

*Bernd KWIATKOWSKI<sup>1)</sup>; Günter SCHLUNGBAUM<sup>2)</sup>; Elmar GRABERT<sup>3)</sup>*

<sup>1)</sup> Universität Rostock, Fachbereich Biologie/Angewandte Ökologie

<sup>2)</sup> Dr. Bruno Lange GmbH, Düsseldorf

## **Eine Möglichkeit zur Differenzierung der Sauerstoffzehrungsleistung von Sedimenten der Darß-Zingster Boddenkette mit Hilfe der ARAS SensorBSB Technik**

### **Abstract**

The sediment oxygen demand (SOD) can be an important part of the general oxygen demand in waters.

The supply of oxygen in the Darß-Zingst bodden chain is generally guaranteed (morphometry of the water and photosynthesis), but it can lead to a deficiency near to the ground by the oxygen demand of sediments.

The measurement of SOD is difficult, because this is a complexive parameter. Lots of different methods are described, but none of them has been established and standardized.

By using the apparatus ARAS SensorBSB it was possible to differentiate sediments with the same organic contents in their potential for oxygen demand.

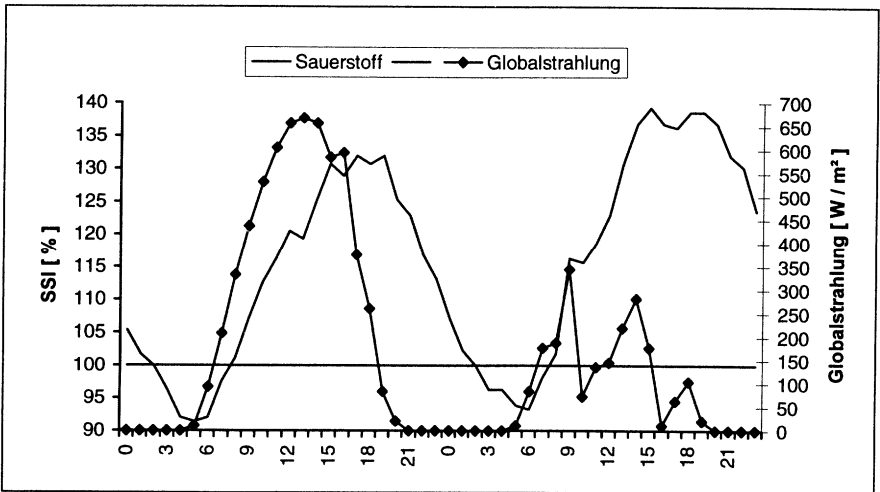
### **1 Die Sauerstoffverhältnisse in den Darß-Zingster Boddengewässern**

In den hocheutrophen flachen Boddengewässern ist der Sauerstoffhaushalt großen Schwankungen ausgesetzt. Einerseits kommt es durch sehr intensive Primärproduktionsprozesse besonders in den Monaten April bis Juni zu extremen Übersättigungen. Im Wasserkörper werden dann Werte bis zu 200 % Sauerstoffsättigungsindex (SSI) registriert. In dichten Makrophytenbeständen sind sogar schon Werte bis 250 % mit dann auch charakteristischen pH-Werten von 11 gemessen worden.

Andererseits kommt es durch große Zehrleistungen zur Ausbildung von größeren Defiziten. Minimalwerte um 40 % Sättigung treten selbst im Oberflächenbereich des Wasserkörpers auf. Insbesondere nach größeren Sedimentaufwirbelungen kann der Sauerstoffgehalt in Bodennähe des Wasserkörpers bis auf 0 zurückgehen.

