

# Güteorientierte Abflußsteuerung in Bremen-Linkes-Weserufer

## Anlagen zum Abschlußbericht Teil I



Vahrenwalder Str. 7  
30165 Hannover

Tel.: 0511-9357 250  
Fax: 0511-9357 100

## **Verzeichnis der Anlagen**

### **Anlagen zum Abschlußbericht Teil I**

- Anlage 1 Literatur zur Genauigkeit und zum Verzögerungsverhalten des BSB-M3-Gerätes
  
- Anlage 2 Gerätetechnische Betriebsprotokolle des BSB-M3-Gerätes
  
- Anlage 3 Protokolle der Versuchserie zur Bestimmung der Genauigkeit und des Verzögerungsverhaltens des BSB-M3-Gerätes
  
- Anlage 4 Beprobungsprotokolle und Analyseergebnisse der fünf beprobten Mischwasserereignisse
  
- Anlage 5 Niederschlags-, BSB-M3- und Leitfähigkeitsganglinien für ausgewählte Tage

**BETRIEBSERFAHRUNGEN MIT BSB- UND CSB-ON-LINE-MESSUNGEN**

W.GEISEL

**1. Allgemeines**

Der Ruhrverband mit Hauptsitz in Essen betreibt über 100 Kläranlagen mit einer Gesamtbelastung von rund 4 Mio. EW. Um den erhöhten Reinigungsanforderungen insbesondere hinsichtlich gezielter Stickstoff- und Phosphorelimination nachzukommen, wird der Ruhrverband in den nächsten Jahren in den Ausbau bzw. Neubau von Kläranlagen mehr als 200 Mio.DM jährlich investieren.

**2. Veranlassung**

Im Zuge der Grundlagenermittlungen für die Genehmigungsplanungen der KA Gevelsberg (Aug.'90 bis Jul.'91) und der KA Iserlohn-Letmathe (Jan. bis Dez.'91) wurden erstmals beim Ruhrverband die On-Line-Messungen von BSB, CSB,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_x\text{-N}$  und  $\text{PO}_4\text{-P}$  für die Ermittlung der Tagesfrachten und deren zeitliche Verteilung vorgesehen.

Die Messungen sollen jeweils über einen 3-6-monatigen Zeitraum ein differenziertes und genaues Belastungsbild der Kläranlage liefern. Laboruntersuchungen über einen derartig langen Zeitraum würden, falls es sich um mehrere Maßnahmen handelt, zu einem unverhältnismäßig großen Aufwand führen. Auch das neue Arbeitsblatt der ATV A 131 sieht umfangreiche Messungen mit mehreren Ganglinien als Grundlage für die Bemessung von Kläranlagen vor.

**3. Zielsetzungen**

Die zu beschaffenden Meßgeräte sollen nicht nur für die Grundlagenermittlung, sondern auch für weitere Aufgaben in den folgenden Jahren genutzt werden: die Optimierung der Reinigungsleistung einer Kläranlage insbesondere

Anlage 1

hinsichtlich der Nitrifikation und Denitrifikation. Der erste Schritt, die Analyse des Ist-Zustandes, wird derzeit auf der KA Altena durchgeführt. Die Kenntnis des BSB- bzw. CSB- / Stickstoffverhältnisses und deren zeitliche Verteilung im Zulauf zur biologischen Stufe einer KA, ermöglicht verfahrenstechnische Änderungen zur Optimierung der biologischen Prozesse.

In einem 2. Schritt kann später die Einbindung von On-Line-Messungen in die Prozeßleittechnik und somit in die Steuerung von Kläranlagen vorgesehen werden.

Die Meßgeräte sollen außerdem Aufschluß über Stoßbelastungen jeglicher Art auf Kläranlagen geben.

Während des Betriebes der Geräte sollen deren Anwendbarkeit für den "harten" Kläranlagenalltag und die damit verbundene Zuverlässigkeit überprüft werden.

Der verstärkte Einsatz von On-Line-Monitoren hängt von einem günstigen Aufwand/Nutzen-Verhältnis ab.

### 3. Anforderungen

Das Anforderungsprofil für die On-Line-Monitore läßt sich wie folgt umschreiben :

- einfache u. zuverlässige Probestromvorbehandlung
- wartungsarme u. -freundliche Bedienung
- einfache Bedienung (Kläranlagenpersonal!)
- geringe Betriebskosten
  - geringer Verschleiß
  - geringe Reparaturanfälligkeit
  - geringer Betreuungsaufwand
  - niedriger bzw. kein Verbrauch von Chemikalien
- umweltfreundlich
- hohe Zuverlässigkeit
- zuverlässiger u. schneller Firmenservice

zusätzlich:

- hohe Mobilität
- flexibler Einsatz

- möglichst zeitnah zum analysierten Probestrom erhaltener Meßwert ( -> Möglichkeit der Einbindung in die Prozeßleittechnik )

### 4. Meßcontainer

Es wurden die Kurzzeit-Meßgeräte der Fa. STIP "BIOX" (BSB) und "PHÖNIX" (CSB) beschafft, weil sie die gestellten Anforderungen weitgehend erfüllen.

Im Juni 1990 wurde das BIOX-Gerät in einem geschlossenen PKW-Anhänger ausgeliefert, um so eine möglichst große Mobilität für wechselnde Einsätze auf verschiedenen Kläranlagen zu gewährleisten.

Ab Mitte November 1990 wurden die Intensivuntersuchungen auf der Kläranlage durch den Einsatz des PHÖNIX-Gerätes und durch Stickstoff- und Phosphor-Monitore erweitert (Aufstellung in einer Garage). Ab 1991 liefern in einem entsprechend ausgebauten Meßcontainer (Abbildungen 1 u.2) die beiden STIP-Geräte und drei Dr. Lange-Geräte (AMTAX, NITRAX, PHOSPHAX) Meßwerte, die vor Ort von einer automatischen Datenerfassung verarbeitet und über Telefonleitung zur Auswertung in das Abteilungsbüro übermittelt werden.

Durch die Wahl des mobilen Meßcontainers ist sichergestellt, daß erstens sowohl die Geräte als auch die Betreuer der Geräte sich in einem beheizbaren, trockenen Raum befinden und zweitens genügend Arbeitsfläche zur bequemen Wartung und Kontrolle der Geräte zur Verfügung steht.

Anschlußbedingungen:

Frischwasser- und Stromanschluß (380 V, aber auch mit 220 V möglich) lassen sich auf Kläranlagen mit geringem Aufwand als provisorische Installation zum Meßcontainer einrichten. Den Probestrom aus dem Zulaufgerinne der Kläranlage (Ablauf Sandfang) lieferte anfangs eine Abwassertauchpumpe, die allerdings wegen zu häufiger Verstopfungen gegen ein Pumpe mit Schneidwerk ersetzt wurde.

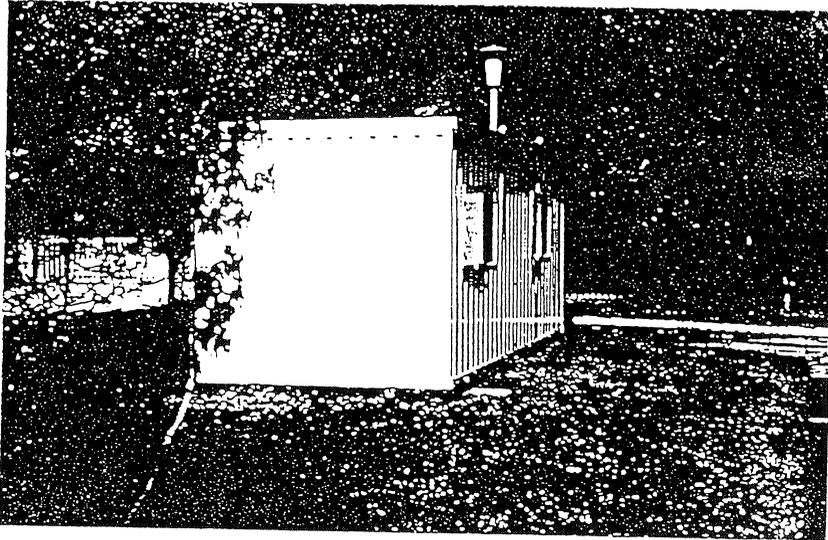


Abbildung 1 : Meßcontainer ( L/B/H = 6/2,5/2,2 m)

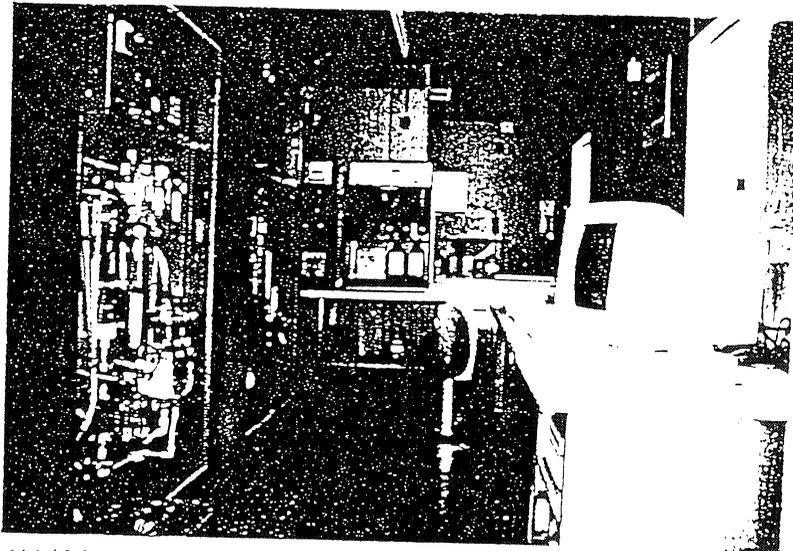


Abbildung 2: Meßcontainer Innenansicht  
 Meßgeräte v.l.n.r.: PHONIX, BIOX, NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, (NO<sub>x</sub>-N u. Ultrafiltr. hinter Trennwand), Spüle,  
 Arbeitsplatte mit PC u. Meßdatenerfassung

## 5. Betriebserfahrungen

### 5.1 BSB-KURZZEITMESSUNGEN

#### 5.1.1 KA GEVELSBERG

Kennzeichnend für die mit rund 60.000 EW belastete Kläranlage ist ein hauptsächlich häuslich geprägtes Abwasser (BSB<sub>5</sub>, CSB) mit einer für den ländlichen Raum typischen Ganglinie (gleichmäßige, hohe Tagesbelastung; sehr niedrige Nachtbelastung). Industrieller Einfluß ist deutlich spürbar durch stetig hohe Nitratkonzentrationen (5 bis 50 mg NO<sub>3</sub>-N/l) und durch NH<sub>4</sub>-N und toxische Belastungsstöße.

Nach einer Betriebszeit von ca. 6 Wochen stellte sich am BIOX ein stabiler Gerätebetrieb mit plausiblen Meßwerten ein. Die sich im Reaktionsbehälter nur langsam aufbauende Biomasse erlitt häufigere Rückschläge durch

- extern:
- automatisches Abschalten des Gerätes nach Ausfall der Abwasser- und Wasserversorgung (Probepumpe verstopft, Schlauch des Frischwasseranschlusses abgesprungen infolge hoher Druckschwankungen im Versorgungsnetz
  - toxische Stoßbelastungen (hohe pH-Werte u. Desinfektionsmittel im Abwasser)
- intern:
- Fehlsteuerung wg. defekter O<sub>2</sub>-Elektrode
  - Regelungsprobleme

Nennenswerte Ausfälle wurden in den folgenden Monaten bis zum Ende der Intensivuntersuchung (4.1.1991) nicht mehr beobachtet. Der wartungsarme Betrieb konnte überwiegend vom Kläranlagenpersonal mit geringem Aufwand (täglich 5-10 Minuten, 2x wöchentlich 15-30 Minuten) betreut werden. O<sub>2</sub>-Elektrodenaustausch, Nullpunkteichungen, Einstellen des abwasserspezifischen LK-Wertes (Eichfaktors) durch Niveau-Eichungen (Sprungbelastungen) und Vergleichsmessungen (BSB<sub>5</sub>) gehörten zu den wesentlichen Aufgaben des betreuenden Laborpersonals. (1 Labortechniker/1 Laborant). Die folgenden Abbildungen 3 bis 5 geben einen Überblick.

WARTUNGSZEITENPLAN BIOX	Intervall		Aufwand
	Empf. STIP	Ausf. RV	
Sichtkontrolle	3 - 4 d	tägl.	5 Min.
Leitung spülen, Elektroden reinigen, eichen	1 Woche	3 - 7 d	15 bis 20 Min.
Schlauchpumpe eichen	2 Wochen	2 Wo	8 Min.
Zahnradpumpe eichen	2 "	2 "	8 Min.
*Elektroden-Nullpkt.eichung	4 "	4 "	10 Min.
*Biodeckel und Umwälzpumpe reinigen	4-8 "	8 "	30 bis 45 Min.
Probesieb im Bypass	4-8 "	1) 2 Wo	20 Min.
*Sauerstoff-Elektroden wechsel u. neu belegen	n. Bedarf	6 Wo	30 bis 60 Min.
Σ Wochenmittel : 1,5 h			
*Frischwasserbehälter entkalken	3 Monate	3-6 Mo.	20 bis 30 Min.
*Papierrolle u. Farbbandwechsel	3 "	3 Mo.	5 Min.
Motorlager d. Zahnradpumpe ölen	6 Monate	STIP	} Wartungs- vertrag
Luftfilter d. Kompressors wechsel	"	"	
Zahnräder der Zahnradpumpe tauschen	n. Bedarf 12 Monate	STIP	s.o.
*Niveau-Eichungen und Vergleichsmessungen		2-4 Wo	abh. von Anz. Prob.

- 1) 1-2x wöchentl., mit auton. Drückspülung u. nach Umstellung  
in Altna 14täglig  
\* Laborpersonal Ruhrverband

Abbildung 3 : Wartungszeitenplan BIOX

**STIP**

### Wartungsplan BIOX 1000

Kalenderwoche 17 vom dat bis 17.11.

Sauerstoff-Elektrode E1 Nr.         

Sauerstoff-Elektrode E2 Nr. 0.102/10

	Sichtkontrolle										Vartung											
	unvoll	BR-11	E1 (p1/1)	E2 (p2/1)	Druck	Druck	Druck	Druck	Druck	Druck	Druck	Druck	Druck	Druck	Druck							
Mo	7:25	10.3	2.4	4.0	0.4	0.4	0.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Di	7:15	3.1	2.4	3.1	0.4	0.4	0.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mi	7:25	9.1	2.4	4.0	0.4	0.4	0.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Do	7:20	1.1	2.4	4.0	0.4	0.4	0.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fr	7:20	9.5	2.5	4.0	0.4	0.4	0.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sa	7:20	3.4	2.5	4.0	0.4	0.4	0.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
So	8:20	1.1	2.4	4.0	0.4	0.4	0.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Meßbereichsdaten / Grunddaten:

Abbildung 4 : Linke Seite des Betriebstagebuches (BIOX)

Tagesprotokolle:

Mo	858-13 Nr. 1 110996 AUSWAHL: 110996 - 0004 MAX. PW 272.3 09:48 MIN. PW 26.2 20:32 MITTEL 126.9 F-E2 1.992 / -0.126 SPELLEIT 14:40 E-STEILHEIT 11:01 E-STEILHEIT 14:40 E-STEILHEIT 00:01
Di	858-13 Nr. 1 110996 AUSWAHL: 170996 - 0004 MAX. PW 71.1 11:11 MIN. PW 145.3 04:30 MITTEL 145.3 F-E2 1.948 / -0.016 E-STEILHEIT 00:01
Mi	858-13 Nr. 1 110996 AUSWAHL: 110996 - 0004 MAX. PW 302.3 12:11 MIN. PW 44.8 05:14 MITTEL 145.8 F-E2 2.000 / -0.046 E-STEILHEIT 00:01
Do	858-13 Nr. 1 130996 AUSWAHL: 140996 - 0004 MAX. PW 223.9 10:09 MIN. PW 43.1 05:32 MITTEL 171.1 F-E2 2.016 / -0.054 E-STEILHEIT 00:01
Fr	858-13 Nr. 1 140996 AUSWAHL: 150996 - 0004 MAX. PW 354.7 09:53 MIN. PW 45.7 05:38 MITTEL 200.2 F-E2 1.956 / -0.144 SPELLEIT 07:56 E-STEILHEIT 07:22 E-STEILHEIT 07:56 E-STEILHEIT 00:01
Sa	858-13 Nr. 1 150996 AUSWAHL: 160996 - 0004 MAX. PW 319.1 11:12 MIN. PW 41.9 05:39 MITTEL 202.8 F-E2 1.974 / -0.007 E-STEILHEIT 00:01
So	858-13 Nr. 1 160996 AUSWAHL: 170996 - 0004 MAX. PW 339.7 11:53 MIN. PW 26.2 07:38 MITTEL 227.9 F-E2 1.975 / -0.004 E-STEILHEIT 00:01

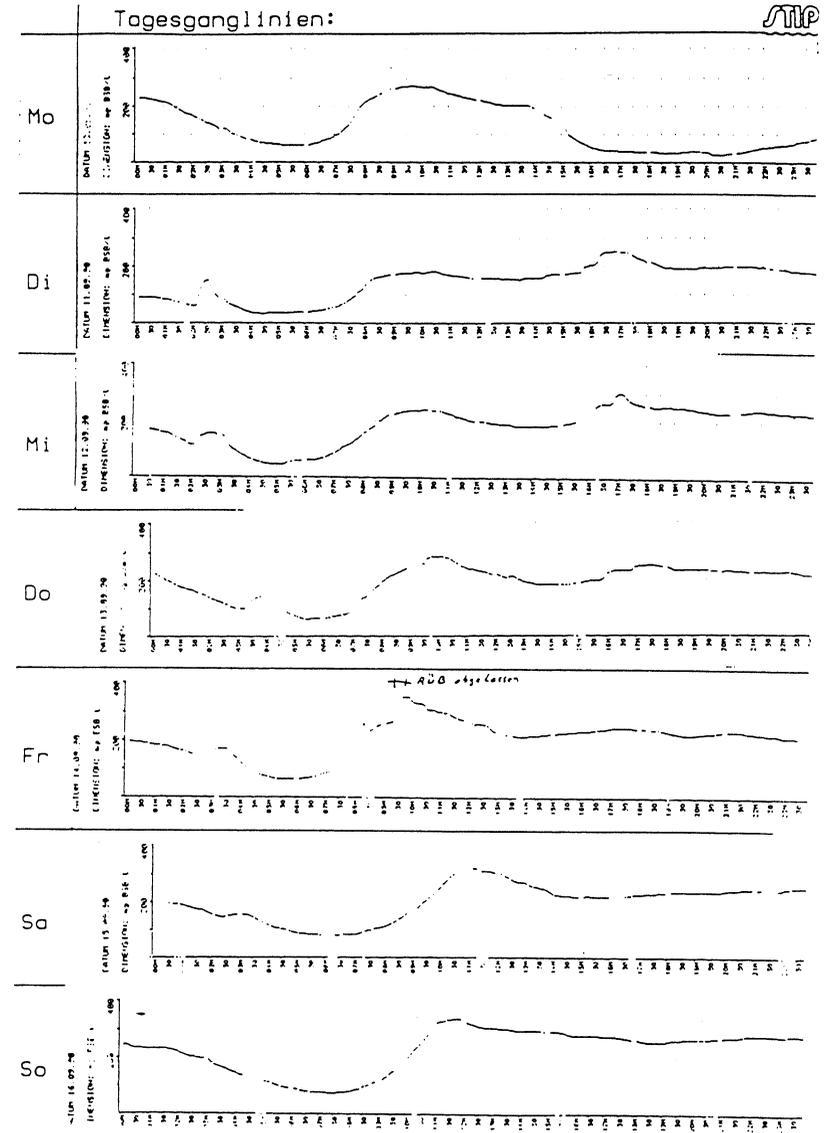


Abbildung 5: Rechte Seite des Betriebstagebuches (BIOX)

Versuche aufgrund von hohen Sauerstoffgehalten während der Nachtstunden und bei Regenwetter mit einer 2. Sauerstoffelektrode zu arbeiten, wurden wegen der geringen Effizienz wieder revidiert.

#### 5.1.2 KA ISERLOHN-LETMATHE

Die im Mittel mit ca. 64.000 EW belastete KA Is.-Letmathe zeichnet sich durch beträchtlichen industriellen Einfluß und eine sich daher typischerweise ständig wechselnde Belastung aus. Tagesfrachten des BSB<sub>5</sub> bzw. CSB schwanken im Verlauf einer Woche bis zu einem Faktor 3. Ca. 50 % der Zulauffracht stammen aus 2 Industriebetrieben (Emulsionsspaltanlage und Brauerei).

Zulaufmessungen v. 18.1.-11.4.1991:

Innerhalb der ersten 3 Wochen nach Inbetriebnahme wird zwar sehr schnell die Biologie des Reaktors aufgebaut (3-4 Tage), aber bedingt durch erst spät entdeckte Frostschäden (die Meßgeräte haben bei dem plötzlichen Kälteeinbruch im wg. der Umsetzung der Geräte nicht beheizten Meßcontainer Frostschäden davongetragen) und durch den Ausfall der Umwälzung wird ein stabiler Meßbetrieb erst nach 3 Wochen erreicht. Ohne Beanstandung lief das BIOX-Gerät mit nur einem O<sub>2</sub>-Elektrodenwechsel bis zum Ende dieser Meßreihe.

