anzunehmen, daß die Intensität der Methan-Oxidation von der Zahl der Methan-oxidierenden Organismen abhängig ist. Die Zahl der Organismen wiederum ist durch das Vorhandensein des spezifischen Substrats, des Methans, bedingt.



NITRATE (NO<sub>3</sub>-N, UG N/L) LAKE PLUSSEE  
 TIME : 24-JAN-79 TO 11-DEC-1979  
 DEPTH: 0 - 25 M  
 ISOLINES: 50 100 200 400 800 (UG N/L)

Abb. 4: Nitrat-Isoplethenverteilung 1979.



P04-PHOSPHORUS (UG P/L) LAKE PLUSSEE  
 TIME : 24-JAN-79 TO 11-DEC-1979  
 DEPTH: 0 - 25 M  
 ISOLINES: 10 50 100 200 300 400 (UG P/L)

Abb. 5: Phosphat-Isoplethenverteilung 1979.

An Hand der Fülle der vorliegenden Daten und Informationen wurde der Versuch unternommen, die Budgets von BSB<sup>-</sup> und MOBS im freien Wasser und in den Oberflächensedimenten zu ermitteln. Dazu müssen neben den ermittelten BSB<sup>-</sup>- und MOBS-Daten auch das Volumen des freien Wassers und die Größe der Bodenfläche des Sees (KRAMBECK mdl.) bekannt sein.

Die Jahresdurchschnittswerte von BSB<sup>-</sup> und MOBS der Oberflächensedimente bei den verschiedenen Stationen sind in Tab. 5 angegeben; dabei wurde die Beschaffenheit der Sedimente visuell beurteilt.

Die Berechnung des effektiven MOBS erfordert genaue Kenntnisse der CH<sub>4</sub>- und O<sub>2</sub>-Verteilung. Methan und Sauerstoff wurden als limitierende Faktoren für den Prozeß der Methan-Oxidation angenommen.

**Tab. 5:** Jahres-Durchschnittswerte von BSB<sup>-</sup> und MOBS in mg O<sub>2</sub>/l · d bei den unterschiedlichen Sedimenttypen, die verschiedenen CH<sub>4</sub>-Gehalt aufweisen.

Station		O <sub>2</sub> (mg/l · d)	CH <sub>4</sub> (ml/l)
1 (schlammig/suspendiert)	BSB <sup>-</sup>	59	100
	MOBS	90	
2 (schlammig/lehmig)	BSB <sup>-</sup>	14	35
	MOBS	33	
3 (sandig/organisch gemischt)	BSB <sup>-</sup>	11	0.3
	MOBS	25	
4 (sandig/organisch gemischt)	BSB <sup>-</sup>	8	0.6
	MOBS	18	

In Tab. 6 sind spezifischer sowie - bezogen auf das Jahr - absoluter und effektiver BSB<sup>-</sup> und MOBS zusammengefaßt. Daraus ist vor allem zu entnehmen:

1. Der spezifische MOBS in den Sedimenten ist mit einem Durchschnittswert von 50 mg O<sub>2</sub>/l · d etwa 150 mal (50-250 mal) höher als der MOBS im freien Wasser.
2. Der absolute MOBS der Oberflächensedimente erreicht Werte von 1.4 x 10<sup>4</sup> kg O<sub>2</sub>/a · Sediment, beträgt jedoch nur 1/10 des entsprechenden MOBS im Wasser. Dabei wurde eine Schichtdicke von 1 cm zugrunde gelegt.
3. Der effektive MOBS erreicht 17 % im Wasser und 46 % im Sediment und macht damit einen hohen Anteil der absoluten MOBS-Werte aus. Auch hier basiert die Sedimentoberflächenberechnung auf einer Schichtdicke von 1 Zentimeter.
4. Die entsprechenden Werte für den BSB<sup>-</sup> im Sediment und Wasser gleichen mehr oder weniger denen des MOBS.

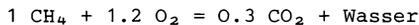
**Tab. 6:** Jahresdurchschnittswerte vom spezifischen BSB<sup>-</sup> und MOBS sowie vom absoluten und effektiven Gesamtbudget des BSB<sup>-</sup> und des MOBS im Wasser und in der Sedimentoberfläche.

	Wasser		Sediment		$\frac{\text{MOBS}_{\text{sed.}}}{\text{MOBS}_{\text{W}}}$	$\frac{\text{BSB}^{\text{-}}_{\text{sed.}}}{\text{BSB}^{\text{-}}_{\text{W}}}$
	BSB <sup>-</sup>	MOBS	BSB <sup>-</sup>	MOBS		
Spezifisch (mg O <sub>2</sub> /l · d)	0.13	0.33	36	50	150 (50-250)	275
Absolut (kg O <sub>2</sub> /a · See)	6.7 x 10 <sup>4</sup>	14.8 x 10 <sup>4</sup>	0.9 x 10 <sup>4</sup>	1.4 x 10 <sup>4</sup>	ca. 0.1	0.13
Effektiv (kg O <sub>2</sub> /a · Volumen bzw. Fläche bis zur O <sub>2</sub> -Grenze)	5.8 x 10 <sup>4</sup>	2.5 x 10 <sup>4</sup>	0.52 x 10 <sup>4</sup>	0.65 x 10 <sup>4</sup>	0.26	0.09
$\frac{\text{Effektiv}}{\text{Absolut}}$	87	16.9	58	46.4		

Tab. 7: Die möglichen Dimensionen des Methan-Oxidations-Potentials im Plußsee (spezifisch, absolut und effektiv).