Da diese großen Schwankungen für die Zusammensetzung und die Leistungsfähigkeit der Biocoenose von erheblicher Bedeutung sind und außerdem als Steuerfaktor für die verschiedenen Erscheinungen im Nährstoffregime mitverantwortlich sind, gehören Sauerstoffuntersuchungen seit langem zum Monitoring-Programm, das von der Laborstation Zingst an der Boddenkette durchgeführt wird. Bei allen Meßprogrammen werden diskontinuierliche Untersuchungen durchgeführt und seit Beginn des Jahres 1994 auch kontinuierliche Daten am Zingster Strom (Laborstation) im stündlichen Meßabstand gewonnen (vgl. SCHLUNGBAUM & BAUDLER 1996).

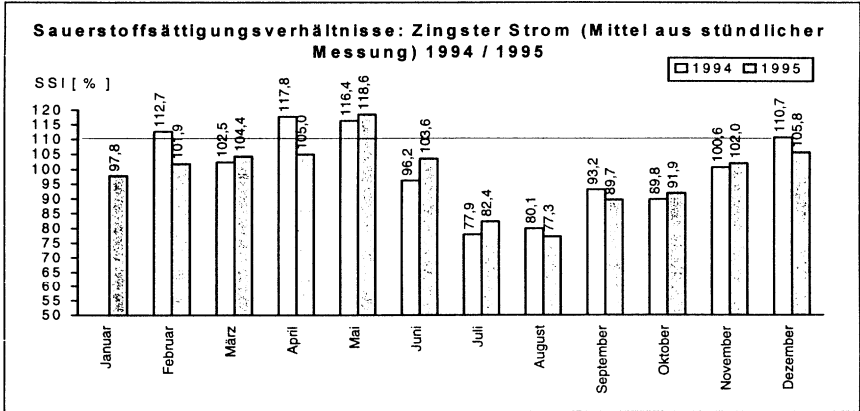
Es ist seit langem bekannt, daß sporadische Einzelmessungen zu verschiedenen Tageszeiten in hocheutrophen Gewässern wegen der großen Kurzzeitschwankungen kaum genaue Einschätzungen gestatten. Auf der Basis der Registrierungen können typische Tag/Nacht-Schwankungen aufgenommen werden (Abb. 1).



**Abb. 1** Rhythmik von Sauerstoffsättigung und Globalstrahlung im Zingster Strom am 14./15. Mai 1994 (aus SCHLUNGBAUM & BAUDLER 1996)

Im gewählten Beispiel schwanken die Sauerstoffsättigungsindizes zwischen 92 und 140 % bei unterschiedlicher Globalstrahlung.

Über die Monatsmittelwerte können dann charakteristische Jahrgänge gezeigt werden. Die maximalen Sättigungswerte liegen im April und März, die größten Defizite treten im Juli und August auf. Die beiden Jahre 1994 und 1995 waren mit ihren durchgehend hohen Sommertemperaturen extreme Jahre. Die Wassertemperaturen wichen in ihren Monatsmittelwerten im Juli 1994 um 3,5 °C vom langjährigen Mittel von 19,7 °C und im August 1995 um 1,5 % °C vom langjährigen Mittel von ebenfalls 19,7 °C ab. Einzelwerte erreichten nahezu 26 °C für die Wassertemperatur.



**Abb. 2** Jahresgänge der Sauerstoffsättigungsindices 1994 und 1995 im Zingster Strom in 1m Tiefe auf der Basis von Monatsmittelwerten (aus SCHLUNGBAUM & BAUDLER 1996)

Die mit ca. 20 % Sauerstoffdefizit in 1m Wassertiefe ermittelten Monatsmittel sagen nichts über die größten Minima aus. Diese liegen in beiden Jahren teilweise weit unterhalb 50 %.

Diese bereits für eine Wassertiefe von 1m aufgezeigten prekären Situationen beinhalten keine Aussage über den Zustand in Bodennähe, bei der die Wechselwirkung mit dem Sediment zu berücksichtigen ist. Eine solche Situation zeigt das Vertikalprofil aus dem Zentrum des Bodstedter Boddens (23.7.1994) bei ca 4m Wassertiefe (Tab. 1).