Messungen am Ablauf Vorklärung v. 11.4.-4.7.1991:

Diese Meßreihe sollte vor allem Aufschluß über den Grad des Einflusses der im Zulauf der KA vorhandenen Feststoffe auf die Meßgenauigkeit geben, da der BIOX- und PHÖNIX-Probestrom über ein Bypass-Sieb mit einer Durchtrittsöffnung von 0,5 mm gesiebt wird.

Bis auf einen am Wochenende unbemerkt abgesprungenen Schlauch der Schlauchpumpe lief der Monitor ohne erhöhten Wartungsaufwand bis zur Außerbetriebnahme zuverlässig durch.

#### 5.2 CSB-KURZZEITMESSUNGEN

##### 5.2.1 KA GEVELSBERG (13.11.1990 - 5.1.1991)

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme (Vergleichsmessung/Stichprobe ohne nennenswerte Abweichung vom PHÖNIX-Wert) wurde an dem parallel zum BIOX und in Reihe zu den übrigen ON-Line-Monitoren (mit vorgeschalteter Ultrafiltration) eine verstärkte Verschlämzung/Verstopfung des Bypass-Siebes festgestellt. Nach 2 Wochen wurde von der Fa. STIP die Steuerung und eine Ozon-Elektrode ausgetauscht. Ohne weitere Ausfälle/Störungen wurde das PHÖNIX bis zum Ende dieser Meßreihe betrieben, allerdings konnte nur durch den erhöhten Reinigungsaufwand am Bypasssieb (2x pro Woche, ca. 30 Minuten) ein repräsentativer Probestrom untersucht werden.

Die Abbildungen 6 bis 8 geben einen Überblick über die Wartungsarbeiten am BIOX.

##### 5.2.2 KA ISERLOHN-LETMATHE

Zulaufmessungen v. 18.1.-11.4.1991

Wegen des größeren Meßbereiches mit zu erwartenden Spitzenkonzentrationen von über 2.000 mg CSB/l wurde nach durchflossener Schlauchpumpe eine Taktung des Probestroms vorgenommen. Bei der 3 Wochen später vorgenommenen Wartung durch die Fa. STIP wurde diese Taktung wegen der sehr un stetigen Ganmlinie wieder entfernt. Selbstproduzierte Ausfälle z.B. durch Luft in der Säuredosierpumpe (beim Phosphorsäurewechsel wurden Leitungen nicht genügend entlüftet) oder Wasser im Aktivkohlefilter bedingt durch Rückstau und abgesprungener Schlauchklemme (nicht fest genug angezogen), beeinträchtigten die Kontinuität der Messungen. Ein wesentlich erhöhter Reinigungsaufwand am Bypass-Sieb und zum Teil unplausible Werte bei den Vergleichsmessungen schmälerten das sonst so positive Bild der STIP-Geräte. Durch den Einbau einer automatischen Druckspülung des Bypass-Siebes (BIOX und PHÖNIX) mit einer

WARTUNGSZEITENPLAN PHÖNIX	Intervall		Aufwand
	Empf. STIP	Ausf. RV	
Sichtkontrolle	3 - 4 d	tägl.	5 Min.
Abwasserleitg. spülen	1 Woche	3 - 7 d	5 Min.
PH-Sonde eichen	2 Woche	2 Wo	30 Min.
Schlauchpumpe eichen	2 Wochen	2 Wo	8 Min.
Zahnradpumpe eichen	2 "	2 "	8 Min.
*O <sub>2</sub> -Sonden reinigen u. Balance-Eichung	2 "	1 "	30 bis 45 Min.
Probesieb im Bypass rein.	4-8 "	1) 2 Wo	20 Min.
Auffüllen u. Austauschen der O <sub>2</sub> -Flaschen	n. Bedarf	6 Wo	5 Min.
*Auffüllen der Phosphorsäure	"	4 Wo	30 Min.
*Elektrolyt d. Bezugselekt.	"	(6 Mo)	30 Min.
Σ Wochenmittel :			1,5 h
*Papierrolle u. Farbbandwechsel	3 Monate	3 Mo.	5 Min.
Luftfilter d. Kompressors	6 Monate	STIP	Wartungsvertrag
Zahnräder der Zahnradpumpe tauschen	n. Bedarf 12 Monate	STIP	s.o.
*Niveau-Eichungen und Vergleichsmessungen		2-4 Wo	abh. von Anz. Prob.

1) 1-2x wöchentl., in Letmathe z.T. täglich, mit autom. Drückspülung u. nach Umstellung in Altena 14täglig  
 \* Laborpersonal Ruhrverband

Abbildung 6 : Wartungszeitenplan PHÖNIX



### Wartungsplan PHÖNIX

Kontrollzeitraum [25] vom [22.2] bis [23.6]

Name: [LETMATHE]

Mitarbeiter: [AB-VL]

	Sichtkontrolle										Vorfahrt				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Mo	12.6	13.6	14.6	15.6	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	182
Di	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	180
Mi	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	178	
Do	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	1.7	2.7	175
Fr	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	1.7	2.7	172	
So	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	1.7	2.7	172	172	
So	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	1.7	2.7	170	170	170	

STIP-CSB NR. 2 218691  
 AUSDRUCK: 218691 - 00:01

MAX. FW 751.2 02:18  
 MIN. FW 49.7 11:04  
 MITTEL 347.8

B-EI 1611 / +3 X  
 B-E2 4627 / +3 X  
 BALANCE 00:01

STIP-CSB NR. 2 218691  
 AUSDRUCK: 218691 - 00:01

MAX. FW 446.9 13:04  
 MIN. FW 119.8 09:11  
 MITTEL 363.8

B-EI 1386 / +3 X  
 B-E2 1231 / +4 X  
 BALANCE 00:01

Abbildung 7 : Linke Seite des Betriebstagebuches (PHÖNIX)

Mo

Di

Mi

Do

Fr

So

So

STIP-CSB NR. 2 178691 AUSDRUCK: 186691 - 00:01	MAX. FW 1379.6 20:17 MIN. FW 84.3 06:37 MITTEL 614.4 B-EI 1312 / +1 X B-E2 1160 / +3 X BALANCE 00:01
STIP-CSB NR. 2 186691 AUSDRUCK: 196691 - 00:01	MAX. FW 1234.3 14:52 MIN. FW 239.6 23:58 MITTEL 391.9 B-EI 1385 / +4 X B-E2 1280 / +4 X BALANCE 00:01
STIP-CSB NR. 2 196691 AUSDRUCK: 206691 - 00:01	MAX. FW 1277.2 17:59 MIN. FW 162.7 05:56 MITTEL 391.8 B-EI 1437 / +4 X B-E2 1316 / +9 X BALANCE 00:01
STIP-CSB NR. 2 206691 AUSDRUCK: 216691 - 00:01	MAX. FW 1434.2 06:33 MIN. FW 713.7 20:16 MITTEL 846.8 B-EI 1444 / +0 X B-E2 1380 / +1 X BALANCE 00:01
STIP-CSB NR. 2 216691 AUSDRUCK: 226691 - 00:01	MAX. FW 967.3 21:59 MIN. FW 318.9 12:58 MITTEL 669.8 B-EI 1382 / +1 X B-E2 1299 / +20 X BALANCE 00:01
STIP-CSB NR. 2 226691 AUSDRUCK: 236691 - 00:01	MAX. FW 1214.3 00:35 MIN. FW 297.1 21:43 MITTEL 846.8 B-EI 1344 / +3 X B-E2 1279 / +1 X BALANCE 00:01
STIP-CSB NR. 2 236691 AUSDRUCK: 246691 - 00:01	MAX. FW 446.9 13:04 MIN. FW 119.8 09:11 MITTEL 363.8 B-EI 1386 / +3 X B-E2 1231 / +4 X BALANCE 00:01

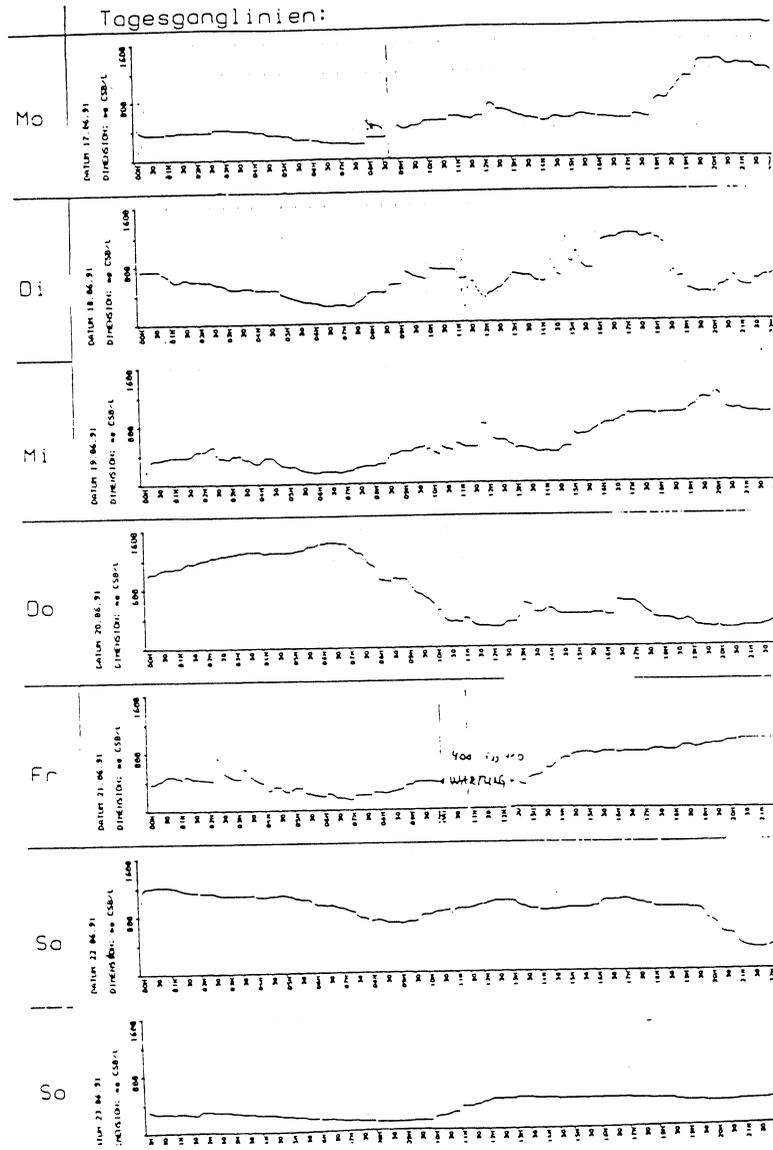


Abbildung 8: Rechte Seite des Betriebstagebuches (PHÖNIX)

CSB Probenmessung KA Altana vom 29.07.91

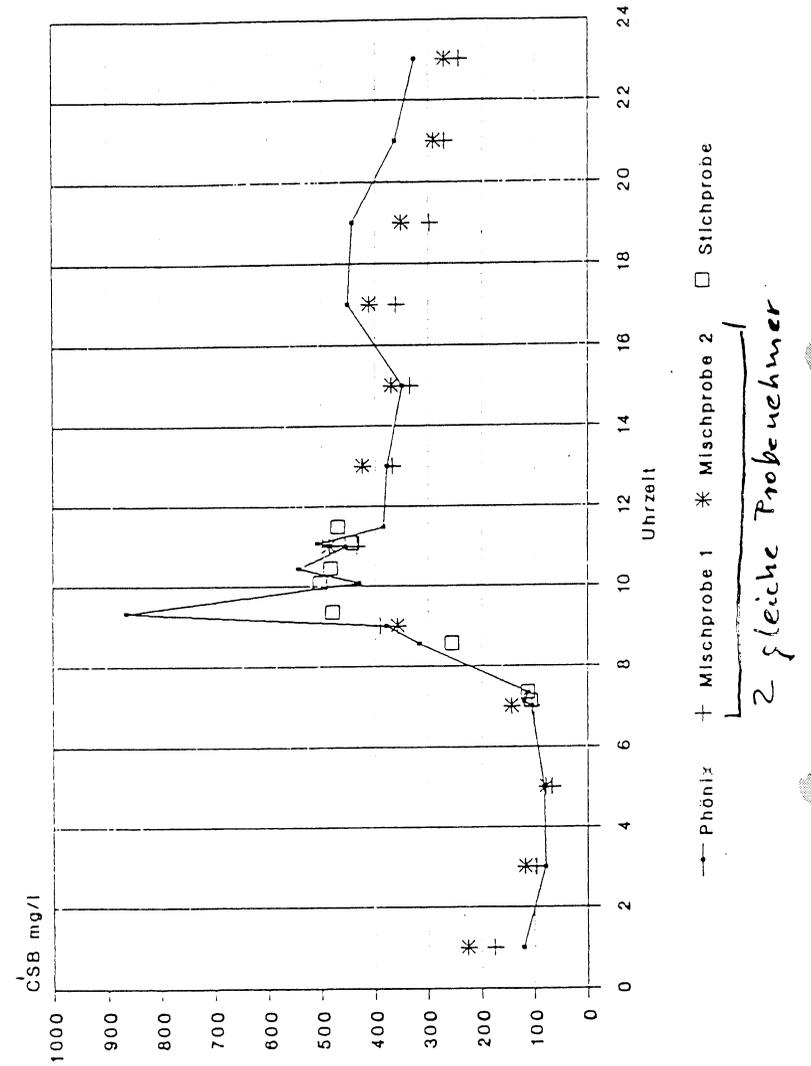


Abbildung 9: Vergleichsuntersuchungen zu den Zulaufmessungen auf der KA Altana : 2 Probenehmer mit 2h-Mischproben, PHÖNIX-CSB, Stichproben am Bypass-Sieb

Vergleichsmessungen, 2h-Mischproben) auf die Ergebnisse der Vergleichsmessungen deutlich. (Abb.9)  
PHÖNIX und BIOX liefen nach Umstellung störungsfrei und mit geringerem Wartungsaufwand.

#### 6. Plausibilitätsüberprüfungen, Auswertung der Daten

Es wurden relativ wenige Vergleichsmessungen zu den Meßreihen auf der KA Gevelsberg und KA Letmathe vorgenommen (  $\varphi$  2 bis 5 Vergleichsanalysen - 2-h-Mischproben oder Stichproben - alle 14 Tage). Diese dienten in erster Linie zur Eichung der Monitore und zur Findung des richtigen LK-Wertes. Probleme, den LK-Wert zu bestimmen, wurden während der Messungen auf der KA Letmathe deutlich. Rückblickend muß auf größte Sorgfalt bei der Probenahme geachtet werden, um eine möglichst repräsentative Probe für Vergleichsmessungen zu erhalten!

Zur weiteren Plausibilitätskontrolle dienten anfangs die On-Line-Werte der Wassermengenmessung. Später kamen noch pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, O<sub>2</sub>-Gehalt im Belebungsbecken, Anzahl der eingeschalteten Belüfteraggregate und die gegenseitige Abhängigkeit der CSB-, BSB-, NH<sub>4</sub>-N-, NO<sub>x</sub>-N-, PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen hinzu.

Eine starke Verdünnung der Abwasserkonzentrationen bei Regenwetter ist oftmals der Grund für die Einbrüche der CSB- bzw. BSB-On-Line-Ganglinien - nur die Betrachtung der Ganglinien im Betriebstagebuch führt schnell zu Fehlinterpretationen.

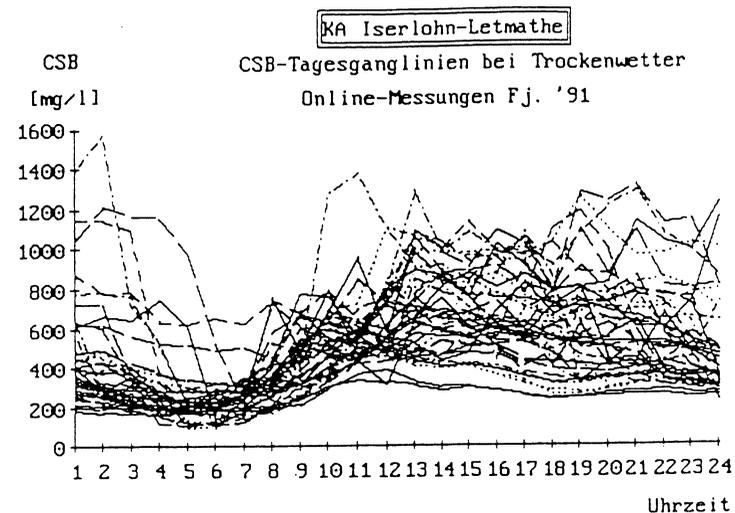


Abbildung 10: Überlagerung der Tagesganglinien der CSB-Messungen bei Trockenwetter auf der KA Is. Letmathe (Zulauf Vorklä rung)

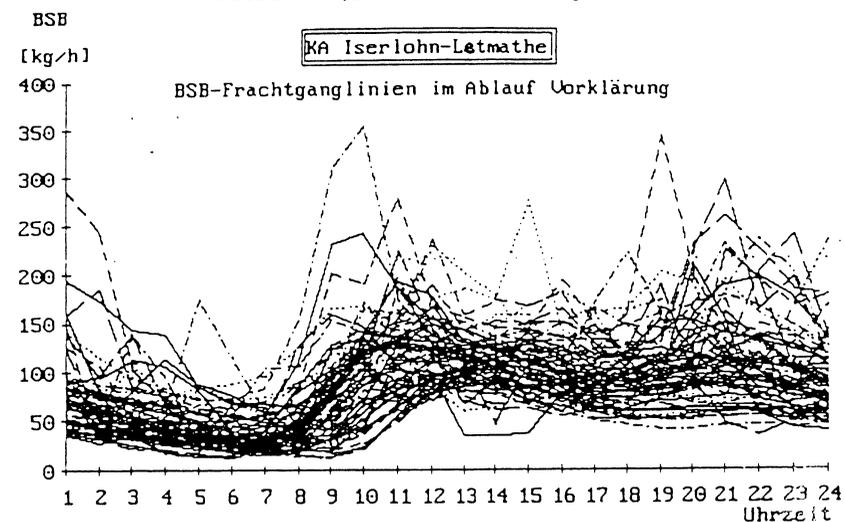


Abbildung 11: Überlagerung der Tages-Fracht-Ganglinien der BSB-M3-Messungen auf der KA Is.-Letmathe (Ablauf Vorklä rung)

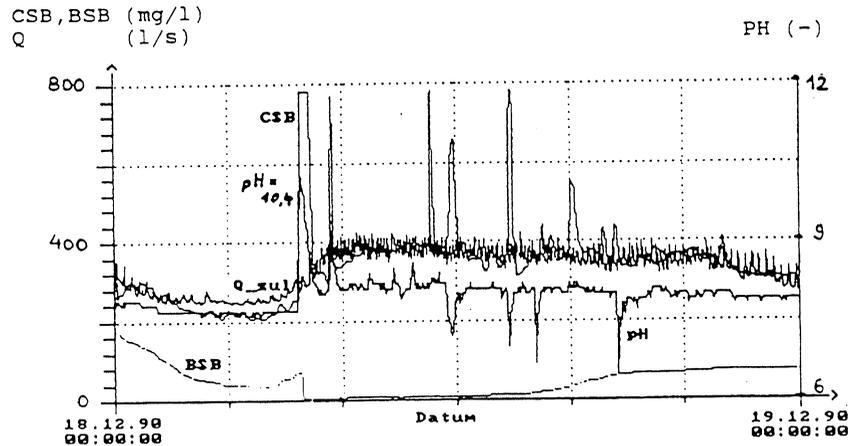


Abbildung 12: Toxische Stoßbelastung im Zulauf der KA Gevelsberg, die Biomasse des BIOX-Monitors war ca 10 Stunden gestört

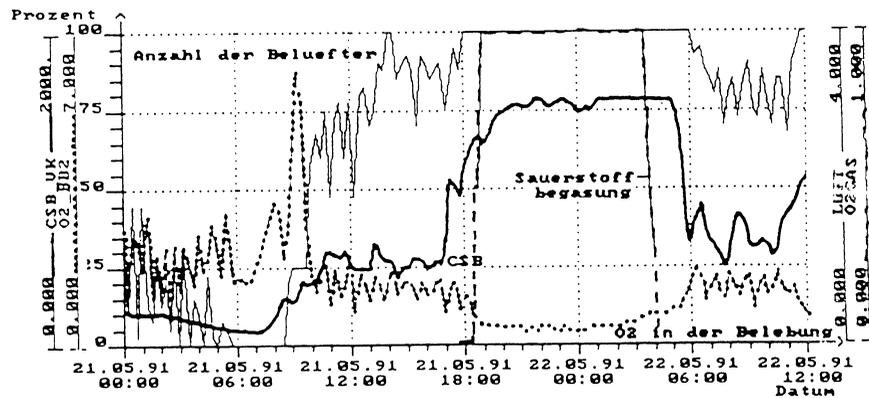


Abbildung 13: Sauerstoffbilanz bei einem Belastungsstoß auf der KA Is.Letmathe ( $O_2$ -Gehalt im Belebungsbecken, CSB-Anstieg von ca.500 auf 1600 mg/l, alle Belüftungsaggregate (4+1) und zusätzlich  $O_2$ -Begasung eingeschaltet)

### 7.Zusammenfassung und Ausblick

Die beiden Kurzzeitmeßgeräte (3 Minuten zeitverzögerter Meßwert) erfüllten größtenteils die an sie gestellten Erwartungen. Mit einem Wartungs- und Kontrollaufwand von ca. 1,5 h pro Woche, der zudem überwiegend von Kläranlagenpersonal durchgeführt werden kann, ist der Einsatz vertretbar.