MOP	Wasser	Sediment	Gesamt
Spezifisch (mg CH <sub>4</sub> /l · d)	0.14	21	21.14
Absolut (kg CH <sub>4</sub> /a · See)	6.2 x 10 <sup>4</sup>	0.58 x 10 <sup>4</sup>	6.78 x 10 <sup>4</sup>
Effektiv (kg CH <sub>4</sub> /a · Volumen bzw. Fläche bis zur O <sub>2</sub> -Grenze)	1.04 x 10 <sup>4</sup>	0.27 x 10 <sup>4</sup>	1.31 x 10 <sup>4</sup>
$\frac{\% \text{Effektiv}}{\text{Absolut}}$	16.8	46.6	19

Für die Berechnung des Methan-Oxidations-Potentials (MOP) wurde die ermittelte molare Stöchiometrie verwendet:



In Tab. 7 sind die entsprechenden MOP-Werte angegeben.

Das spezifische MOP ist wie der MOBS im Oberflächensediment durchschnittlich 150 mal höher als im freien Wasser. Das effektive MOP beträgt 19 % vom absoluten MOP im ganzen See.

Der Anteil des effektiven Methan-Oxidations-Potentials an der gesamten CH<sub>4</sub>-Produktion im See ist für den Kohlenstoffkreislauf von entscheidender Bedeutung. Dieser Anteil dürfte von Seetyp und Produktivität abhängig sein.

Fräulein K. Eckert hat die gaschromatographischen Analysen durchgeführt und war bei der Anfertigung des Manuskriptes beteiligt. Fräulein H. Eggers hat die O<sub>2</sub>-Bestimmungen und die Sedimentanalysen durchgeführt. Beiden danke ich für die sorgfältige und geduldige Mitarbeit herzlich.

#### Literatur

- ALBRECHT D., MÜNSTER U., STABEL H.H., 1978: Untersuchungen zum Stoffhaushalt des Plußsees. Verh. Ges. f. Ökologie (Kiel 1977): 109-118.
- DALTON H., WHITTENBURY R., 1976: Nitrogen metabolism in *Methylococcus capsulatus* (Strain Bath). In: Proc. Symp. microbial production and utilization of gases (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO). Göttingen (Goltze).
- NAGUIB M., 1970: On methane-oxidizing bacteria in fresh waters. II. A method for the estimation and statistical evaluation of the metabolic turnover of gases by methane-oxidizing bacteria. Z. allg. Mikrobiol. 10: 627-636.
- NAGUIB M., 1971: On methane oxidizing bacteria in fresh waters. III. The capacity of methane utilization by methane-oxidizing enrichment cultures as revealed by gaschromatographic analyses. Z. allg. Mikrobiol. 11: 39-47.
- NAGUIB M., 1975: Overall metabolic regulations in cultures of the obligate methane-oxidizing strain M 102. Proc. Int. Symp. C-1 compounds, Tokyo: 203-212.
- NAGUIB M., 1976: Stoichiometry of methane oxidation in the methane-oxidizing strain M 102 under the influence of various CH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> mixtures. Z. allg. Mikrobiol. 16: 437-444.
- OHLE W., 1958: Die Stoffwechseldynamik der Seen in Abhängigkeit von der Gasausscheidung ihres Schlamms. Vom Wass. 25: 127-149.
- OVERBECK J., OHLE W., 1964: Contributions to the biology of methane oxidizing bacteria. Verh. Int. Ver. Limn. 15: 535-543.
- OVERBECK J., OHLE W., 1964: Studies on heterotrophic functions and glucose metabolism of microplankton in Plußsee. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 13: 56-76.
- PANGANIBAN A.T., PATT T.E., HART W., HANSON R.S., 1979: Oxidation of methane in the absence of oxygen in lake water samples. Appl. Envir. Microbiol. 37: 303-309.
- REEBURGH W.S., 1979: A major sink and flux control for methane in marine sediments: Anaerobic consumption. In: (Ed. FANNING K., MANHEIM E.T.) The dynamic environment of the ocean floor. Lexington (D.C. Heath).

- REEBURGH W.S., 1980: Anaerobic methane oxidation: Rate depth distribution in skan bay sediments. Earth Planet Sci. lett.
- RUDD J.W.M., 1976: Factors controlling methane oxidation in shield lakes: The role of nitrogen fixation and oxygen concentration. Limnol. Oceanogr. 21: 357-364.
- RUDD J.W.M., HAMILTON R.D., 1978: Methane cycling in a eutrophic shield lake and its effects on whole lake metabolism. Limnol. Oceanogr. 23:
- ZEHNDER A.J.B., BROCK T.D., 1980: Anaerobic methane oxidation: Occurrence and ecology. Appl. Envir. Microbiol. 39: 194-204.

Adresse

Dr. Monir Naguib  
Abteilung Allgemeine Limnologie  
Max-Planck-Institut für Limnologie  
August-Thienemann-Str. 2  
D-2320 Plön

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [9\\_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Naguib Monir

Artikel/Article: [Die Dimensionen des Methan-Oxidations-Potentials in einem eutrophen See 211-222](#)