**Tabelle 1** Sauerstoffmessungen im Zentrum des Bodstedter Boddens am 23.7.1994 im Vergleich mit zeitgleich gewonnenen Werten am Meßpunkt Zingst

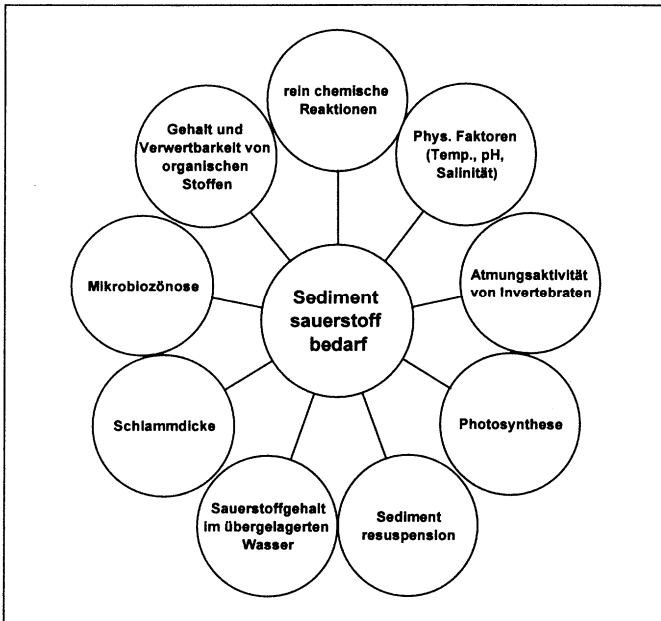
Tiefe	Wassertemp. (°C)	SSI (%)
0,00	23,40	128,00
1,00	23,30	128,00
2,00	23,10	119,00
3,00	23,00	96,00
3,50	22,50	24,00
Grund	22,50	10,00

Zingster Strom (1m Tiefe):  
 - SSI im Tagesgang: 65,5-81,4 %  
 - Wassertemperaturen: 24,5 °C

Da zum Zeitpunkt dieser Messungen keine größere windbewegte Turbulenz im Wasserkörper zu verzeichnen war, kann ein zusätzlich verstärkend wirkender Sedi-  
menteinfluß ausgeschlossen werden.

## 2 Die Sedimentsauerstoffzehrung - ein Ergebnis komplexer Wirkungen

Die Sauerstoffdefizite in den Gewässern werden wesentlich durch die Sedimente, d.h. ihrer Verteilung, ihrem organischen Gehalt und ihrer strukturellen Zusammensetzung mitbeeinflusst. So ist der Sedimentsauerstoffbedarf ein Ergebnis sehr komplexer Wirkungen, deren Vielschichtigkeit in Abb. 3 zum Ausdruck kommt.



**Abb. 3** Komponenten des Sedimentsauerstoffbedarfs (aus KWIATKOWSKI 1996); Bemerkung: Wenn der Sedimentsauerstoffbedarf als Meßgröße betrachtet wird, muß beachtet werden, daß auch gegenläufige Prozesse (z.B. Photosynthese) mit erfaßt werden können.

### **3 Mögliche Untersuchungsmethoden für die Sauerstoffzehrung durch Sedimente**

Für die Bestimmung der Sauerstoffzehrung durch Sedimente gibt es verschiedene methodische Vorgehensweisen, von denen sich jedoch keine allgemein etabliert hat. Diese Konstellation steht im Gegensatz zu den genau determinierten Verfahren der Sauerstoffzehrungsbestimmung des Wasserkörpers (Biochemischer Sauerstoffbedarf, Sauerstoffzehrung, Chemischer Sauerstoffbedarf) die als verschiedene Deutsche Industrienormen (DIN) vorliegen. Das Methodenspektrum zur Ermittlung der Sedimentaktivität kann in folgende Hauptgruppen untergliedert werden (vgl. auch KWIATKOWSKI 1996):

- Batch-Versuche (labor oder in situ)
- Durchflußverfahren
- manometrisch/elektrolytische Methoden
- enzymatische Testmethoden.