Bei einer Addition der Ausfallzeiten (ohne externe Störungen wie z.B. Abwasserpumpe verstopft) läßt sich die große Zuverlässigkeit der Geräte durch folgende Kenndaten beschreiben: BIOX ca 1,8 % Ausfallzeit bei 10.000 Betriebsstunden, PHÖNIX ca 4 % Ausfallzeit bei 6.800 Betriebsstunden.

Finanzielle Einsparungen durch Optimierung der Kläranlagenbemessung oder des Kläranlagenbetriebes sind bei entsprechender Auswertung durchaus denkbar, da bei den bisherigen Ansätzen entsprechende Sicherheitszuschläge vorgenommen werden, die das Manko einer zu kurzen und wenig differenzierten Laboruntersuchung (Stichproben, 2h/24h-Mischproben,..) ausgleichen sollen.

Es bleiben die ersten Pilotversuche mit Einbindung der On-Line-Messungen in die Prozeßleittechnik abzuwarten. Zukunftsperspektive könnte die Übernahme der aktuellen On-Line-Werte in ein Rechnersystem mit dynamischer Simulation des Kläranlagenprozesses sein.

- /1/ Handbuch zum CSB-PHÖNIX  
STIP Siepmann und Teutscher GmbH
- /2/ Handbuch zum BIOX-1000  
STIP Siepmann und Teutscher GmbH
- /3/ A 131  
Regelwerk der Abwassertechnischen Vereinigung e.V.(ATV)

## THE CONTINUOUS MEASUREMENT OF SHORT-TIME BOD

Peter Kalte

*STIP Siepmann und Teutscher GmbH, Kreuzstraße 4, D-6107  
Reinheim, FRG*

### ABSTRACT

The continuous short-time BOD-measurement BOD-M3 is a measuring process which has been developed by STIP Siepmann und Teutscher GmbH in Reinheim and which has met with general approval in more than 200 local and industrial applications up to now.

The BOD-M3-measuring unit determines the BOD

- o continuously in a complete way
- o with a measuring delay of 3 minutes
- o within a measuring range from 2 - 10,000 mg BOD/l
- o and makes it available as output signal.

Because of the short time lag (compared to 5 days for BOD<sub>5</sub>, a few hours for COD, and approximately one-half hour for the "plateau BOD") and the continuous recording of the measurements, it is possible to achieve load-dependent control of the sewage plant.

The method of measurement is described and two applications are explained.

### INTRODUCTION

The BOD<sub>5</sub> is of central importance for the waste water control. It is used for the limitation of the right of discharge as well as for dimensioning of clarification plants (ATV A 131). For an economic and secure operation the rapid determination of biodegradable substances is of decisive importance. The BOD<sub>5</sub> with its analyzing time of 5 days can, however, only be used for subsequent documentation purposes. For this reason the BOD<sub>5</sub> has been exposed to vehement critique for a long time (Wagner, 1976; Wilderer et al., 1970 and 1977).

Some procedures for shortening of the analyzing time have been developed, not even one of these procedures has made it to series production (Wilderer et al., 1978; Hartmann, 1974; Heckershoff, 1983). In 1982 and 1983 Messrs. STIP developed an apparatus determining the BOD continuously and in a reliable way within 3 minutes, and called this value BOD-M3 (Riegler, 1984). Because of its solid construction and its simple operation it has met with international approval in the meantime.

P. KALTE

## DESCRIPTION OF THE SHORT-TIME BOD-MEASUREMENT

The measuring unit consists of a weather-proof aluminium cabinet with the following dimensions (width x height x depth): 1250x1800 x500 mm. The measuring unit is shown in the following figure:

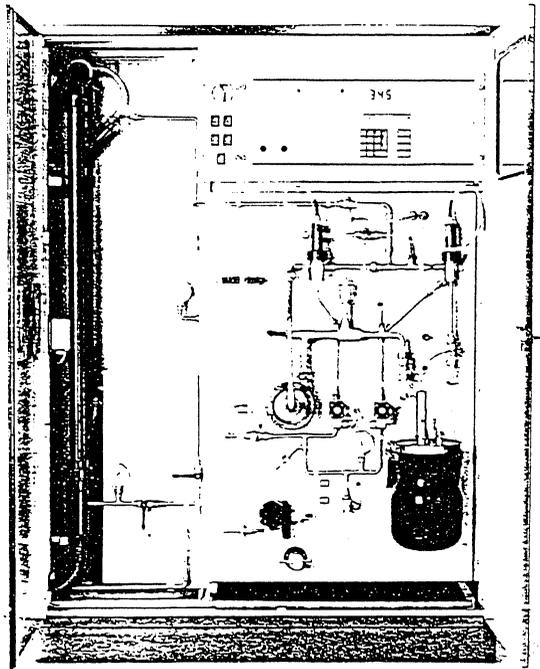


Figure 1: Front side of the short-time BOD-measuring unit

For explanation of the measuring process the major components are given in the following diagram:

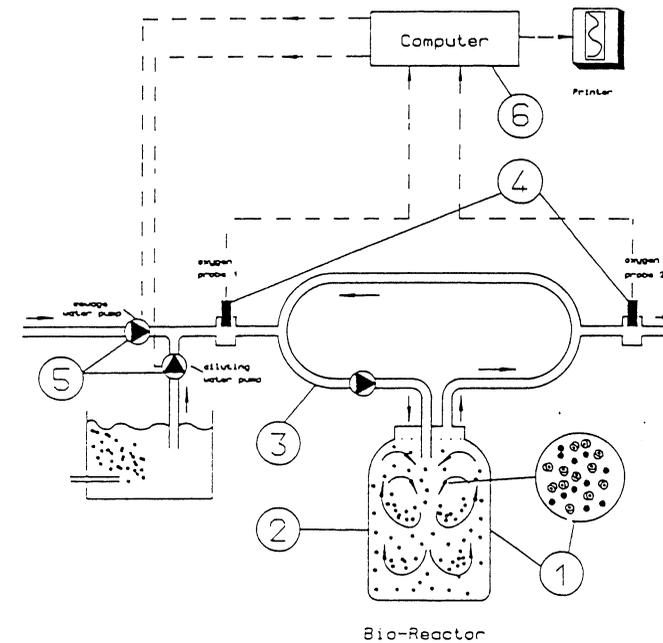


Figure 2: Processing diagram for the continuous short-time BOD-measurement

There are numerous small plastic rings (1) in a bio-reactor (2). They offer the growth surface for microorganisms. In an automatic control system the waste water is diluted with dilution substance (5) up to a point, where a constantly low supply of nutritive substance for the biology is obtained. This is controlled through the oxygen consumption of the biology by the bio-reactor supply and discharge (4). From the dilution rate between the waste water and dilution water pump the BOD-pollution is calculated (6).

The measuring unit is calibrated on the BOD, and attains a reproducibility of 98%. A direct comparison shows that the unit is 10 times more precise than the BOD, based on the DIN-methodology (Köhne et al., 1986). The measuring unit has a built-in sample treatment as a bypass screen with a hole diameter of 0.5 mm, self rinsing. It calibrates its oxygen probes automatically on a daily basis and is equipped with an obstruction-proof 8 mm copper wiring. Maintenance is directed and controlled by the computer through simple user commands.

### THE SHORT-TIME BOD-M3 AS COMMAND VARIABLE

Because of its short time delay of 3 minutes the BOD-M3 is more and more used for the supervision and control of waste water treatment plants. The following is to be specially mentioned:

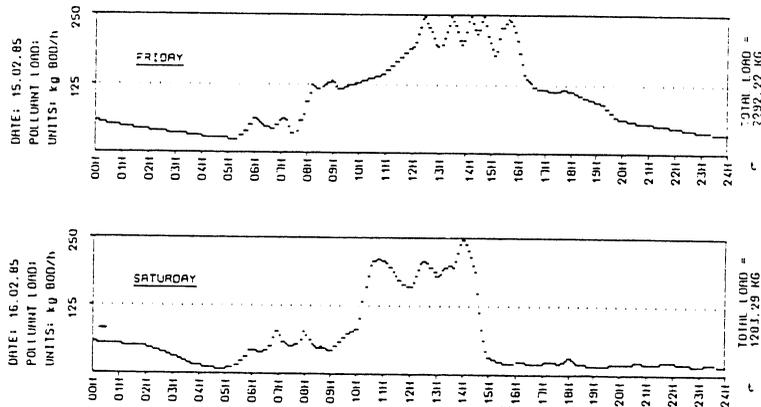
- o control of equalizing tanks
- o regulation of oxygen consumption
- o proportional feed of nutritious substances (ex. wastewater from paper)
- o determination of data for study purposes
- o determination of loads and cost break-down
- o control of process waters of treatment plants-internal
- o control of sludge loading

Out of the field of application which has become extremely wide in the meantime, two extremely simple but very effective examples are described in the following to demonstrate the application of the BOD-M3-measurement.

### TWO EXAMPLES OF APPLICATION OF SHORT-TIME BOD-MEASUREMENT

#### 1. Load-dependent control of a 2-step plant

A town with a strong influence of working periods in a vine cultivation area runs a 2-step biological water treatment plant. A mechanical preliminary clarification consisting of a screen, a sand trap and a preliminary clarification tank is followed by a bio-filter as first step and an activated sludge tank as second step. The water treatment plant has to treat wastewater from the whole town, of a considerable number of smaller industrial users, from one wholesale butcher's and one wholesale baker's trade. The two users mentioned last, the wholesale butcher's and baker's trades, produce extremely high concentrations of wastewater and fluctuations of load for the treatment plant. The daily loads usually fluctuate around the factor 7, between 500 and 3500 kg BOD<sub>5</sub>/d. The following diagrams show in an exemplary manner the progress of the polluting load in the incoming sewer line from Friday to Sunday.



### Continuous measurement of BOD

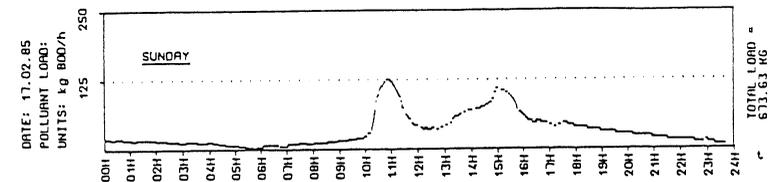


Figure 3: BOD-load-curve at the inlet of the plant

High concentrations and loads visibly break off on Saturdays after the end of the shift at 2.00 p.m. Only a low load passes the plant during the weekends. The low load increases the oxygen content even at the lowest stage of aeration and floating sludge appears in the secondary sedimentation tank. At the end of times with low load the high shock of BOD-load at the beginning of the week leads to a breakdown of the capacity of the plant with high BOD- and nitrogen-discharge values.

The control of the two-step plant is shown in the following process diagram:

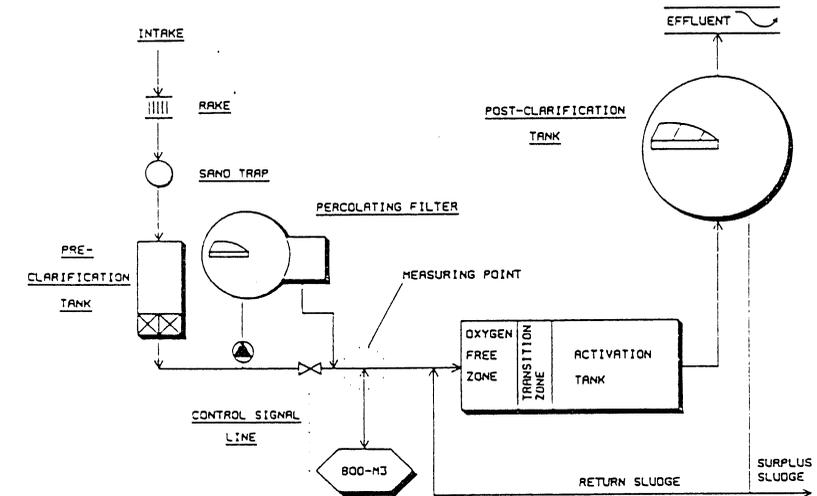


Figure 4: Sewage treatment plant with nitr-denitrification

At the "Check-control point" at the outlet of the bio-filter the BOD-concentration is measured in comparison to the water quantity. Loading of the bio-filter is now controlled in such a way, that the product of both, the BOD-load, remains constant at the inlet of the activated sludge tank. This is done by controlling the gate-valve behind the supply of the bio-filter. This control makes possible to vary the capacity of the bio-filter at its supply in case of a highly fluctuating BOD-load in such a way that the sludge load on the activation stage can be run nearly constantly.

This also creates the basis for the setting of the oxygen supply at the intake stage of the activated sludge tank in such a way, that a connected denitrification stage can be operated. A sufficient supply with higher BOD-values is decisive for the efficiency of denitrification. If an anaerobic stage for a biological elimination of phosphorus is provided, a controlled addition of BOD-enriched wastewater is possible.

2. Control of internal process waters

This specific case concerns a municipal water treatment plant with approximately 70,000 population equivalents and an activated sludge stage. Wastewater of the preliminary sludge thickener, the filtrate of sludge dewatering and wastewater with fecal substances are considered as internal process waters.

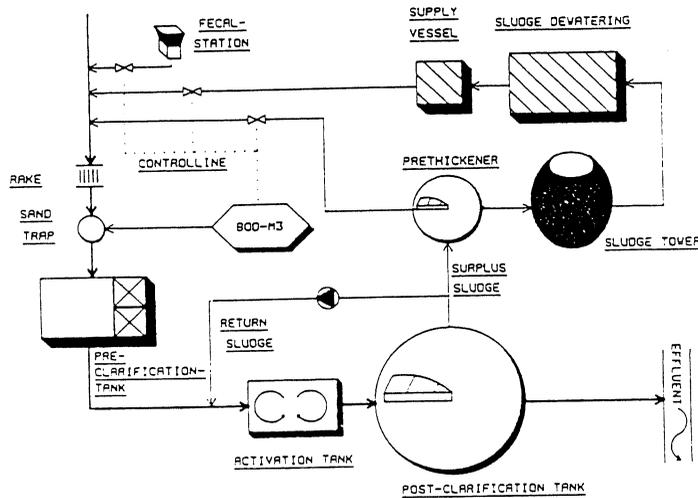


Figure 5: Process diagram of wastewater treatment plant

Under uncontrolled conditions process waters are added depending on the daily work cycle. In the following diagram each addition can be determined as a peak:

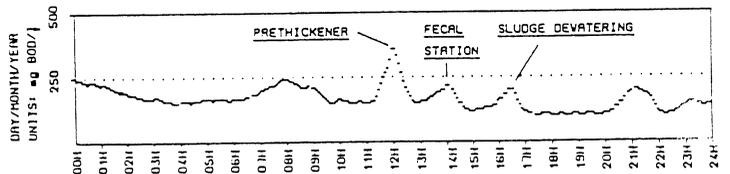


Figure 6: Progress line

These internally produced peaks can be easily modified by continuous measurement. The owner of a wastewater treatment plant executes an exact dosing of process waters during periods with low loads and obtains a comparative load. This has positive results on the effectiveness of purification and the utilization of energy.

SUMMARY

With the continuous short-time BOD-measurement by Messrs. STIP with a time delay of only 3 minutes the BOD has obtained a new place within the field of supervision and control of wastewater treatment plants. At many places new strategies for optimizing of biological purification processes are being developed (Köhne, 1985; Kunz 1988). This is necessary in order to guarantee in the future increasing requirements concerning the effluent quality under economically reasonable efforts.

REFERENCES

ATV A 131. Regelwerk der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. (ATV) Arbeitsblatt A 131  
 Hartmann, L. (1974). Die Plateau-BSB-Messung und Aussagekraft Umwelthygiene 5, pp 99/102.  
 Heckershoff, H. (1983). Ein Meßgerät zur kontinuierlichen Bestimmung der Substratkonzentration von Abwässern und Atmungsgeschwindigkeit von Belebtschlämmen. Dissertation, TU Berlin.  
 Köhne, M. (1985). Modeling and Simulation of Wastewater Treatment Control Systems. Contribution to the 11th IMACS World Congress, Oslo, August 1985.  
 Köhne, M., Siepman F.W., Dr. te Heesen (1986). Der BSB<sub>5</sub> und der kontinuierliche Kurzzeit-BSB (BSB-M3) im Vergleich. Korrespondenz Abwasser 9, 1986, pp 787-793  
 Kunz P. (1988). Prozeßführung von Kläranlagen. Springer Verlag  
 Riegler, G. (1984). Die kontinuierliche Kurzzeit-BSB-Messung. Korrespondenz Abwasser 31, pp 369-377  
 Wagner, R. (1976). Neue Gesichtspunkte zur Methodik und zur Beurteilung des Verdünnungs-BSB. gwf-wasser/abwasser 117, pp 443/450  
 Wilderer, P., Engelmann, G., Schmenger H. (1977). Kritik am BSB<sub>5</sub> als Verschmutzungsparameter. gwf-wasser/abwasser 118, Heft 8  
 Wilderer, P., Hartmann L., Janeekova, J. (1970). Kritik an der Verwendung des Langzeit-BSB zur Beurteilung von Rohabwasser. Z.f. Wasser- und Abwasserforschung 3  
 Wilderer P., Hartmann L., Keser, G. (1978). Der Plateau-BSB als Maß für die Konzentration an biologisch abbaubarer Substanz Z.f. Wasser- und Abwasserforschung 11. Jg. Nr. 3/4

# Der BSB<sub>5</sub> und der kontinuierliche Kurzzeit-BSB (BSB-M3) im Vergleich

M. Köhne, Siegen; F. W. Siepmann, Reinheim; D. te Heesen, Dinslaken

## Zusammenfassung

Der BSB<sub>5</sub> und der BSB-M3 sind durch ein geeignet gewähltes Testverfahren gegenübergestellt worden. Die Untersuchung zeigt deutlich, daß bei vergleichenden Untersuchungen in der Abwasseranalytik nicht auf definierte Eingangsbedingungen verzichtet werden kann. Eine Sprungbelastung, in Form einer Treppenkurve mit zwei Konzentrationsniveaus und einem vorgegebenen Verhältnis dieser Niveaus zueinander, hat sich bei dieser Untersuchung bewährt.

Die Ergebnisse der BSB<sub>5</sub>-Vergleichsmessung als Ringversuch schwanken erwartungsgemäß sehr stark. Die jeweiligen Labormittelwerte mit Abweichungen von 10 bis 15% um den Mittelwert sind verfahrensbedingt und akzeptabel.

Die BSB-M3-Messung im Versuch bildet die Eingangsbelastung als Treppenkurve ab. Die geforderten Plateaus werden eingehalten. Das vorgegebene Verhältnis von 3,0 wird mit 3,16 um 5% überschritten. Die Fehlermöglichkeit bei der BSB-M3-Messung ist im wesentlichen auf Abweichungen der Mischpumpen und der Sauerstoffmessungen begrenzt. Die Reproduzierbarkeit für die Erfassung einer biologisch abbaubaren Substanz liegt zwischen 95 und 98%.

Die Wiedergabe Genauigkeit des BSB-M3 ist durch den BSB<sub>5</sub> nicht zu erreichen. Es ist daher sinnvoll, neben dem auf den BSB<sub>5</sub> geeichten BSB-M3 auch den ungeeichten Standardwert des BSB-M3 anzugeben.

## A COMPARISON BETWEEN BOD<sub>5</sub> AND CONTINUOUS SHORT-TERM BOD (BOD-M3)

### Summary

A suitable test method was chosen to compare BOD<sub>5</sub> and BOD-M3.

The test has clearly shown that in comparative studies in the field of sewage analysis we cannot do without well-defined input conditions. A step-function load in the form of a step curve with two concentration levels and a previously fixed relationship between these levels has proven to be useful in this test.

The results of the comparative BOD<sub>5</sub> measurements which were carried out as a co-operative test show considerable fluctuations, as had been expected. The mean laboratory values, with deviations of 10 to 15 percent from mean value, are due to the methods used and are acceptable.

The BOD-M3 measurement in the test depicts the initial load as a step curve. The required plateaus are complied

with. With a value of 3.16, the set ratio of 3.0 was exceeded by 5%. The possibility of errors occurring in the BOD-M3 measurement is mainly limited to deviations of the mixing pumps and of the oxygen measurements. The reproducibility for the detection of a biodegradable substance varies between 95 and 98%.

The BOD-M3's accuracy of reproduction cannot be obtained with BOD<sub>5</sub>. Therefore it is advisable to quote the uncalibrated BOD-M3 standard value in addition to the BOD-M3 which is calibrated to BOD<sub>5</sub>.

## LA DBO<sub>5</sub> ET LA DBO (DBO—M3) À COURT TERME EN COMPARAISON

### Résumé

La DBO<sub>5</sub> et la DBO—M3 ont été opposées l'une à l'autre par un procédé de test approprié. L'examen montre nettement qu'on ne peut pas renoncer aux conditions initiales définies si l'on exécute des examens comparatifs dans l'analyse des eaux usées. Une charge discordante — en forme d'une courbe discontinue à deux niveaux de concentration et à une relation fixée entre ces niveaux — a fait sa preuve.

Les résultats de l'analyse comparative de la DBO<sub>5</sub> varient beaucoup. Les valeurs moyennes du laboratoire ont des tolérances de 10 à 15 pour-cent ce qui est dû au procédé et ce qui est acceptable. La mesure de la DBO—M3 dépeint la charge initiale comme courbe discontinue. Les plateaux exigés sont respectés. La relation fixée de 3,0 est dépassée de 5 pour-cent. La possibilité d'erreur de la mesure de la DBO—M3 se limite essentiellement à des tolérances de pompes mélangeuses et à des mesures de l'oxygène. La reproductibilité de l'enregistrement d'une substance biodégradable se situe entre 95 et 98 pourcent. La précision de la reproduction de la DBO—M3 ne peut pas être atteinte par la DBO<sub>5</sub>. C'est pourquoi qu'il est raisonnable d'indiquer la valeur — standard non — étalonnée de la DBO—M3 outre la DBO—M3 étalonnée sur la DBO<sub>5</sub>.

### Einführung

Der Biocnemische Sauerstoffbedarf in fünf Tagen (BSB<sub>5</sub>) ist ein summarischer Wirkungsparameter und umschreibt als Meßgröße die leicht abbaubare organische Verschmutzung des Abwassers. Für die Bemessung und Überwachung von biologischen Kläranlagen besitzt der BSB<sub>5</sub> zentrale Bedeutung, weil anhand dieses Parameters die Belastung der

Kläranlage oder das Reinigungsergebnis beurteilt werden. Im wasserrechtlichen Vollzug wird der BSB<sub>5</sub> u. a. zur Beschränkung der Einleitungsbefugnis herangezogen.

Bei der wirtschaftlichen Steuerung des Klärprozesses ist — von der Dosierung von Klärhilfsstoffen über die Bewirtschaftung von Ausgleichsbecken bis hin zur Steuerung der Schlammbelastung — die schnelle und sichere Kenntnis der biologisch abbaubaren Inhaltsstoffe unverzichtbar. Der BSB<sub>5</sub> als wichtigster Summenparameter der Abwasseranalytik, kann für die oben genannten Aufgaben vor allem wegen seiner Ständigen Analysenzeit nicht herangezogen werden [2, 3, 4].

Analysenwerte zur Anlagensteuerung oder -regelung erfordern ein Meßgerät bzw. -verfahren, das den folgenden Anforderungen genügt:

- kurze Analysezeit einschl. Probenahme und Ergebnisausgabe
- kontinuierliche Arbeitsweise.
- eine im Kläranlagenalltag handhabbare Technologie.
- geringer Wartungsaufwand.
- ein Ergebnissignal zur Steuerung.

Der BSB-M3 entspricht unter anderem wegen seiner geringen Meßzeitverzögerung bei kontinuierlicher Arbeitsweise den genannten Forderungen. Er wurde im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens entwickelt [1], in Kläranlagen und am Gewässer erprobt und hat sich seither im Kläranlageneinsatz bewährt.

Eine vergleichende Untersuchung von BSB<sub>5</sub> und BSB-M3 ist damit angehten und notwendig. Unter anderem sollte auch die Frage geklärt werden, inwieweit der BSB-M3 mit dem BSB<sub>5</sub> übereinstimmt.

Die vergleichenden Untersuchungen wurden vom Lippeverband in Essen und vom Institut für Mechanik und Regelungstechnik der Universität Siegen, beide Betreiber von je zwei BSB-M3-Meßgeräten, und beauftragten Abwasserlaboratorien durchgeführt.

#### Zwei Verfahren mit gleicher Grundlage

Im kommunalen Einzugsbereich, den Industrieinfluß ausgeschlossen, ist davon auszugehen, daß die Abwasser beim Erzeuger in mehr oder weniger konzentrierter Form anfallen und dann wieder durch geringer belastete Abwasser und den Witterungseinfluß verdünnt werden. Das Ergebnis all dieser Einflüsse am Ausgangspunkt der Kläranlage ist eine BSB-Konzentrationsganglinie, die in ihrer Charakteristik dem Einzugsgebiet entspricht. Dabei unterliegen die Abwasserinhaltsstoffe einem statistisch erfaßbaren Verbraucherverhalten, bei dem der Einfluß einzelner Einleiter ohne nennenswerte Bedeutung für das Gesamtergebnis bleibt.

Beim Verdünnungs-BSB<sub>5</sub> wird das oben genannte Prinzip der Verdünnung bis zu BSB-Konzentrationen des Flascheninhalts um 5 mg/l fortgesetzt [2].

Als Folge der genannten Abwasserzusammensetzung entwickelt sich nun in der BSB-Flasche im Laufe von fünf Tagen eine an das Abwasser adaptierte Organismen-Population. Diese Population muß sich immer wieder bei jeder Stichprobe neu entwickeln.

Der BSB-M3 ist ebenfalls ein Verdünnungs-BSB, die BSB-Konzentration beträgt auch hier ca. 5 mg/l.

Auf den Aufwuchsflächen im Bio-Reaktor des BSB-M3-Gerätes stellt sich nun auch die gleiche Misch-Population ein wie in den BSB<sub>5</sub>-Flaschen. Nach der Adaption dieser Organismen-Population an die Abwasserzusammensetzung trifft das Abwasser immer auf eine abbaubereite Biomasse, d. h. die nötigen Enzyme werden ständig bereitgehalten.

#### Die Vergleichsverfahren

Der BSB<sub>5</sub> nach DEV H5 und Entwurf DIN 38409 Teil 51 als Verdünnungs-BSB

Der BSB<sub>5</sub> ist dort ausführlich beschrieben. Auf eine Erläuterung kann hier verzichtet werden.

#### Der BSB-M3

Bei der kontinuierlichen Kurzzeit-BSB-Messung wird im Durchlauf ein Probenstrom des zu untersuchenden Wassers analysiert und eine Ganglinie nach einer Verweilzeit von drei Minuten ausgedruckt. Die vorgeschaltete Grobfiltration hält dabei nur Feststoffteilchen mit mehr als 0,5 mm Durchmesser zurück. Der Meßbereich des Gerätes erstreckt sich in der Normalausstattung von 2 bis 5 000 mg BSB/l.

Der Meßwert BSB-M3 wird nach der Adaption der Gerätebiologie an die spezifische Abwassersituation auf den BSB<sub>5</sub> geeicht [5].

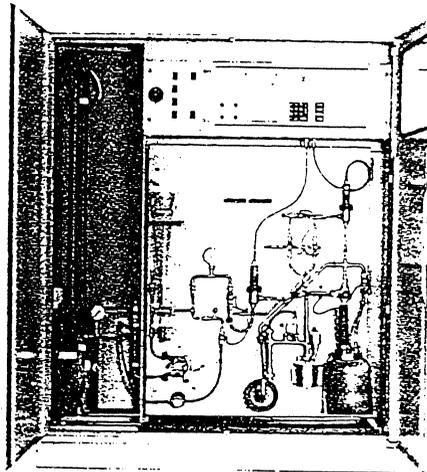


Abb. 1: Ansicht des geöffneten BSB-M3-Meßschrankes

Das Analysengerät besteht im wesentlichen aus folgenden Komponenten (Abb. 1):

- einer speziellen Wirbelbettbiologie
- zwei Sauerstoffsonden
- einer Abwasser- und einer Frischwasserpräzisionspumpe
- sowie einem Rechner, der die Reaktionen dieser Komponenten verarbeitet und die Pumpen entsprechend den Anforderungen steuert.

Das zu untersuchende Abwasser wird in einem Regelkreis nach vorstehend beschriebener Forderung immer so weit mit Leitungswasser verdünnt (Verdünnungs-BSB), daß die Wirbelbettbiologie konstant mit  $L_k = 5$  mg BSB<sub>5</sub>/l versorgt wird.

Die Einnaltung dieses Nährstoffniveaus wird über den gemessenen Sauerstoffverbrauch ( $\Delta O_2$  der Meßsonden) kontrolliert und geregelt. Damit veranlaßt die Biologie über ihre Atmung die Regelung ihrer Nährstoffversorgung selbst. Das eingeregeltete Mischungsverhältnis von Abwasser und Verdünnungswasser 1:n dient somit zur Ermittlung der

Nährstoffkonzentration des Abwassers, also zur BSB-Bestimmung.

Der Verdünnungsansatz lautet:  $n + 1 = L/L_k$

$L$  = Abwasserkonzentration,  $L_k$  = BSB-Konzentration im Bio-Reaktor.

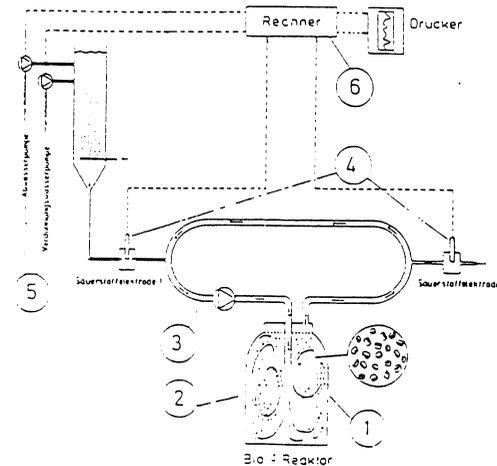


Abb. 2: Verfahrensschema

1. Eine Vielzahl kleiner Kunststoffringe dient den Organismen in einem Reaktionsbehälter als Aufwuchsfläche. Die Organismen finden vor allem im Inneren dieser Körper Schutz gegen mechanischen Abrieb.
2. Die Abwasserkonzentration im Reaktionsbehälter ist konstant und sehr gering. Sie wird durch ein Regelssystem so eingestellt, daß der Sauerstoffverbrauch der Organismen 3 mg/l beträgt.
3. Eine Umwälzpumpe hält die Kunststoffringe im Reaktor ständig in turbulenter Bewegung. Sie sorgt gleichzeitig für eine schnelle Verteilung des Probenstromes im Reaktionsbehälter.
4. Die Sauerstoffelektroden messen den Sauerstoffgehalt des Probenstromes im Zu- und Ablauf des Kreislaufsystems. Weicht die Sauerstoffdifferenz von ihrem Sollwert ab, so werden über den Rechner die Mischpumpen angesteuert, und die Nährstoffkonzentration im Reaktionsbehälter wird verändert, bis ihr Sollwert wieder erreicht ist.
5. Die Mischpumpen des Gerätes fördern zusammen immer 1 l/Minute. Sinkt die Sauerstoffdifferenz zwischen Zu- und Ablauf unter einen Sollwert, so wird die Abwassermenge erhöht und die Verdünnungswassermenge erniedrigt. Steigt die Sauerstoffdifferenz, läuft der Prozeß in umgekehrter Richtung.
6. Bei der kontinuierlichen Kurzzeit-BSB-Messung werden die Mischpumpen durch die Atmung der Mikroorganismen gesteuert. Aus dem Pumpenverhältnis errechnet sich der Meßwert. Die Verweilzeit beträgt ca. drei Minuten. Hinzu kommt eine Verzögerungskonstante von ca. 12 Minuten, wie die Sprungantwort in der Abb. 3 zeigt.

#### Kontroll- und Eichbedingungen

Bei der Untersuchung der BSB-Konzentrationsganglinie eines Kläranlagenzulaufs oder -ablaufs durch nur ein Labor

und nur ein Verfahren wird in der Regel das Analyseergebnis mit der tatsächlichen Ganglinie gleichgesetzt und als richtig anerkannt. Erst wenn eine Abwasserzulaufganglinie durch zwei konkurrierende Verfahren vergleichend untersucht wird und abweichende Ergebnisse auftreten, wird deutlich, daß die „wahre Eingangsgröße“, die BSB-Ganglinie, nicht bekannt ist.

Für einen Test fehlt also eine bekannte Eingangsgröße. Sie muß notwendigerweise durch Festlegung der Randbedingungen geschaffen werden. Für die vergleichende Untersuchung zwischen BSB<sub>5</sub> und BSB-M3 wurden daher folgende Rand- und Kontrollbedingungen festgelegt:

- Zu Versuchsbeginn wurde ein 110 Liter fassender Vorratsbehälter mit mechanisch vorgeklärtem Abwasser gefüllt.
- Das Abwasser wurde während des Versuchs durch einen langsam laufenden Rührer in Bewegung gehalten.
- Das BSB-M3-Meßgerät wurde kontinuierlich aus diesem Behälter versorgt.
- Von diesem ersten Konzentrations-Niveau wurden 44 Proben für BSB-Vergleichsuntersuchungen entnommen und auf fünf Labore verteilt.
- Der Restinhalt des Vorratsbehälters wurde mit belüftetem Verdünnungswasser im Verhältnis 1:3 verdünnt.
- Mit dem BSB-M3-Meßgerät wurde nun weiterhin die veränderte Konzentration im Vorratsbehälter gemessen.
- Vom verdünnten Abwasser wurden nochmals 33 Proben entnommen und wie zuvor an die o. g. fünf Labore weitergeleitet.

Durch diese Verfahrensweise ist die Eingangsbelastung festgelegt. Diese Ganglinie, eine Treppenkurve mit zwei Plateaus und dem vorgegebenen Verhältnis (3:1) der Pla-

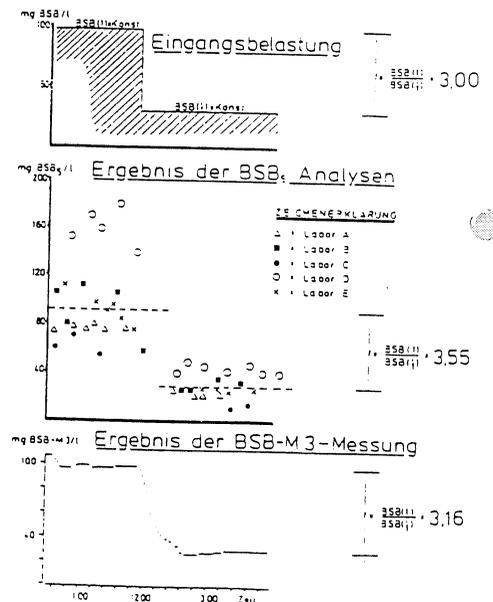


Abb. 3: Vergleichende Untersuchung zwischen BSB<sub>5</sub> und BSB-M3

teaus zueinander, muß nun auch durch die Stichproben nachgebildet werden. Die Qualität der Meßergebnisse, die der BSB-M3-Messung und die der BSB<sub>5</sub>-Analysen, ist daran zu messen.

#### Auswertung der Messungen

Die in dieser Untersuchung zu klärenden Fragen waren:

1. Wie gut läßt sich eine vorgegebene Belastungsganglinie durch die beiden Parameter BSB<sub>5</sub> und BSB-M3 nachbilden, und wie ist die Qualität der Ergebnisse zu werten?
2. Wieweit stimmen die Ergebnisse des BSB-M3 mit den BSB<sub>5</sub>-Werten überein.

Die Auswertung der vergleichenden Untersuchung ist als Übersicht in der Abb. 3 und in den Einzelwerten in Tabelle 1 dargestellt. Von insgesamt 77 Proben wurden 47 als abgesetzte, 15 als rohe und 15 als gefilterte Proben analysiert.

In der Übersicht (Abb. 3) sind nur die als abgesetzte Proben gemessenen BSB<sub>5</sub>-Werte aufgenommen.

Abgesetzte Proben					
Labor	Proz. Nr.	BSB <sub>5</sub> (1)	Proz. Nr.	BSB <sub>5</sub> (1/3)	Faktor $\frac{BSB_5(1)}{BSB_5(1/3)}$
A	1	73	13	24	3,45
	2	78	19	21	
	3	75	25	22	
	4	30	28	22	
	5	75			
B	1	281	15	27	1,3
	2	106	15	27	
	3	30	17	25	
	4	113	18	33	
	5	55			
C	E	60	E10	15	1,7
	E-1	98	E11	18	
	E-2	55			
D	1	153	22	43	3,74
	2	170	25	43	
	3	160	16	27	
	4	180	28	45	
	5	140	29	40	
E	1	112	9	27	3,50
	2	97	9	27	
	3	92	10	24	
	4	95	11	26	
	5	84			
n = 26		$\bar{x} = 98,0$	n = 21	$\bar{x} = 27,5$	

Tab. 1: Einzelwerte der abgesetzten BSB<sub>5</sub>-Proben

Die Einzelwerte der abgesetzten Proben des unverdünnten Konzentrationsniveaus schwanken zwischen 180 und 55 mg BSB<sub>5</sub>/l, also um den Faktor 3,27 oder 327%. Die Einzelwerte des verdünnten Konzentrationsniveaus schwanken zwischen 49 und 15 mg BSB<sub>5</sub>/l, also ebenfalls um den Faktor 3,27.

Offensichtliche Ausreißer wurden nicht berücksichtigt (z. B. 218 und 55 des Labors B).

Betrachtet man die Mittelwerte der Labore A—E, so vermindern sich die Schwankungen mit 161 : 51 mg BSB<sub>5</sub>/l für Niveau 1 und 43 : 16,5 mg BSB<sub>5</sub>/l für Niveau 2 auf 264 bzw. 261%.

Weiteren Aufschluß gibt die Betrachtung der Schwankungsreite der Ergebnisse für jedes Labor und jedes Konzentrationsniveau getrennt.

Labor	Niv. 1		Niveau 2	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	80	73	24	21
B	113	80	35	27
C	68	55	18	15
D	180	140	49	40
E	97	84	27	24

Tab. 2: Streubereiche der Labore A—E

Die gefilterten Proben und die rohen Proben wurden nur von zwei Laboren an insgesamt 30 Proben analysiert und können daher nicht direkt verglichen werden. Besonders auffällig ist aber, daß mit steigender Vorbehandlung die Abweichung zum vorgegebenen Verdünnungsfaktor größer wird.

Die Konzentrationsniveaus waren im Verhältnis 3 : 1 festgelegt. Der ermittelte Faktor reicht von 3,29 für die rohe Probe bis 4,08 für die gefilterte.

Im Vergleich zum BSB<sub>5</sub> bildet der BSB-M3 die Eingangsbelastung hinreichend genau nach. Mit der BSB-M3-Messung werden die vorgeschriebenen zwei Niveaus erreicht. Die Abweichung des Verdünnungsfaktors um ca. 5% vom Sollwert ist für den BSB-M3 vertretbar. Abbildung 4 zeigt die Aufzeichnungen zweier BSB-M3-Meßgeräte, die bei gleichem Abwasser parallel betrieben wurden. Die Abweichung beider Analyseergebnisse beträgt hier maximal etwa 2,5%.

Zur BSB<sub>5</sub>-Untersuchung wurden alle Proben in gleicher Weise geschöpft und geagert, alle Labore bekamen die gleiche Vorgabe für die Meßbereiche, für alle Proben waren die geltenden DEV verbindlich.

Bei diesen Vorgaben ist das Gesamtergebnis der BSB<sub>5</sub>-Untersuchung für Ringversuche nicht ungewöhnlich. Die starken Schwankungen bei den Einzelergebnissen der abgesetzten Proben insgesamt werden durch einen Vergleich getrennt für jedes Labor relativiert. Sie sollten für den betrieblichen Alltag aber auch nicht unterschätzt werden. Beim vorliegenden Prüfverfahren lassen sich Ausreißer (wie die des Labors B) oder unbrauchbare Gesamtergebnisse eindeutig eliminieren.

Die BSB<sub>5</sub>-Ergebnisse der Einzellabore mit einer Schwankung von 15 bis 25% sind verfahrensbedingt und daher akzeptabel. Die Abweichungen der gemittelten Laborwerte (A—E) von 61—161 mg BSB<sub>5</sub>/l, Faktor 2,6 machen aber deutlich, daß hier eine angemessene Fremd- und Selbstkontrolle fehlt. Es versteht sich von selbst, daß „Laborfaktoren“ der vorliegenden Größenordnung im Planungs- oder Kontrollbereich fatale Folgen haben können.

Es übersteigt den Rahmen dieser Arbeit, auf die Ursachen einzugehen. Die in Kürze erscheinende neue DIN 38409 Teil 51 nimmt einen Teil der bestehenden Eichkriterien, und durch die geplante Vorgabe einer Eichlösung wird die Kontrolle der Niveaus ermöglicht.