Mehrere Arbeitsmethoden lehnen sich an die Bestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB<sub>5</sub>) an. Die Untersuchung von Sediment/Wassergemischen läßt wegen der Abhängigkeit von der Sedimentmenge und vom Sauerstoffangebot im Reaktionsgefäß nur halbquantitative Aussagen - diese reichen oft für die Einschätzung der Gewässerbeschaffenheit aus. Soll aber eine tiefergehende Aussage zur Zusammensetzung der organischen Substanz, dem evtl. vorliegenden oxidativen Abbauzustand und damit zum möglichen Zehrungspotential eines Sedimentes getätigt werden, sind oben genannte Verfahren nicht ausreichend. Das trifft u.a. dann zu, wenn Bewertungen zu abgelagerten Sedimenthorizonten, die bei Sanierungsmaßnahmen freigelegt werden und dann als neue Sedimentoberfläche für den Wasserkörper wirksam werden, getroffen werden sollen. Derartige Überlegungen werden immer wieder im Rahmen von gewässerinternen Renaturierungsmaßnahmen (z.B. Sedimentationsfallen; SCHLUNGBAUM & BAUDLER 1996 oder HANTKE et al. 1996) diskutiert.

Eine Möglichkeit, die Sedimentsauerstoffzehrung diesbezüglich zu differenzieren ist unter Anwendung der ARAS SensorBSB-Technik untersucht worden.

### **4 Das Sauerstoffzehrungsmeßgerät ARAS SensorBSB**

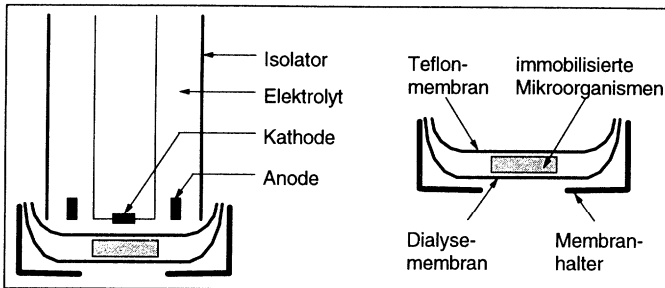
Der ARAS SensorBSB ist ein neuartiges Meßsystem zur Bestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs als SensorBSB innerhalb weniger Minuten.

Dieses Gerät wurde von der Firma Dr. Bruno Lange GmbH Berlin, Düsseldorf, Bereich Industriemeßtechnik entwickelt, um den herkömmlichen BSB<sub>5</sub>, der einige Nachteile aufweist, zu ersetzen bzw. zu ergänzen.

Als Schwachpunkte bei der BSB Bestimmung werden ja immer wieder die unzureichende Reproduzierbarkeit von  $\pm 20$  %, sowie der Zeitaufwand von fünf Tagen, der eine Prozeßsteuerung von Abwasseranlagen erschwert, genannt (z.B. RIEDEL & UTHEMANN 1994).

Das ARAS SensorBSB Gerät ist microprozessorgestützt und besteht aus einer gerührten und temperierten Meßzelle mit dem "Herzstück" (ARAS SensorBSB Bedienungsanleitung) Biosensor und Diensteinrichtungen zur automatischen Füllung und Leerung der Meßzelle mit Phosphatpuffer und einer automatischen Dosierung der Proben (RIEDEL et al. 1993).

Der Biosensor des ARAS-Systems besteht aus einer amperometrischen Sauerstoffelektrode sowie aus zwei verschiedenen Mikroorganismen-Arten: *Rhodococcus erythropolis* und *Issatchenkia orientalis*. Die Auswahl der Arten erfolgte nach verschiedenen Gesichtspunkten (z.B. Erkennung eines möglichst großen Substratspektrums, Immobilisierbarkeit in einem Biosensor, Funktions- und Lagerstabilität. Oben genannte Arten erfüllen diese Voraussetzungen und werden zwischen einer Dialysemembran (probenseitig) und Teflonmembran (elektrodenseitig) in einem Sensorkopf eingeschlossen. Abbildung 4 zeigt den Aufbau eines Membrankopfes und des kompletten Biosensors.

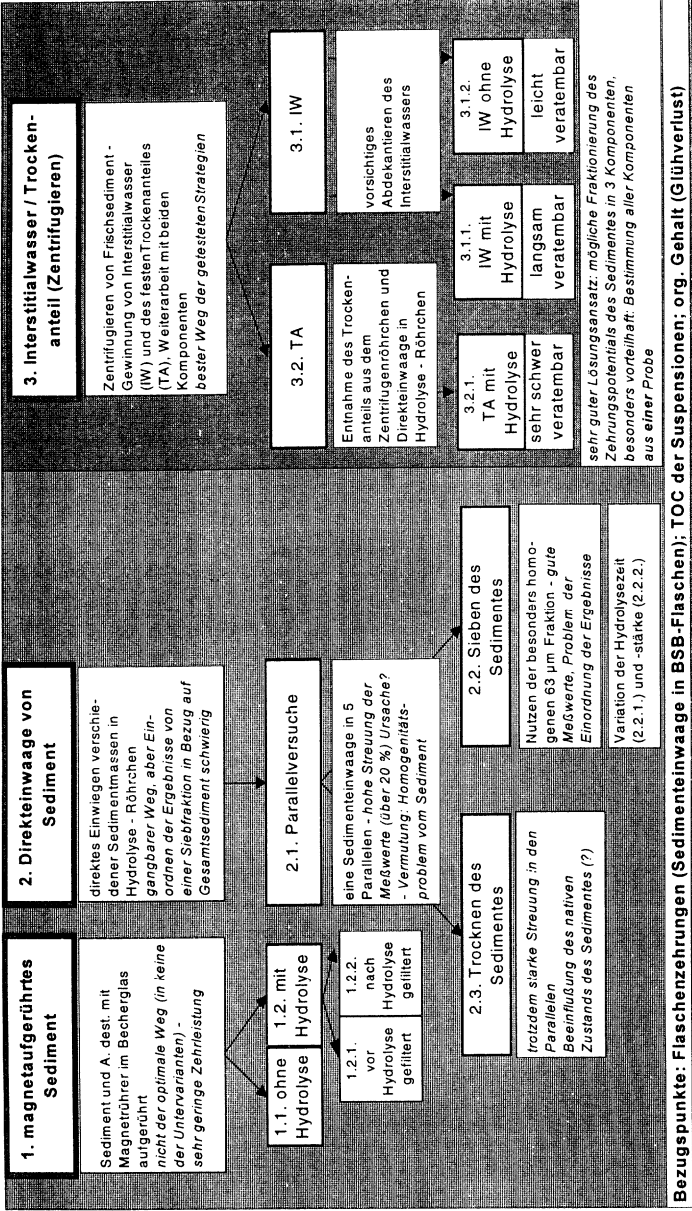


**Abb. 4** Membrankopf und kompletter Sensor (aus RIEDEL & UTHEMANN 1994)

Kommt dieser Sensor in Kontakt mit assimilierbaren Substraten, permeieren diese durch die Dialysemembran und werden durch die Mikroorganismen aufgenommen, wodurch sich die Respirationsrate ändert. Die Sauerstoffkonzentration sinkt und eine Verminderung des Stromes an der Elektrode tritt ein (RIEDEL 1993).

Die ARAS SensorBSB Meßtechnik erfordert das Vorliegen der zehrenden Substanzen in Lösung. Nachfolgende Abbildung 5 berichtet über erste experimentelle Befunde einer möglichen Probenvorbereitung von Sedimenten zur Erfassung ihres Zehrpotentials mit den Vorzügen des SensorBSB.