#### Plausibilitätsprüfung von Analyseergebnissen als Bewertungsmaßstab

Auf der Suche nach Plausibilitätskriterien zur Beurteilung von Abwasseranalyse-Ergebnissen, geeigneten Probenahmezeitpunkten und sicheren Eichkriterien sind die BSB-M3-Wochenganglinien von 22 Kläranlagen ausgewertet worden. Bei dieser Auswertung waren Anschlußgrößen von 15 000 EGW bis 1,5 Millionen EGW vertreten. Absolut kennzeichnend bei den untersuchten Anlagen waren Verlauf und Zeitpunkt des Tagesminimums bei Trockenwetter. Während der Verlauf und die Konzentrationen der Maxima die Samstag-

Das Tagesminimum bei ca. 1, die Maxima ca. 5 und das Tal zwischen den Maxima 1,3 mg BSB-M3/l. Die gesamte Ablaufganglinie liegt in einem Meßbereich der für den BSB<sub>5</sub> als nicht mehr sicher meßbar gilt. Der BSB-M3 erfährt die Werte unterhalb 5 mg sicher und noch in der Dezimalteilung unterscheidbar. Letzteres ist für die Steuerung des Klärprozesses in dieser Genauigkeit zwar nicht erforderlich, aber sehr vorteilhaft.

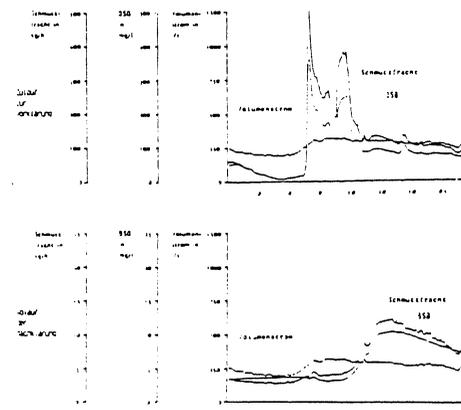


Abb. 7: Kontinuierlich gemessene BSB-M3-Konzentrationsganglinie und -frachtganglinie im Zu- und Auslauf der Kläranlage Siegen

In der Kläranlage der Stadt Siegen werden seit Beginn des Jahres 1986 nicht nur die BSB-Ganglinien im Zulauf der Vorklärung und im Ablauf der Nachklärung gemessen, sondern gleichzeitig auch der Volumenstrom. Mit Hilfe eines Prozeßrechners kann daraus unmittelbar die Schmutzfracht im Zu- und Ablauf berechnet werden.

Abb. 7 zeigt als ein typisches Beispiel die Messungen vom 14. Juni 1985 über 24 Stunden mit zwei BSB-Maxima während des Tages und ein Frachtmaximum gegen 24 Uhr durch Regeneinfluß (steigender Volumenstrom).

Durch laufende Messungen dieser Art und Integration der Schmutzfrachtganglinie erhält man die tägliche Schmutzfrachten im Zulauf und Ablauf der Kläranlage (Abb. 8). Daraus läßt sich über einen gewissen Zeitraum von z. B. einer Woche oder einem Monat der biologische Wirkungsgrad der Kläranlagen berechnen.

Für die 11 Meßtage vom 23. Mai bis zum 2. Juni 1985 (Abb. 8) wurde zu z. B. ein Wirkungsgrad von

$$= \frac{27205 - 1657}{27205} \cdot 100\% = 94\%$$

ermittelt.

Der Einsatz von zwei BSB-Meßgeräten auf einer Anlage hat den Vorteil, daß Zu- und Ablaufwerte von interessierenden Anlagenteilen (Vorklärbecken, Belebungs- und Nachklärbecken) über längere Zeiträume kontinuierlich gemessen und ausgewertet werden können. Auf diese Weise ist es möglich, Parameter von zuvor aufgestellten mathematischen Modellen zu bestimmen, dynamische Vorgänge mit Hilfe dieser mathematischen Modelle zu simulieren und Simulationsergebnisse mit Meßergebnissen zu vergleichen. Über die bis in den Rahmen eines Forschungsprojektes erzielten Resultate wurde an anderer Stelle berichtet [7—10].

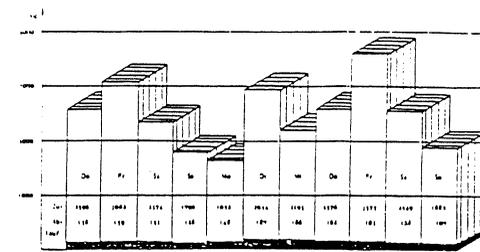


Abb. 8: Schmutzfracht im Klärwerk Siegen im Zeitraum vom 23. 5. bis 2. 6. 1985

#### Schlußbetrachtung

In dieser Untersuchung sollte geklärt werden, wie gut eine vorgegebene Belastungsganglinie durch die beiden Parameter BSB<sub>5</sub> und BSB-M3 nachgebildet wird und inwieweit die Ergebnisse beider Meßmethoden übereinstimmen. Es wurde gezeigt, daß beide Parameter in der Lage sind, eine definierte Eingangsbelastung nachzubilden. Die BSB<sub>5</sub>-Werte für jedes Labor getrennt betrachtet, wiesen einen verfahrensbedingten Fehlerbereich von 10 bis 15% um einen Mittelwert streuend auf und waren somit akzeptabel. Das Gesamtergebnis der fünf Labore in einem Bereich von 260% ist für Ringversuche nicht ungewöhnlich, macht aber deutlich, daß eine Orientierung zur Überprüfung des absoluten Niveaus fehlt. Die geplante Einführung einer Eichlösung kann hier sicher Abhilfe schaffen.

Für den BSB-M3 wird der Fehlerbereich durch die fehlenden Freiheitsgrade des Meßgerätes eingeschränkt. Im Versuch mit zwei parallel geschalteten BSB-M3-Geräten wird ein Abwasser in den Ergebnissen nahezu identisch abgebildet. Eine biologisch abbaubare Substanz läßt sich mit hoher Genauigkeit darstellen. Die Übereinstimmung zwischen BSB<sub>5</sub> und BSB-M3 ergibt sich aus den Fehlerbereichen beider Verfahren.

#### Literatur

- [1] Siegmann F. u. Teutscher M.: Abschlußbericht zum F - E-Vorhaben 102 — WA 161 „Bau und Erprobung eines Meßgeräteprototyps zur kontinuierlichen Kurzzeit-BSB- und Toxizitätsmessung“ BMTF Abt. Umweltforschung 1984
- [2] Wagner A.: Neue Gesichtspunkte zur Methodik und zur Beurteilung des Verdünnungs-BSB gfw-wasser/abwasser 118 (1977)
- [3] Wilderer P., Engelmann G., Schmenger H.: Kritik am BSB als Verschmutzungsparameter gfw-wasser/abwasser 118 (1977)
- [4] Wilderer P., Hartmann L., Jirasekova J.: Kritik an der Verwendung des Langzeit-BSB zur Beurteilung von Rohwasser. Z. f. Wasser- und Abwasserforschung 3 (1970)
- [5] G. Reigler: Die kontinuierliche Kurzzeit-BSB-Messung. Korrespondenz Abwasser 31 (1984) S. 369—377
- [6] M. Köhne: Practical Experiences With a New One-Line BOD Measuring Device. Environmental Technology Letters (erscheint demnächst)
- [7] H. Gülich u. M. Köhne: Modellbildung und Simulation des biologischen Abwasserreinigungsprozesses. Beitrag zum 2. Symposium Simulationstechnik ASIM 84 Wien 1984
- [8] M. Köhne, M. Kämpfer und H. Gülich: Mathematische Modellbildung und digitale Simulation des Belebungs- und Nachklärungsprozesses in biologischen Abwasserreinigungsanlagen. Beitrag zum 3. Symposium Simulationstechnik ASIM 85 Bad Münster, 1985
- [9] H. Gülich, M. Kämpfer und M. Köhne: Modeling and Simulation of the Activated Sludge Process in Wastewater Treatment Systems. 11th IMACS World Congress on System Simulation and Scientific Computation, Oslo 1985 (Proceedings erscheinen 1986)
- [10] H. Gülich, M. Köhne und G. Seibert: Analyse und Identifikation von Abwasserreinigungsanlagen. Erschienen in: Chemische Industrie 109 (1986)

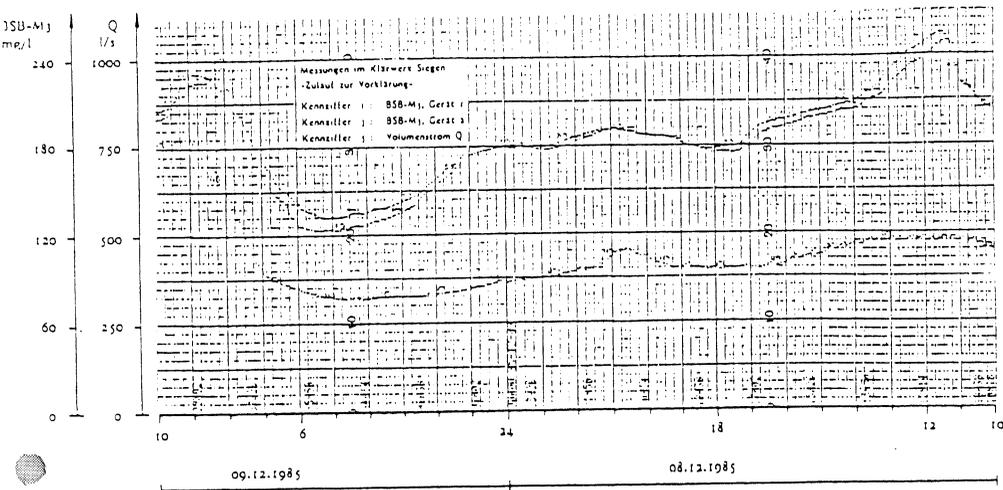


Abb. 4: Analysenergebnisse zweier BSB-M3-Geräte bei gleichem Abwasser

Sonn- und Feiertage nicht eindeutig von den Wochentagen trennen, lassen sich die genannten Tage am Punkt des Konzentrationsanstiegs am Ende des Tagesminimums sicher identifizieren.

Liegen ausreichende Tages- und Wochenganglinien der BSB-M3-Konzentration oder BSB-M3-Fracht vor, so kann diese natürliche Ganglinie als „Belastungsvorgabe“ bei der Eichung benutzt werden. Die Stichproben müssen bei diesem Verfahren dicht genug in der zeitlichen Folge liegen und den Wiederanstieg der Ganglinie nach dem Tagesminimum mit erfassen.

Liegen nur BSB<sub>5</sub>-Stichproben zur Beurteilung der Tagesganglinie vor, kann das Verfahren nicht angewendet werden.

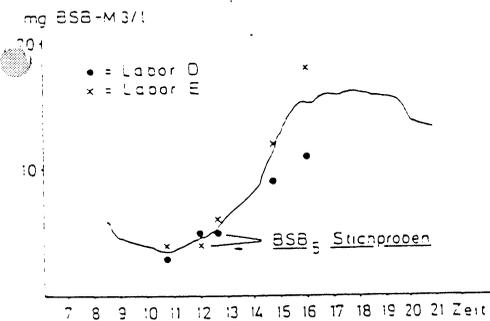


Abb. 5: Eichung des BSB-M3 auf den BSB<sub>5</sub> am Auslauf der Nachklärung

Bei der Eichung BSB-M3 am Auslauf der Nachklärung steht als weiteres Kriterium noch die Beurteilung nach der Stetigkeit der Ganglinie aufgrund der vorgeschalteten Pufferbecken zur Verfügung. Das heißt, kurzfristige sprungartige Konzentrationsänderungen können hier nicht auftreten. Bei ausreichender Stichprobendichte können auch hier feinerartige Analyseergebnisse eliminiert werden. In Abb. 5 ist

eine solche Eichung dargestellt. Die BSB<sub>5</sub>-Werte wurden unter Zugabe von ATH zur Nitrifikationsunterdrückung ermittelt.

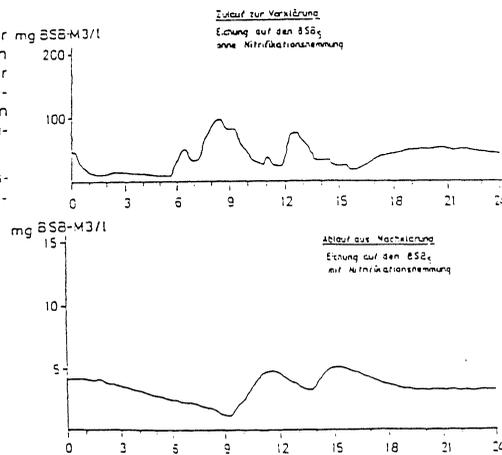


Abb. 6: Kontinuierlich gemessene BSB-M3-Konzentrationsganglinie im Zu- und Auslauf der Kläranlage Siegen

In Abb. 6 sind zwei BSB-M3-Ganglinien zusammengestellt. Der Zulauf zur Vorklärung wurde ohne, und der Ablauf der Nachklärung mit Zugabe von ATH auf den BSB<sub>5</sub> geeicht.

Die Beziehung beider Kurven zueinander macht deutlich, welche Möglichkeiten für den Klärbetrieb und insbesondere die Steuerung des Klärprozesses mit einer geeigneten Analytik eröffnet werden. Die Zulaufganglinie ist an einem Feiertag und nach einem Regenereignis aufgenommen, die Maxima sind mit 100 mg BSB/l vergleichsweise gering.

Die BSB-M3-Ablaufganglinie am Auslauf der Nachklärung hat die gleiche Charakteristik wie die Zulaufganglinie vor der Vorklärung.

**Kontinuierliche, simultane Messung des Biochemischen Sauerstoffverbrauchs  
und der Belebtschlammrespiration**

J. Pilz

**1. Meßaufgaben in Kläranlagen**

Zur Kontrolle der Wasserqualität im Zu- und Ablauf sowie für die Steuerung der Prozeßabläufe sind in Kläranlagen zahlreiche Meßparameter kontinuierlich und mit minimalem Zeitversatz zu erfassen. Für Größen wie Abfluß, Sauerstoffkonzentration, pH-Wert oder Trübung sind kontinuierliche Meßsysteme bereits weit verbreitet. Andere wichtige Parameter werden dagegen in aufwendigen Einzelmessungen oder zum Teil auch gar nicht überwacht:

- Der chemische Sauerstoffbedarf des Abwassers (CSB) ist sicherlich eine Größe von umfassender Bedeutung. Hier bietet sich als Alternative zur genormten Meßmethode mittels Kaliumdichromat (DIN) das Verfahren der elektrochemischen Oxidation an. Als Oxidationsmittel kommen elektrochemisch erzeugtes Ozon bzw. OH-Radikale zum Einsatz, deren Verbrauch durch oxidierbare Wasserinhaltsstoffe als elektrischer Strom empfindlich erfaßt wird. Die Methode hat eine Meßdauer von nur 3 Minuten, ist auch kontinuierlich einsetzbar und vermeidet die Anwendung gefährlicher Reagentien /1, 2/.
- Die Erfassung toxischer Stoffe ist - sofern eine entsprechende Gefährdung durch industrielle Einleiter möglich erscheint - für Kläranlagen ebenfalls von großer Bedeutung. Da die Lebensumstände in einer Kläranlage und einem Meßgerät sich stark unterscheiden (z.B. Abwasserkontaktzeit, Temperatur), verlaufen Gewöhnungsprozesse an Wasserinhaltsstoffe zwangsläufig sehr unterschiedlich. Da eine

identische Adaption der Bakterien in Meßgerät und Kläranlage kaum erzielbar ist, sollte man zur Vermeidung von Fehladaptationen Geräte einsetzen, bei denen die Testorganismen testwasserunabhängig aufgezogen werden. Gleichwohl sollten sie für Kläranlagen typisch sein, dort üblicherweise in großer Zahl vorkommen und den Stoffwechsel des aeroben Abbaus von Kohlenwasserstoffen repräsentieren /3, 4/.

- Als geradezu "klassisch" kann im Bereich der Klärtechnik die Messung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB) und der Biomassenkonzentration - meist als Trockensubstanzgehalt (TS) - gelten. Für die kontinuierliche und simultane Erfassung dieser beiden Größen bietet sich das im folgenden vorgestellte Meßsystem BioMonitor an, dessen Meßprinzip von Heckershoff, Wiesmann und Schmidt entwickelt wurde /5, 6, 7, 8, 9/.

**2. Das Meßsystem BioMonitor**

Abbildung 1 zeigt ein Funktionsschema des BioMonitor, der aus zwei identisch aufgebauten, vierstufigen Rührreaktorkaskaden besteht:

- Der Vergleichskaskade werden Luft, Belebtschlamm und substratfreies Klarwasser (Leitungswasser) in definierten Volumenströmen zugeführt. Beim Austritt aus der letzten Reaktorstufe wird der Restsauerstoffgehalt der Luft gemessen. Die Verringerung des Sauerstoffgehalts ist auf die Atmungsaktivität der Bakterien zurückzuführen; da das zugeführte Klarwasser frei von abbaubaren Stoffen ist, wird in dieser Reaktorstrecke nur die endogene Atmung der Bakterien (häufig auch Grundatmung genannt) erfaßt.
- Auch die Meßkaskade wird mit Belebtschlamm und Luft beschickt; im Unterschied zur Vergleichskaskade wird ihr jedoch Abwasser anstelle von Klarwasser zugeführt. Daraus ergibt sich, daß der Sauerstoffverbrauch in der Meßkaskade zusätzlich zur Grundatmung der Bakterien den Sauerstoffbedarf für die Substratatmung enthält. Aus der Differenz der Sauerstoffverbräuche von Meßkaskade und Vergleichskaskade ergibt sich der für die abbaubaren Inhaltsstoffe des Abwassers benötigte Sauerstoff, aus der die Substratatmung ermittelt wird.

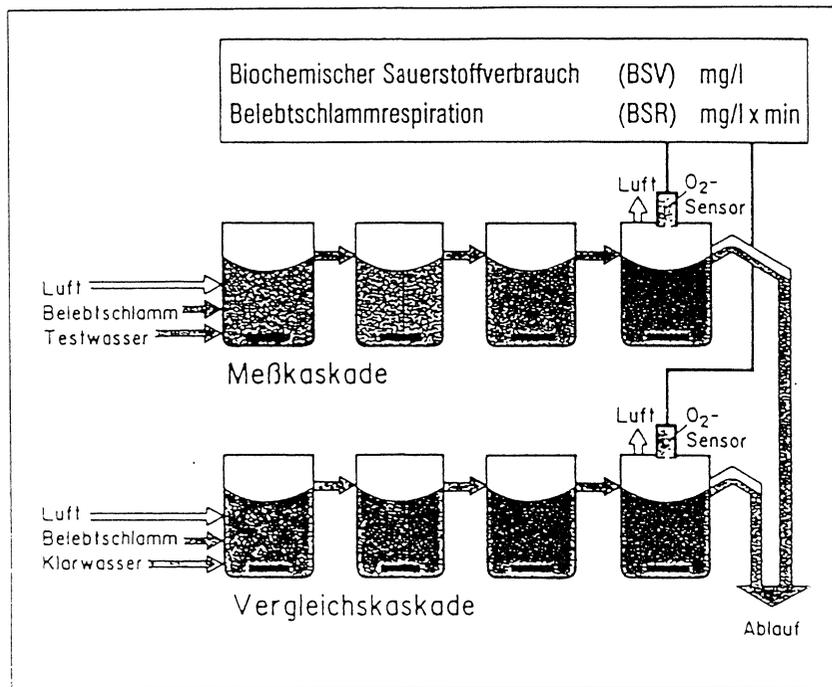


Abb. 1: Schematische Darstellung des Meßgeräts (BioMonitor)

Die wichtigsten technischen Merkmale des Meßverfahrens sind:

- Simultane Erfassung von zwei wichtigen Meßgrößen  
 BioMonitor mißt neben der abbaubaren organischen Belastung des zugeführten Abwassers (Substratatmung) auch die Stoffwechselaktivität des Belebtschlammes (Grundatmung oder endogene Atmung). Dadurch werden simultan zwei für die Kläranlage relevante Größen erfaßt, die üblicherweise durch den BSB-5 und den Trockensubstanzgehalt (TS) ermittelt werden.
- Kontinuierlicher Meßprozeß  
 Der Meßprozeß verläuft im BioMonitor kontinuierlich. Dadurch ist lückenlose Dokumentation der Meßwertverläufe gewährleistet und die Möglichkeit zu einer umfassenden Prozeßsteuerung gegeben.

- Messung des Sauerstoffgehalts in der Luft

Die Messung des Sauerstoffverbrauchs der Bakterien erfolgt in der Luft, die die Reaktorkaskaden verläßt. Dadurch werden die Verschmutzungsprobleme umgangen, die bei Gelöstsauerstoffsensoren im Kontakt mit Belebtschlamm und Abwasser oftmals Probleme aufwerfen. Zudem stellt die Verwendung von Luft sicher, daß im gesamten Meßprozeß genügend Sauerstoff zur Verfügung steht und die im Wasser vorhandenen abbaubaren Inhaltsstoffe von den Bakterien vollständig verwertet werden können.