**Vorgehensweise bei der Erprobung des SensorBSB-Gerätes  
B - Ermittlung der Zehrungsaktivität von Sedimenten**



**Bezugspunkte: Flaschenzehrungen (Sedimente in BSB-Flaschen); TOC der Suspensionen; org. Gehalt (Glühverlust)**

**Abb. 5** Probenvorbereitungsalgorithmus für Sedimente für Zehrungsmessungen mit dem ARAS SensorBSB

## 5 Differenzierung des Zehrpotentials von verschiedenen Sedimenten

Bei den Untersuchungen wurde die Sauerstoffzehrleistung von Sedimenten mit verschiedener Charakteristik, vor allem in Hinblick ihres organischen Gehaltes, untersucht (Tab. 2).

**Tabelle 2** Verschiedene untersuchte und berechnete Parameter unterschiedlicher Sedimente

	Wassergehalt in %	org. Gehalt in % TM	org. Substanz (absolut pro 1 g FS) in mg	O <sub>2</sub> -Verbrauch in mg/g FS	O <sub>2</sub> -Verbrauch/ absolute org. Substanz in mg/g
Kirn 1	44,70	2,40	13,50	1,30	92,00
Grabow	25,80	0,80	5,90	0,90	150,00
Pf. B65	57,80	4,30	18,00	1,00	56,00
Körkwitz (Nord)	83,30	19,10	30,00	2,40	80,00
Körkwitz (Mitte)	85,50	25,50	36,00	4,30	118,00
Körkwitz (Süd)	82,30	18,50	32,00	2,50	76,00
Barthe 1	81,80	23,10	41,80	1,10	26,00
Barthe 2	82,30	23,40	41,40	1,00	23,00
Barthe 3	80,90	19,30	36,80	0,80	22,00

Dargestellt sind die Sedimentparameter Wassergehalt und organischer Gehalt sowie der Sauerstoffbedarf ermittelt für 1g Frischsediment (FS) für verschiedene Sedimente - unter besonderer Berücksichtigung von jeweils 3 Sedimenten der Körkwitzrinne und der Barthefalle (vgl. HANTKE et al. 1996). Desweiteren wurde die absolute organische Substanz pro 1g Frischsediment berechnet und die Zehrleistung auf diesen Parameter bezogen (Spalte 6). Dieser Quotient dürfte damit ein Maß der Abbaubarkeit bzw. des oxidativen Sauerstoffbedarfs der organischen Stoffe, die den organischen Gehalt einer Probe bilden, darstellen.

Durch diese Messungen, Berechnungen und Gegenüberstellungen wird deutlich, daß Sedimente mit gleichen organischen Gehalten sich in der aktuellen Sauerstoffzehrungsleistung erheblich unterscheiden können. Hierfür können verschiedene Ursachen diskutiert werden, von denen an dieser Stelle drei genannt werden sollen:

- Der organische Gehalt wird in Prozent zur Trockenmasse bestimmt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß Sedimente mit hohem organischen Gehalt oftmals mit hohen Wassergehalten und damit niedrigen Trockenmassen korreliert sind. Dadurch können sich hohe organische Gehalte in Bezug zur Sedimentfrischmasse stark relativieren (siehe Tabelle 2)
- Sedimente mit hohem organischem Gehalt sind oftmals stark verdichtet. Als Folge hiervon können Diffusionslimitierungen für Sauerstoff auftreten und Reaktionsräume für Mikroorganismen fehlen.
- Der organische Gehalt als Glühverlust ist eine äußerst allgemeine Beschreibung für die Vielfalt der organischen Stoffe die im Sedimentraum denkbar ist. Er sagt nichts aus über die Aufnehmbarkeit und die Abbaubarkeit und somit die Verwertbarkeit organischer Verbindungen durch Mikroorganismen. Es ist denkbar, daß ein Teil des organischen Materials, welches am Gewässerboden vorhanden ist, zumindest unter den vorherrschenden abiotischen und biotischen Bedingungen, nicht oder nur schwer abbaubar ist (z.B. höhermolekulare Huminstoffe).