- Kaskadenreaktoren mit kurzer Ansprechzeit und vollständigem BSB-Abbau

Bei einstufigen Reaktorsystemen tritt unvermeidbar eine Vermischung von frischem mit bereits ganz oder vollständig gezehrtem Abwasser auf. Um geringe BSB-Austrittskonzentrationen, d.h. einen vollständigen Abbau zu erreichen, müßte in diesem Fall die Menge des eintretenden Abwassers klein, das Reaktorvolumen und die Verweilzeit hingegen groß sein; daraus folgte unmittelbar ein unerwünscht langsames Ansprechen eines solchen Meßgeräts. Hält man zur Erhöhung der Ansprechgeschwindigkeit dagegen Verweilzeit und Reaktorvolumen klein bzw. erhöht die Menge des eintretenden Abwassers, ist kein vollständiger Abbau mehr zu gewährleisten; ein Anteil unverarbeiteten oder nur teilweise verwerteten Abwassers träte am Auslauf des Geräts auf, der BSB müßte aus einem unvollständigen Abbau "hochgerechnet" werden.

Durch die Kaskadenbauweise kann der BioMonitor eine hohe Ansprechgeschwindigkeit und eine vollständige Verwertung aller abbaubaren Wasserinhaltsstoffe gleichzeitig erreichen. Wesentlich ist dabei, daß bei einem Kaskadenreaktor ein stufenweiser Abbau stattfindet; während in den vorderen Reaktorstufen zunächst die leicht abbaubaren Stoffe verwertet werden, erfolgt in den nachfolgenden Reaktoren der Abbau schwer verwertbarer Verbindungen durch die Bakterien. Keinesfalls kann eintretendes Abwasser am Auslauf auftreten, ohne den Meßprozeß durchlaufen zu haben! Die Kaskadenbauweise wird umso wirkungsvoller, je mehr Stufen ein solches System hat; die vierstufige Auslegung des BioMonitor nähert sich einem vielstufigen Idealsystem aber schon sehr gut an und hält den technischen Aufwand in einem vertretbaren Rahmen.

- Verwendung der Kläranlageneigenen Biomasse

Im BioMonitor werden bewußt keine geräteeigenen Bakterien eingesetzt, sondern die Originalbiomasse der Kläranlage. So wird die Grundatmung des Belebtschlammes als zweiter Parameter miterfaßt und die Relevanz der Meßergebnisse für den Klärbetrieb sichergestellt.

- Keine Anreicherung von Nitrifikanten im System

Im Zusammenhang mit der Verwendung der kläranlageneigenen Biomasse steht auch, daß im Meßgerät Nitrifikanten nur in dem Anteil vertreten sind, wie auch in der Kläranlage. Eine Nitrifikantenanreicherung, wie sie bei einer Kreislaufführung der Biomasse im Meßgerät zu erwarten wäre, tritt nicht auf. Insofern müssen im BioMonitor normalerweise keine Maßnahmen zur Unterdrückung von Nitrifikanten ergriffen werden, auch wenn dies bei der Bestimmung des BSB-5 aufgrund der langen Inkubationszeit von 5 Tagen üblich ist.

Für die Handhabung eines Meßgeräts und den Nutzen, der mit seinem Einsatz verbunden ist, spielen neben dem Verfahren auch konzeptionelle Gesichtspunkte und konstruktionstechnische Details eine wichtige Rolle. Besonders interessant für den Praktiker:

- Kompakter Aufbau des Meßgeräts

Der BioMonitor ist mit einer Grundfläche von nur 60 x 40 cm außerordentlich kompakt und überall leicht zu installieren. Als Zubehör ist ein Montagegestell verfügbar, daß neben dem Meßgerät auch mögliche externe Komponenten - zum Beispiel einen Partikelabscheider - aufnimmt.

- Bewährte Probenahmeverrichtung

Eigens für den BioMonitor wurde ein Partikelabscheider zur kontinuierlichen Probenahme entwickelt. Dieser nutzt die Massenträgheit der im Abwasserstrom vorhandenen Fasern und Teilchen zur Abscheidung aus. Das praktisch wartungsfreie System arbeitet ohne Siebrohr oder andere Oberflächenfilter, bei denen gelöste Wasserinhaltsstoffe an den sich bildenden Ablagerungen und Filterkuchen adsorbiert werden können. Versorgt von einer Tauchpumpe mit Schneidwerk kann der Partikelabscheider in Kläranlagen sogar vor dem Grobrechen eingesetzt werden!

- Verstopfungsunanfällig und einfach zu warten

Schon durch die Messung des Sauerstoffverbrauchs außerhalb des Abwassers - in der Luft - wurde ein entscheidender Schritt getan, ein problemloses Meßgerät zu schaffen. Aber auch Verstopfungen im Meßgerät wurde gründlich vorgebeugt! Ähnlich wie bei der Förderung von Schlämmen laufen die Pumpen im BioMonitor getaktet. Sie laufen also mit voller Betriebsleistung oder stehen still; unterschiedliche Fördermengen werden durch die Variation der An- und Ausschaltzeiten erreicht. Diese Betriebsweise der Pumpen bringt den Vorteil mit sich, daß durch die Pulsation der Flüssigkeit sich kaum Ablagerungen bilden können. Das gilt auch für die Reaktorgefäße, in denen kleine Putzkörper, deren Material genau die Dichte von Wasser aufweist, Beläge erst gar nicht entstehen lassen.

- Geringe Leitungsquerschnitte für geringe "Totzeiten"

Wegen der insgesamt verschmutzungsunanfälligen Konzeption, dem Prinzip der "kurzen Wege" und dem aus der Schlammfördertechnik bekannten getakteten Pumpenbetrieb kommt BioMonitor mit geringen Leitungsquerschnitten aus. So wird erreicht, daß die Vorteile des schnellen Meßverfahrens nicht durch unnötige "Totzeiten" zunichte gemacht werden.

- Einfache und komfortable Bedienung

Die Bedienung des Meßsystems ist sehr einfach. Die "Intelligenz" des integrierten Rechners wird genutzt, um das Bedienungspersonal von allen überflüssigen Kontrollen und Berechnungen zu entlasten. Der hohe Bedienungskomfort zeigt sich beispielsweise an der Plausibilitätskontrolle aller Eingaben oder an der automatischen Kalibrierung der Sauerstoffdetektoren.

### 3. Kontinuierlicher Meßeinsatz auf Kläranlagen

Im Betrieb zeigt der BioMonitor kontinuierlich den Biochemischen Sauerstoffverbrauch (BSV) und die Belebtschlammrespiration (BSR) an. Diese Meßgrößen entsprechen - wie die nachfolgend dargestellten Meßergebnisse zeigen - in ihrer Aussagefähigkeit den bekannten Meßparametern BSB-5 und TS (Trockensubstanzgehalt); daher bietet das Gerät die Möglichkeit, den BSB-5 bzw. den Trockensubstanzgehalt zu berechnen und direkt anzuzeigen. Da BSB und TS jedoch nach DIN

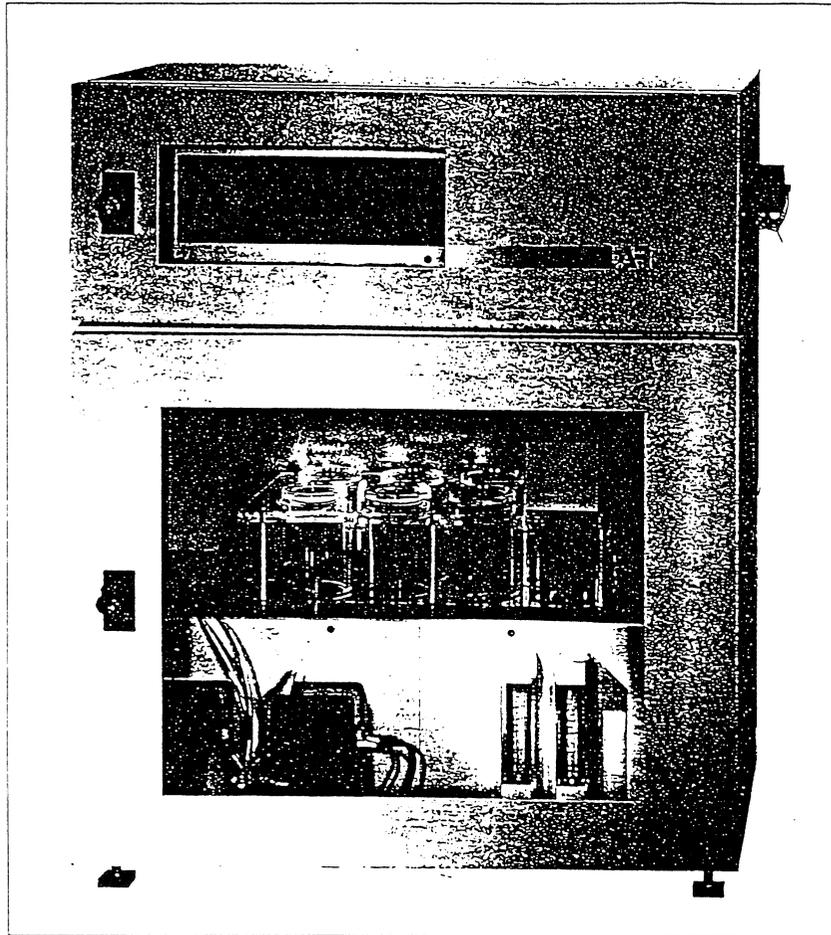


Abb. 2: Das Meßsystem BioMonitor

auf eng definierte manuelle Einzelmeßmethoden festgelegt sind, werden diese Größen beim BioMonitor anders als bei anderen kontinuierlichen Meßgeräten, die diesem Umstand nicht Rechnung tragen - nicht primär vom Gerät angezeigt; eine Anzeige von BSB-5 und TS erfolgt erst nach einer entsprechenden Eingabe des Anwenders.

Beispielhaft für den typischen Meßwertverlauf ist der in Abbildung 3 gezeigte Tagesgang, der auf der Kläranlage Berlin-Ruhleben aufgenommen wurde /10/; dabei erfolgte die Probenahme unmittelbar hinter der Vorreinigungsstufe.

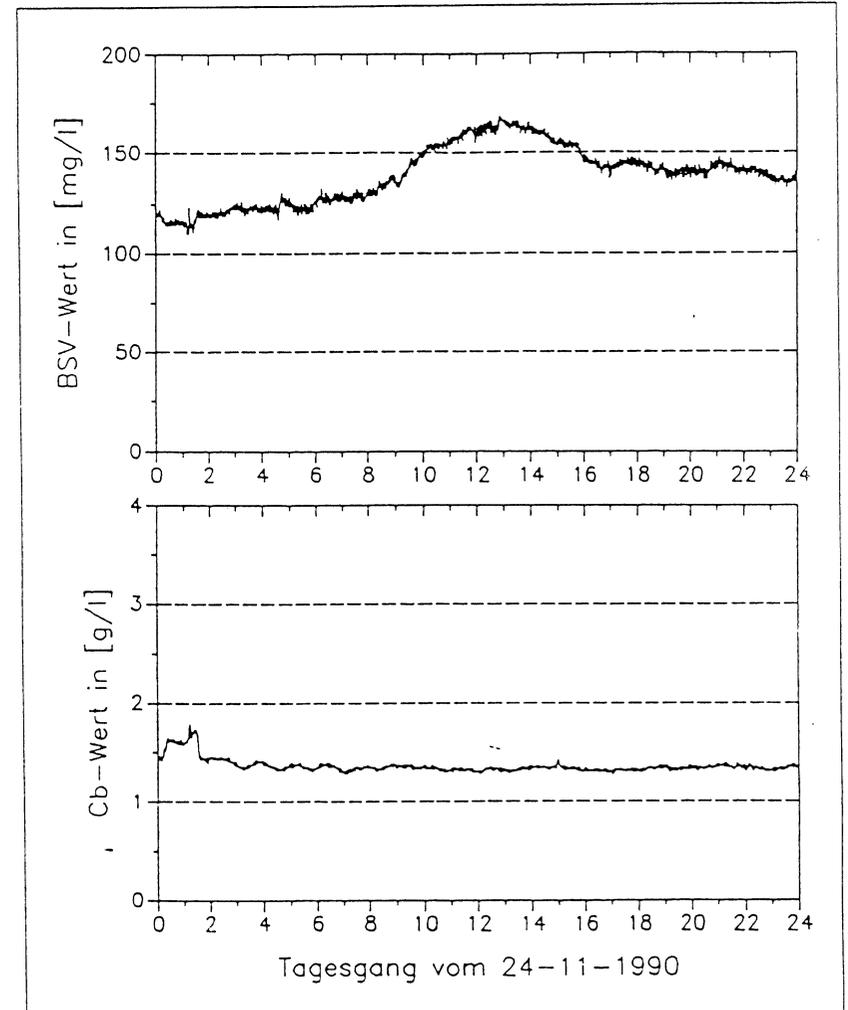


Abb. 3: Meßwertverlauf im Klärwerk Berlin-Ruhleben

Während das obere Teilbild direkt den BSV darstellt, gibt der untere Bildteil die Bakterienkonzentration im Belebtschlamm (Cb-Wert) wieder, die von dem Meßgerät aus der Belebtschlammrespiration berechnet wurde. Für den BSV zeigt sich ein deutlich ausgeprägter Tagesgang mit einer Belastungsspitze um 13 Uhr; für andere Tage ergaben sich vergleichbare Zeitverläufe, so daß davon auszugehen ist, daß die Belastungssituation dieser kommunalen Kläranlage von Tag zu Tag nur geringe Veränderungen aufweist. Auch für die Belebtschlammrespiration bzw. die Bakterienkonzentration (Cb-Wert) ergaben sich im Untersuchungszeitraum von etwa einem halben Jahr in der Regel sehr konstante Verhältnisse /10/.

Gänzlich andere Verhältnisse ergaben sich auf der Kläranlage Iserlohn-Letmathe des Ruhrverbands, bei der das Meßsystem ebenfalls hinter der Vorklärstufe eingesetzt wurde und in deren Einzugsbereich einige größere BSB-Emittenten liegen.

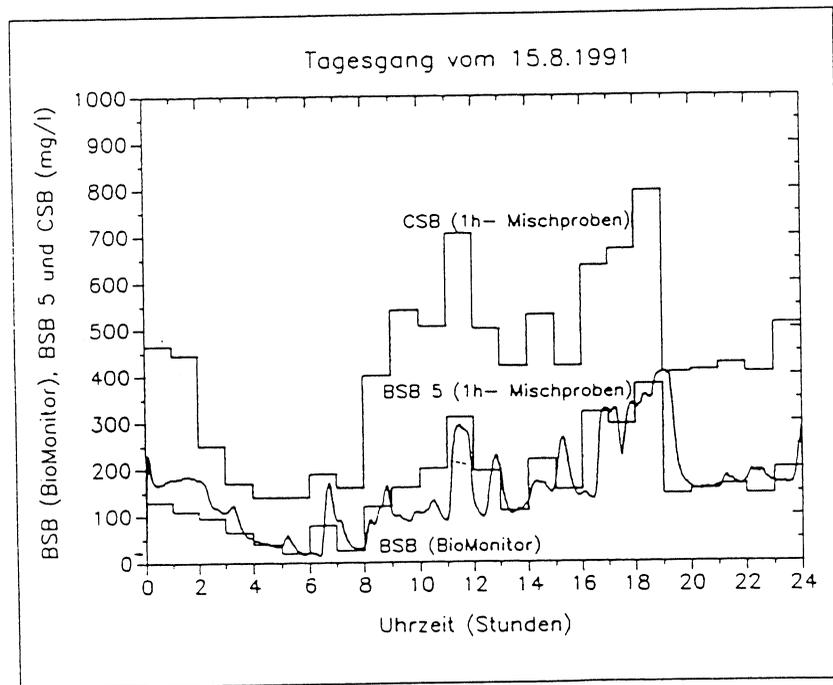


Abb. 4: Meßwertverlauf im Klärwerk Iserlohn-Letmathe  
Vergleich zwischen BioMonitor-Meßsignal, BSB-5

Abbildung 4 zeigt den als BSB-5 kontinuierlich angezeigten Meßverlauf des BioMonitor, der eine starke Dynamik aufweist und jeden "erfahrenen Klärwerks-Meßtechniker" auf einen Gerätedefekt schließen lassen würde. Daß ein solcher jedoch nicht vorlag, zeigt sich deutlich an den Verläufen für den BSB-5 und den CSB, die als Meßergebnisse aus Stundenmischproben als stufige Meßwertverläufe ebenfalls in der Abbildung eingetragen sind.

Die Bilder 5 und 6 zeigen zwei weitere eindrucksvolle Beispiele für die Präzision, mit der BioMonitor Zeitverläufe von Belastungstößen zu registrieren vermag.

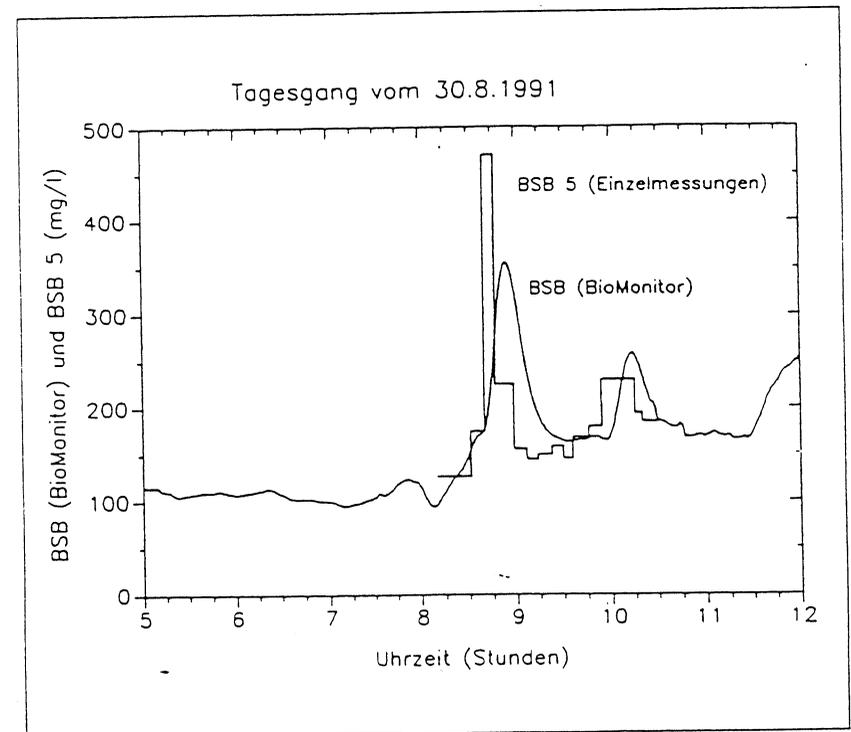


Abb. 5: Meßwertverlauf im Klärwerk Iserlohn-Letmathe  
Vergleich zwischen BioMonitor-Meßsignal und BSB-5

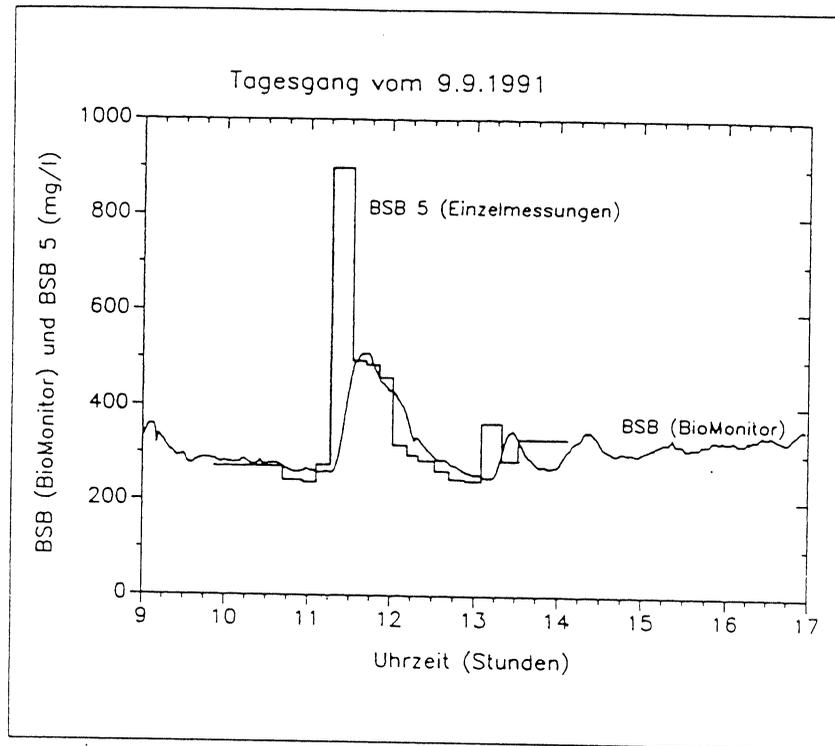


Abb. 6: Meßwertverlauf im Klärwerk Iserlohn-Letmathe  
Vergleich zwischen BioMonitor-Meßsignal und BSB-5

In den gezeigten Zeiträumen wurde der BSB-5 nach der standardisierten DIN-Methode mit hoher Probenahmehäufigkeit erfaßt; die Übereinstimmung mit den als BSB angezeigten Meßwerten des BioMonitor kann als sehr gut bezeichnet werden.

Wie bereits gesagt, kann der BioMonitor BSB-5-Werte in dem Sinne, in dem dieses Meßverfahren als DIN-Methode genormt ist, so wenig messen, wie alle anderen von der als Standard festgelegten Methode abweichenden Verfahren. Wie die Abbildungen 4, 5 und 6 jedoch zeigen, kann das Meßgerät durchaus einen aus dem BSV berechneten BSB-Meßwert anzeigen. Der Umrechnung liegt im Fall der Kläranlage Iserlohn-Letmathe eine durch Regressionsanalyse erstellte Geradengleichung zugrunde, die Abbildung 7 gemeinsam mit einzelnen Vergleichsmessungen an ver-

schiedenen Tagen stattfanden ist die Übereinstimmung und die Konstanz der Beziehung zwischen BSB-5 und BSV sehr hoch.

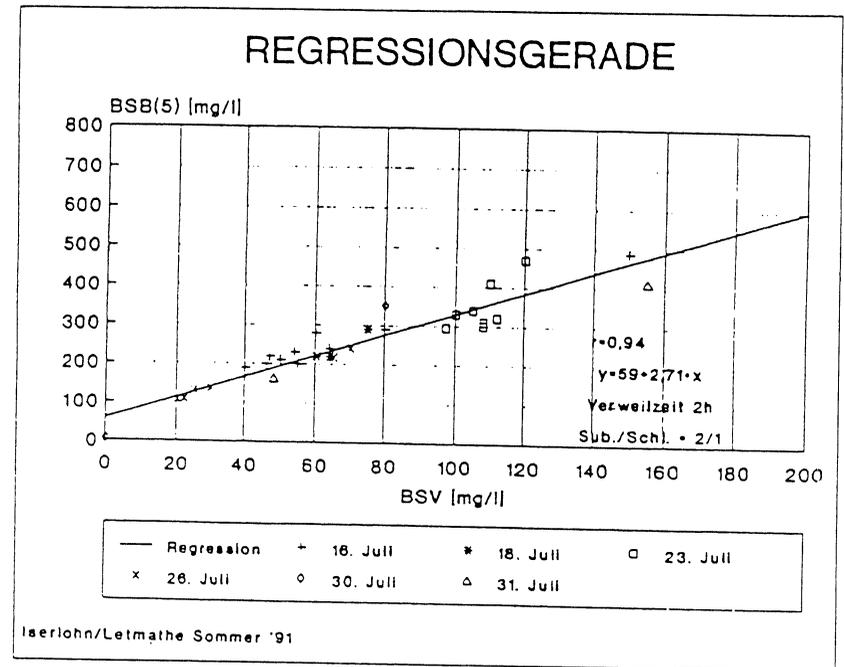


Abb. 7: Beziehung zwischen BSV-Meßwert und BSB-5 mit Darstellung der Regressionsgerade

Die Darstellung in Abbildung 7 zeigt auch, daß der BSB-5 um etwa das Dreifache höher ist als der BSV. Dieser Unterschied wurde bei verschiedenen Abwässern relativ konstant festgestellt und ist darauf zurückzuführen, daß der BSB-5 auch die Verwertung absterbender Bakterien, mithin die mehrfache biochemische Umsetzung der aus der organischen Belastung des Abwassers aufgebauten Biomasse, erfaßt. Hinzu kommt, daß im BSB-5 auch Kolloide oder Schwebeteilchen mitverwertet werden, die von den Bakterien erst bewachsen und "abgeknabbert" werden müssen.

#### 4. Weitere Anwendungsgebiete

Die Messung des biochemischen Sauerstoffverbrauchs und der Belebtschlammrespiration sind die primären Einsatzbereiche des hier vorgestellten Meßgeräts zur Erfassung der Belebtschlammrespiration und des Biochemischen Sauerstoffverbrauchs. Darüber hinaus ist das Gerät aber auch anderweitig vielseitig einsetzbar, denn grundsätzlich besteht es aus zwei Bioreaktorsystemen, die immer dann vorteilhaft einsetzbar sind, wenn eine biologische Aktivität vergleichend gemessen werden soll. Anwendungsbereiche könnten etwa die biologische Phosphatelimination oder der Abbau gelöster Stickstoffverbindungen sein.

Erfolgreich erprobt wurde beispielsweise die Erfassung der Nitrifikationsaktivität eines Klärschlammes. Für diesen Anwendungszweck wurde die Betriebsweise des BioMonitor so verändert, daß beide Reaktorbaugruppen mit der zu untersuchenden Biomasse und Abwasser beschickt wurden; zusätzlich wurde in einen der Meßstrecken ein Nitrifikationshemmstoff dosiert. Der zu messende Unterschied in den Sauerstoffverbräuchen gibt den Sauerstoffumsatz durch nitrifizierende Bakterien in der Biomasse an /10/.

#### 5. Danksagung

Die Entwicklung des BioMonitor wurde durch die IHK und den Senat von Berlin unterstützt. Die Praxiserprobung des Geräts auf Kläranlagen ermöglichten die Berliner Wasserbetriebe (Klärwerke Ruhleben und Waßmannsdorf) und der Ruhrverband (Klärwerk Iserlohn-Letmathe). Ihnen und den an der Erprobung intensiv beteiligten Diplomanden Bernd Fabian (FH Hamburg) und Knut Zwingelberg (FH Düsseldorf) gilt der besondere Dank des Autors.

#### 6. Literatur

- /1/ Pilz, U. und Werner, M.:  
Ein potentiostatisches Verfahren zur empfindlichen Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB). Zeitschrift für Wasser- und Abwasserforschung 21, 5/88, 203 - 207, 1988
- /2/ Werner, M.; Pilz, U. und Arts, W.:  
Die kontinuierliche Messung des CSB. Entsorgungspraxis 10/89, 502 - 506, 1989
- /3/ Pilz, U.:  
Erfahrungen mit dem Bakterientoximeter bei der Untersuchung giftstoffhaltiger Lösungen und schadstoffbelasteter Wasserproben. Vom Wasser Bd 66, 85 - 96, 1986
- /4/ Pilz, U.:  
Meßprinzip und Anwendungsmöglichkeiten des Bakterientoximeters. Gewässerschutz, Wasser, Abwasser 111, 440 - 458, 1989
- /5/ Wiesmann, U. und Schmidt, M.:  
Einrichtung zur Bestimmung der Konzentration biologisch abbaubarer Stoffe in Abwässern. Patentschrift DE 2951707 C2, 1981
- /6/ Heckershoff, H.:  
Ein Meßgerät zur kontinuierlichen Bestimmung der Substratkonzentration von Abwässern und der Atmungsaktivität von Belebtschlämmen. Dissertation am Fachbereich Verfahrenstechnik der TU Berlin (D 83), 1983
- /7/ Heckershoff, H. und Wiesmann, U.:  
Ein neues Meßgerät für die Betriebskontrolle und Regelung von Belebtschlamm-anlagen - Teil 1: Messung der Substratkonzentration. Korrespondenz Abwasser 33, 6/86, 508 - 513, 1986

- /8/ Heckershoff, H. und Wiesmann, U.:  
Ein neues Meßgerät für die Betriebskontrolle und Regelung von Belebtschlamm-  
anlagen - Teil 2: Messungen zur Atmungsaktivität von Belebtschlämmen und zur  
Reaktionskinetik. Korrespondenz Abwasser 33, 7/86, 600 - 606, 1986
- /9/ Wiesmann, U. und Heckershoff, H.:  
Strategien und bekannte Meßverfahren zur Regelung normal- bis hochbelasteter  
Belebungsanlagen. gwf Wasser- Abwasser 127, 12/86, 637 - 645, 1986
- /10/ Fabian, B.:  
Erprobung meßtechnischer Anwendungen eines Kurzzeit-BSB-Meßverfahrens  
unter praxisnahen Bedingungen. Diplomarbeit am Fachbereich Bioingenieurwe-  
sen der FH Hamburg, 1991

# Anlage I

## Inhaltsverzeichnis

Fachhochschule Wiesbaden

Fachbereich: Physikalische Technik

DIPLOMARBEIT

Thema: Entwicklung und Konstruktion eines  
biosensorischen Meßgerätes  
zur graduellen Erfassung  
von Toxizitäten in Gewässern und  
Abwässern

vorgelegt von: Jan J. J. Sobkowicz  
Im Reis 52  
6090 Rüsselsheim 3

am: 21.06.1988

Referent: Dr.-Ing. Lutz Pütter

Seite

1. Einleitung.....	1
1.1 Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB).....	2
Meßmethoden	
1.1.1 Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB).....	2
1.1.2 Meßmethoden.....	2
1.1.2.1 BSB <sub>5</sub> -Meßverfahren.....	2
1.1.2.2 Meßverfahren des BSB-M3-Meßgerätes.....	3
1.2 Toxizitätsmessung.....	6
1.2.1 Toxizitätsmessungskonzept I.....	7
1.2.2 Toximeterkonzept II.....	8
2. Analyse der Regelstrecke.....	10
2.1 Einleitung.....	11
2.2 Theoretische Analyse der Regelstrecke.....	11
2.2.1 Aufstellen des Signalflußplans.....	11
2.2.2 Proportionalbeiwerte und Zeitkonstanten.....	12
2.3 Aufstellen der Systemgleichungen.....	15
2.3.1 Sauerstoffverbrauch.....	15
2.3.2 Frequenz.....	15
2.3.3 Sauerstoffmessung.....	16
2.3.3.1 Kalibrieren der O <sub>2</sub> -Messung.....	16
2.3.3.2 Differentialgleichung.....	17
2.3.4 Sauerstoffverbrauch im Bioreaktor.....	17
2.3.4.1 Randbedingungen.....	17
2.3.4.2 Grundatmung.....	18
2.3.4.3 Substratatmung.....	19

	Seite
3. Regeleinrichtung.....	86
3.1 Regler des BSB-M3-Meßgerätes.....	87
3.1.1 Regelalgorithmen.....	87
3.1.2 Verarbeitung der E2-Meßwerte.....	92
3.1.3 Messung des Störverhaltens des Regelkreises.....	92
3.2 Linearer Regelalgorithmus.....	114
3.2.1 Regleralgorithmus.....	114
3.2.2 Entwurf und Auslegung des Regelkreises.....	115
3.2.2.1 Modellbildung der Regelstrecke.....	115
3.2.3 Auslegung des Regelkreises mit P-Regler.....	119
3.2.4 Auslegung des Regelkreises mit PI-Regler.....	122
3.2.5 Auslegung des Regelkreises mit PID-Regler.....	128
3.2.6 Durch Simulation am Analogrechner optimierte PI-Reglereinstellung.....	130
3.2.7 Messung des Störverhaltens des Regelkreises.....	131
3.2.8 Einstellungsempfehlungen.....	143
4. Das Toxizitätsmeßverfahren.....	145
4.1 Vorversuche.....	145
4.2 Das Analysenverfahren.....	145
5. Grundlagen der Reaktionskinetik.....	149
5.1 Reaktionskinetik in der Abwasserbehandlung.....	150
5.2 Die kinetikenzymkatalysierten Reaktionen.....	154
5.2.1 Die Michaelis-Menten-Beziehung.....	154
5.2.2 Einflußgrößen enzymkatalysierter Reaktionen.....	158

## 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit der FH Wiesbaden/Rüsselsheim und der Firma STIP Siepman und Teutscher GmbH angefertigt.

Die Firma STIP stellt das kontinuierliche BSB-M3-Meßgerät her, das zum ersten Mal die Möglichkeit bietet, den biochemischen Sauerstoffbedarf in Gewässern und Abwässern, mit dreiminütiger Zeitverzögerung voll kontinuierlich zu messen. Dieses Prozessmeßgerät ist für den Einsatz in der Kläranlagenüberwachung und -steuerung, sowie in der Gewässeranalyse entwickelt worden.

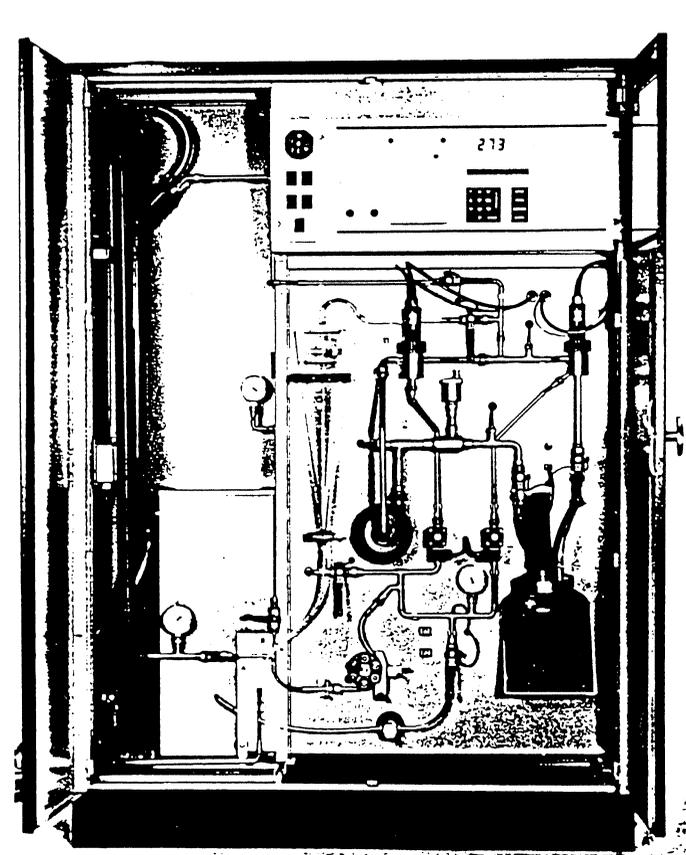


Bild 1: Das kontinuierliche BSB-M3-Meßgerät

Auf der Basis dieses biosensorischen Meßgerätes hat die Firma Siepman und Teutscher GmbH das Konzept eines kontinuierlichen Toxizitätsmeßgerätes entwickelt. Dieses Gerät soll Toxizitäten in Gewässern und Abwässern graduell erfassen und im Zulauf von Kläranlagen und Gewässern Störfälle erkennen und entsprechende Maßnahmen einleiten.

Im Folgenden werden das BSB-M3-Meßverfahren und die Toxizitätsmessungskonzepte vorgestellt. Das Kapitel 2 dieser Arbeit erstellt ein Modell der Regelstrecke des BSB-M3-Meßgerätes und überprüft dieses durch entsprechende Stell- und Störgrößensprünge. Die Regeleinrichtung und der Standardregelalgorithmus untersucht das Kapitel 3. Anschließend wird ein alternativer Regelalgorithmus eingestellt und an der Strecke getestet. Es folgen Einstellungsempfehlungen für den realen Meßbetrieb. Das Kapitel 5 stellt die reaktionskinetischen Grundlagen, soweit sie für die vorliegenden Meßverfahren von Bedeutung sind, dar.

### 1.1 Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB) Meßmethoden

#### 1.1.1 Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB)

Der biologische Sauerstoffbedarf (BSB) ist eine Äquivalentgröße zur organischabbaubaren Verschmutzung von Gewässern oder Abwässern. Die Belastung wird erfaßt über den Sauerstoffverbrauch von Mikroorganismen, die diese Belastung "veratmen" (aufzehren).

#### 1.1.2 Meßmethoden

##### 1.1.2.1 BSB<sub>5</sub>-Meßverfahren

Die BSB-Analyse ist definiert über die "BSB<sub>5</sub>"-Analyse:

Eine definierte verdünnte Abwassermenge (1 l) wird mit Mikroorganismen beimpft und luftdicht abgeschlossen. Über 5 Tage wird der Sauerstoffverbrauch in dieser Probe bestimmt und als BSB<sub>5</sub> bezeichnet.

Das Ergebnis der Messung steht nach 5 Tagen Analysenzeit zur Verfügung.

### 3. Regeleinrichtung

Die im Prozeßrechner des BSB-M3-Meßgerätes programmierten Regelalgorithmen werden im folgenden dargestellt. Mit geeigneten Störgrößensprüngen wird das Verhalten des Regelkreises experimentell überprüft. Alternativ zu den bisher genutzten, nicht linearen Algorithmen wird ein linearer Regelalgorithmus programmiert. Mit Hilfe von bewährten Einstellkriterien werden die Reglerparameter ermittelt. Das Verhalten dieses Regelkreises wird auch durch entsprechende Störgrößensprünge überprüft. Aus dem Vergleich der experimentellen Ergebnissen folgen Einstellungsempfehlungen.

Das analoge Signal der Sauerstoffmessung (E2) wird digitalisiert und im Prozeßrechner des Meßgerätes verarbeitet. Der berechnete, digitale Stellgrößenwert ( $Y_k$ ) wird in ein analoges Signal  $Y$  umgewandelt und zur Regelstrecke ( $Y = n_{R1}$ ) gegeben:

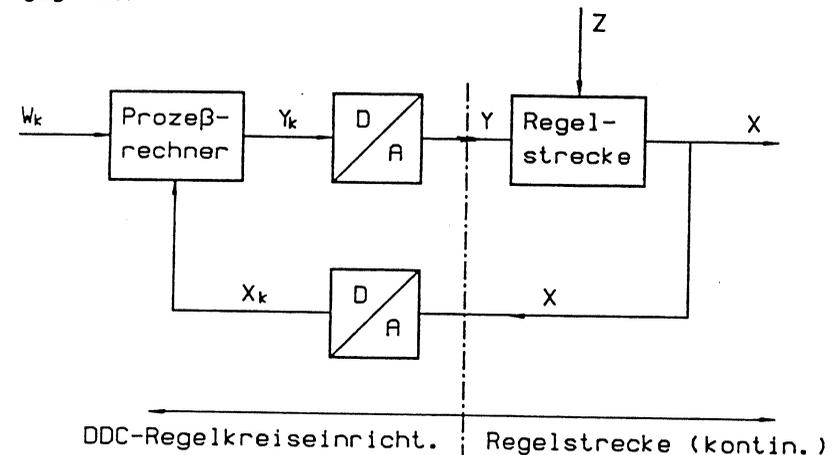


Bild 35: Blockschaubild des Regelkreises des BSB-M3-Meßgerätes

- $W_k$  - Führungsgröße
- $X$  - Regelgröße
- $Y$  - Stellgröße
- $Z$  - Störgröße

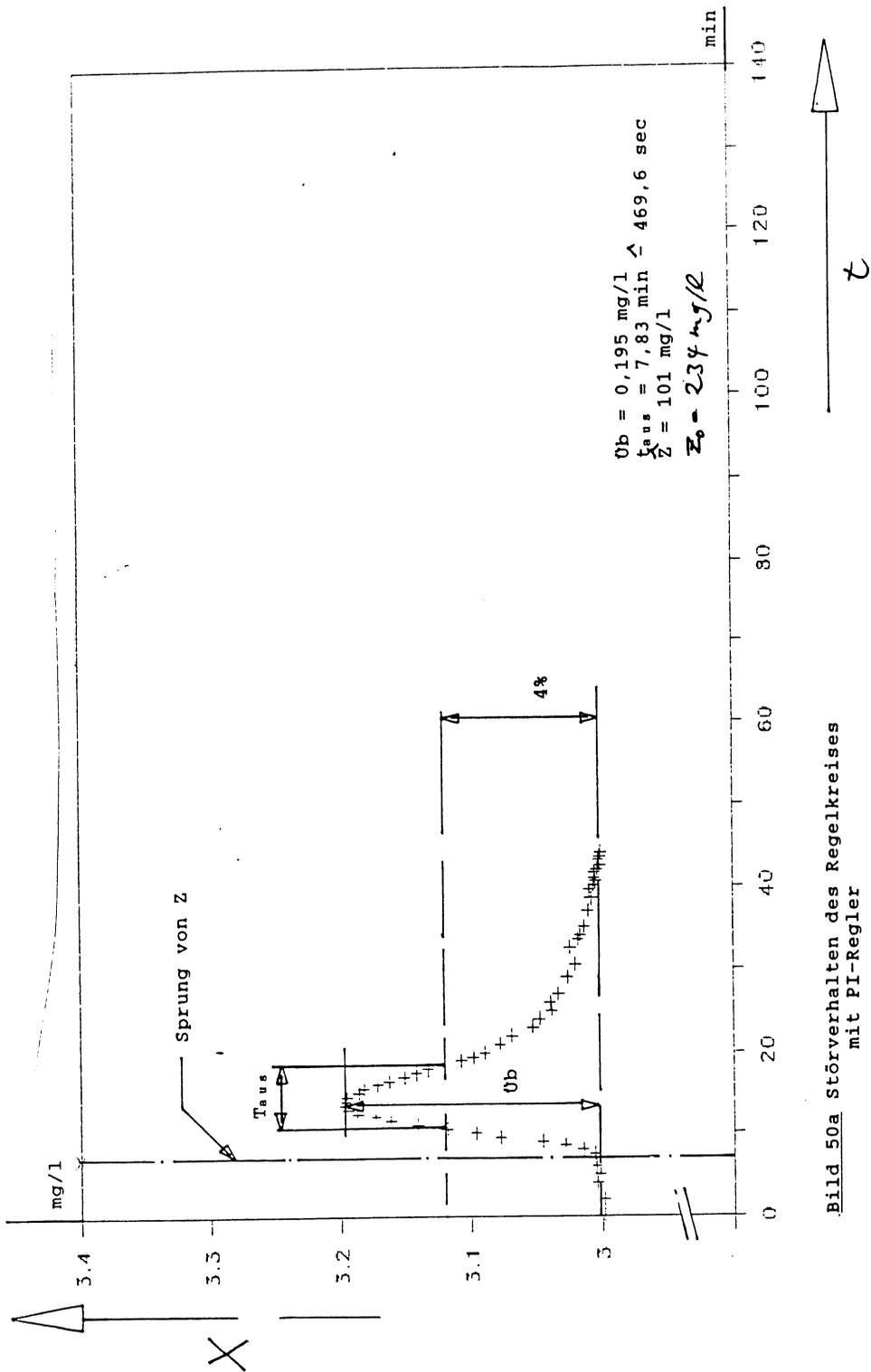


Bild 50a Störverhalten des Regelkreises mit PI-Regler

- x - Sauerstoffverbrauch in mg/l
- t - Laufzeit in min
- t<sub>aus</sub> - Ausregelz ; Ü<sub>b</sub> - Überschwingweite