Besonders interessant sind diese Ergebnisse vor dem Hintergrund möglicher Sanierungsstrategien: Es kann und muß nicht generell davon ausgegangen werden, daß Sedimente mit dem größten organischen Gehalt automatisch auch die stärkste Belastung des Sauerstoffhaushalts eines Gewässers darstellen (und umgekehrt).

Weiterfolgende Untersuchungen sollen sich verstärkt dem Zehrungspotential verschiedener Sedimenthorizonte widmen; bisherige Befunde, ermittelt mit anderen Verfahren (Batchversuche/Labor), weisen einen korrelativen Zusammenhang zwischen Sauerstoffzehrung und Sedimentdicke nur bis zu einem Bereich von ca. 1-2 cm nach. Dabei gilt es zu klären, ob tiefere Horizonte tatsächlich ausgezehrt sind, oder ob hier eher Diffusionslimitierungen vorliegen.

## Zusammenfassung

Mit Hilfe der ARAS Sensor BSB Technik, eine Entwicklung zur Abkürzung des Meßaufwandes der BSB-Bestimmung von fünf Tagen auf wenige Minuten, kann auch das Zehrverhalten von Sedimenten eingeschätzt und differenziert werden.

Die Methodik läßt eine Unterscheidung in leicht bis schwer abbaubare Substanzen zu. Gleiche organische Gehalte können sich im aktuellem Sauerstoffzehrungsverhalten wesentlich unterscheiden - ein Umstand, der bedeutend für Gewässerbewertungen und daraus folgende Sanierungsansätze sein kann.

## Literatur

- HANTKE, H.; SCHLUNGBAUM, G. & BERTH, U. (1996). Zur Wirkung von Sedimentationsfallen in Flußmündungsgebieten - ein Beitrag zum Schutz der Darß-Zingster Boddenengewässer. Rostock. Meeresbiolog. Beitr. 4, im Druck (dieses Heft)
- KWIATKOWSKI, B. (1996). Studien zum Sauerstoffhaushalt von Oberflächengewässern sowie Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten des ARAS SensorBSB bei der Ermittlung der Sauerstoffzehrung von Sedimenten. Diplomarbeit, Universität Rostock, Fachbereich Biologie
- RIEDEL, K. (1993). Schnellbestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs mit mikrobiellen Sensoren - ein Überblick. *Vom Wasser* 81: 243-256
- RIEDEL, K.; KLOOS, R. & UTHEMANN, R. (1993). Minutenschnelle Bestimmung des BSB. *Wasser, Luft und Boden*: 11-12/1993
- RIEDEL, K. & UTHEMANN, R. (1994). Sensor BSB - ein neuer Summenparameter. *Wasserwirtschaft/Wassertechnik*: 2/94, 35-39
- SCHLUNGBAUM, G. & BAUDLER, H. (1996a). Gewässergütebericht für die Darß-Zingster Boddenkette 1994/95 mit Vergleichen zur Langzeitentwicklung. Universität Rostock, Fachbereich Biologie/Angewandte Ökologie, 133 Seiten. (im Druck)
- SCHLUNGBAUM, G. & BAUDLER, H. (1996). Schlämme in hocheutrophen Küstengewässern - gibt es zum Baggern eine Alternative? *Bundesanstalt für Gewässerkunde/BfG (Koblenz, Berlin)*: 11, 77-90

## Verfasser

Bernd Kwiatkowski  
Prof. Dr. habil. Günter Schlungbaum  
Universität Rostock  
FB Biologie  
18051 Rostock

Dr. Elmar Grabert  
Dr. Bruno Lange GmbH  
Industriemeßtechnik  
-Abt. Biotests-  
Willstätterstr. 11  
40549 Düsseldorf