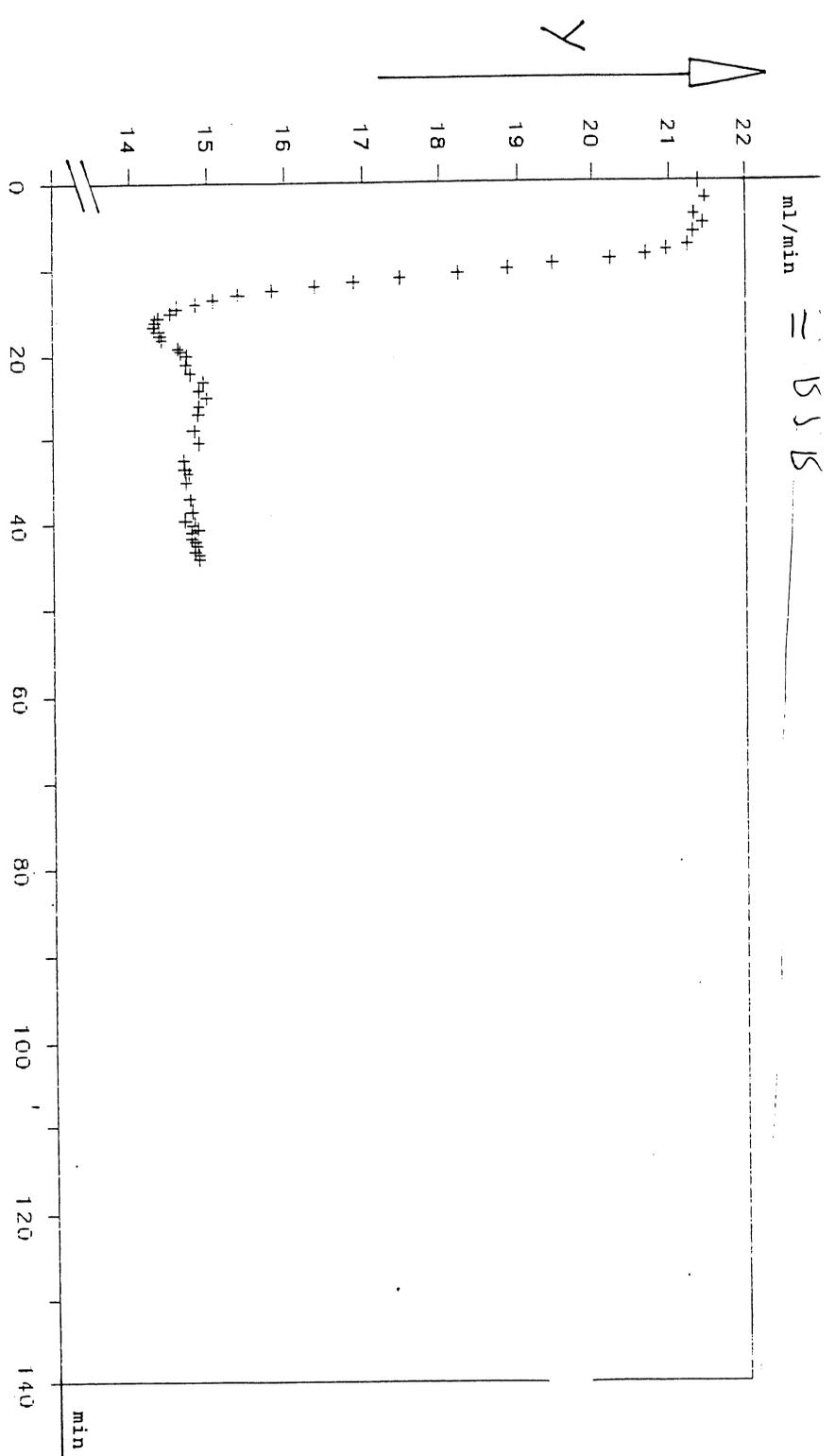


Bild 50b Störverhalten des Regelkreises mit PI-Regler

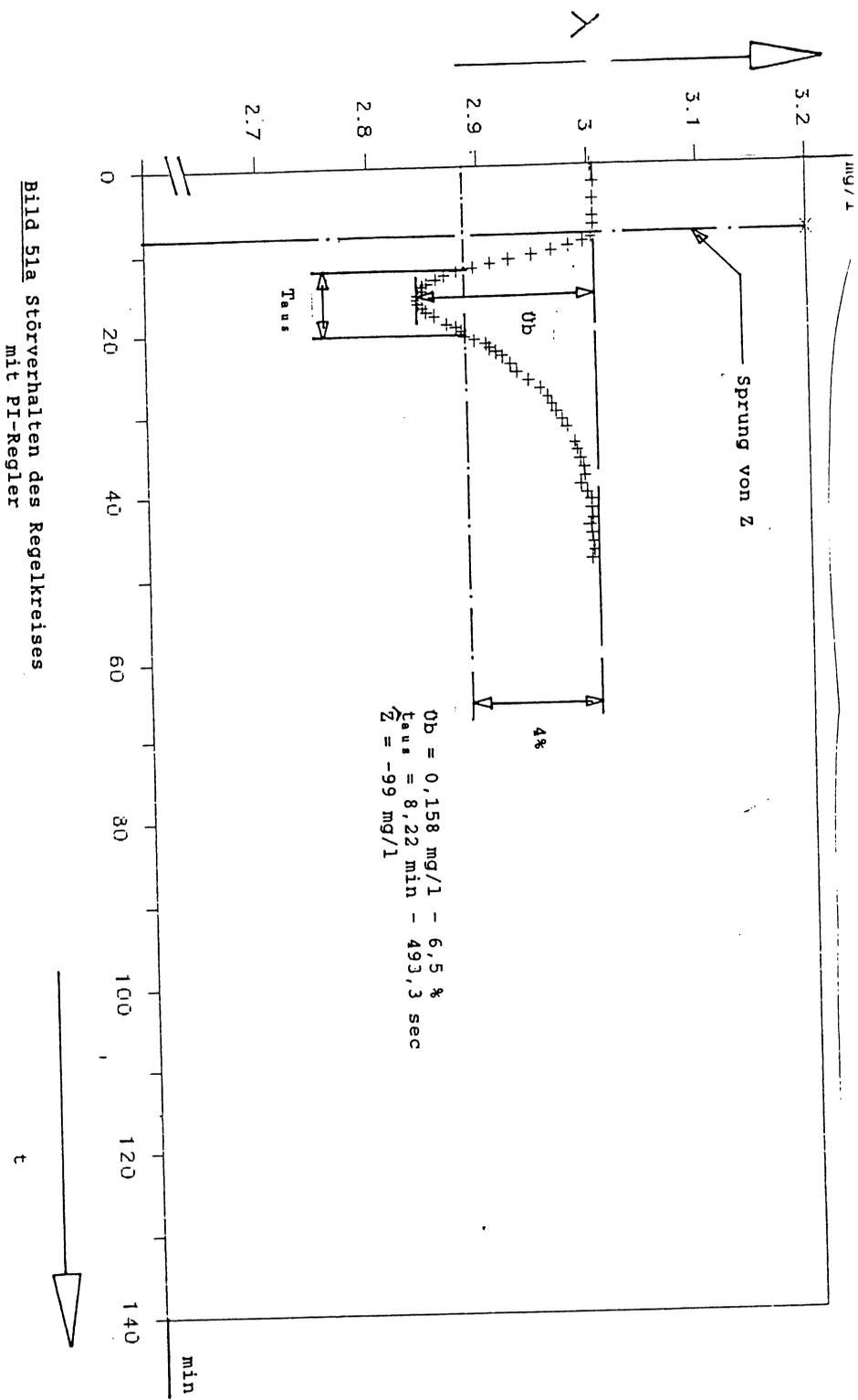
- Y - Abwassermenge in ml/min
- t - Zeit in min

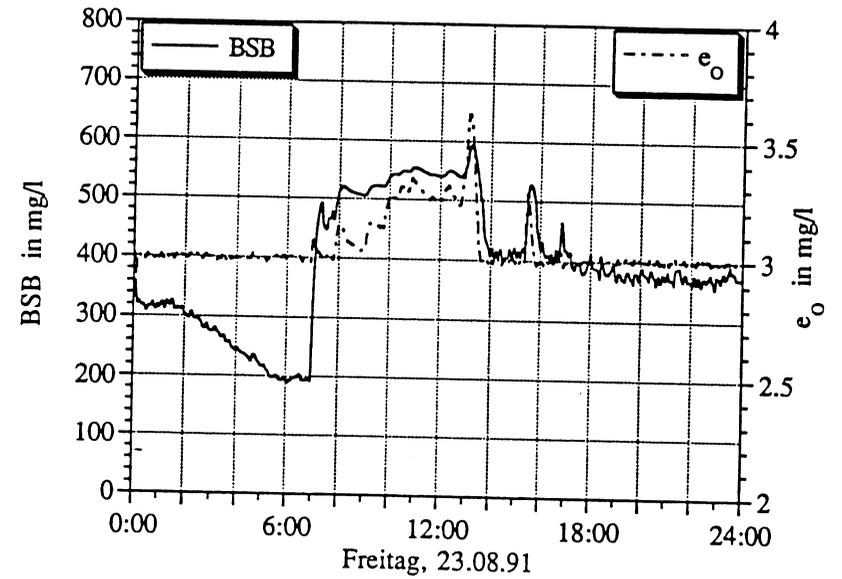
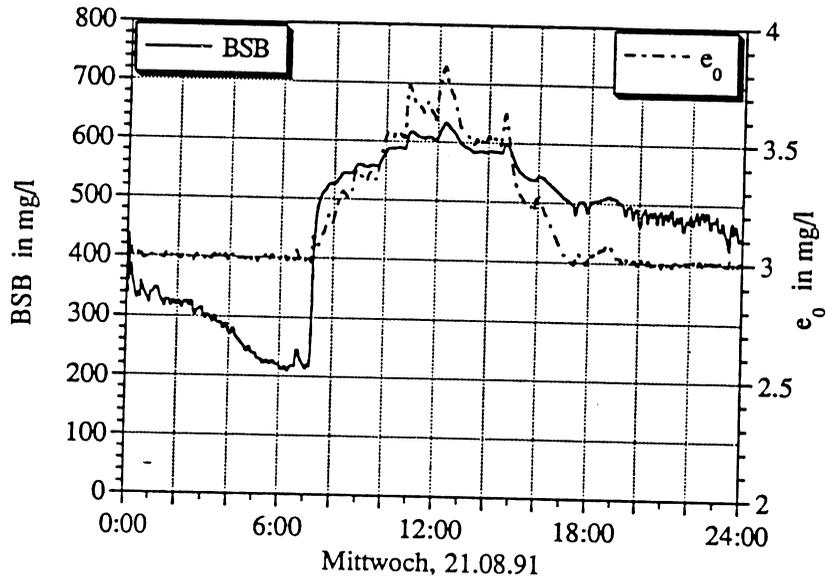
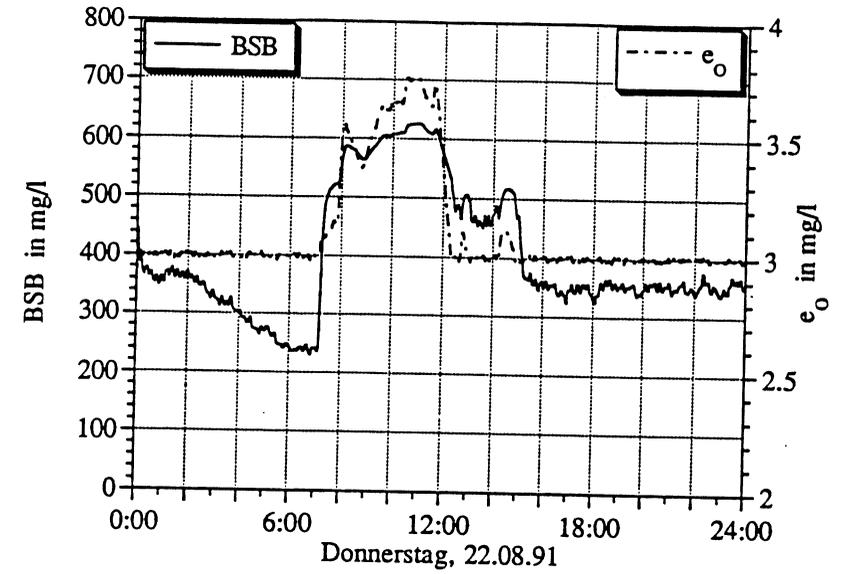
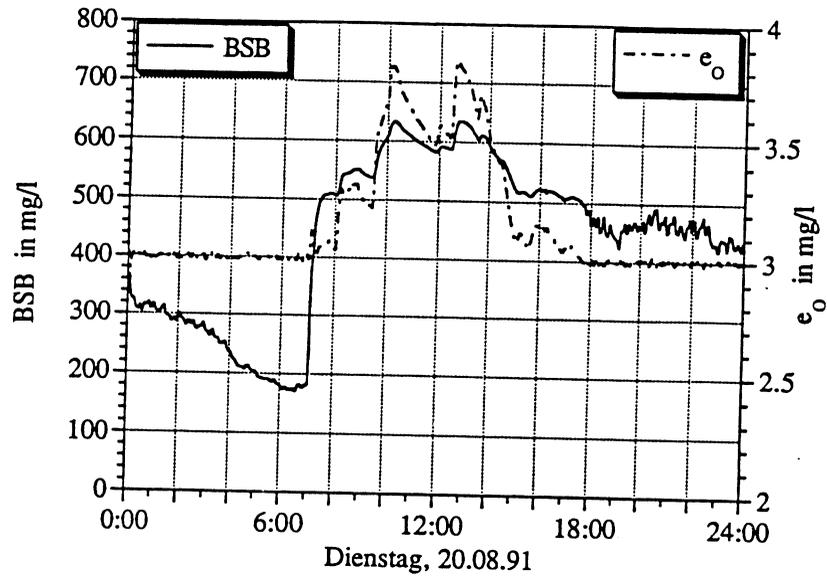
Anlage 44

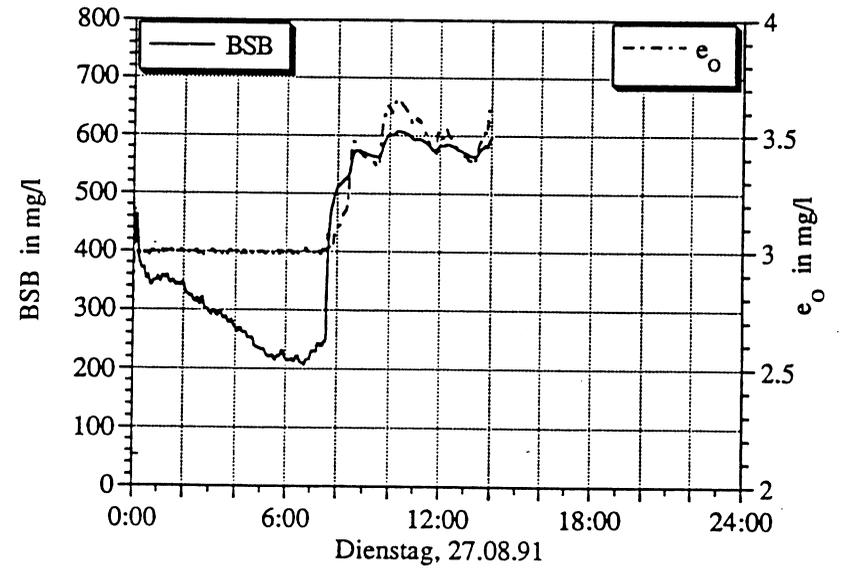
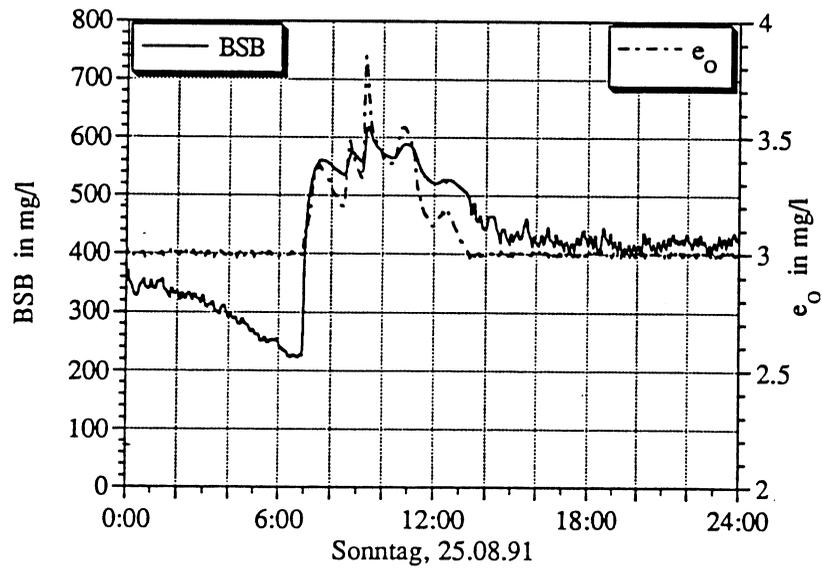
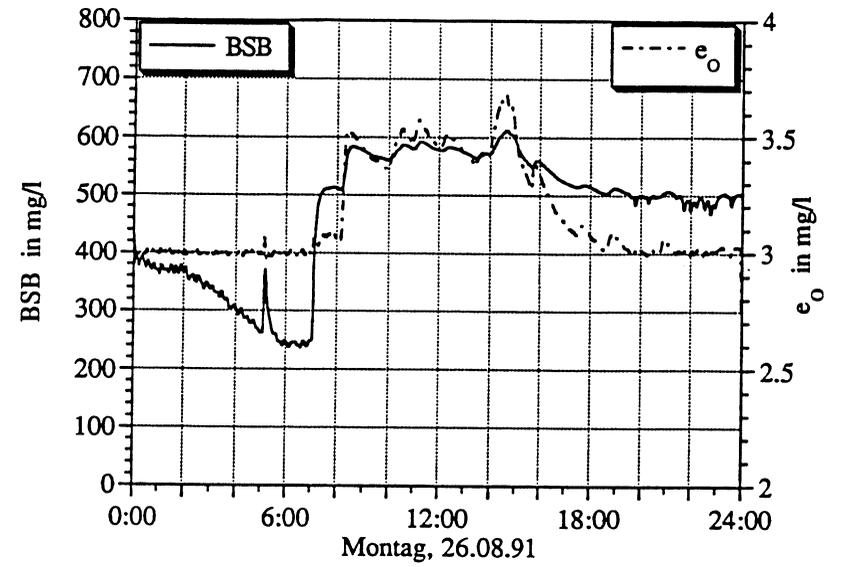
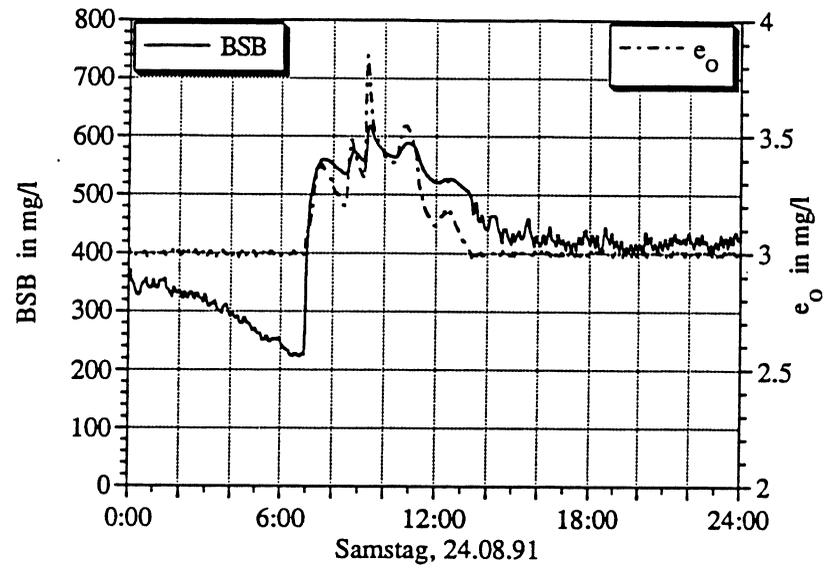
Untersuchung des Regelverhaltens eines  
kontinuierlich arbeitenden BSB-Meßgerätes  
bei großen Schwankungen der Eingangskonzentration

Studienarbeit  
von  
Markus Jordan

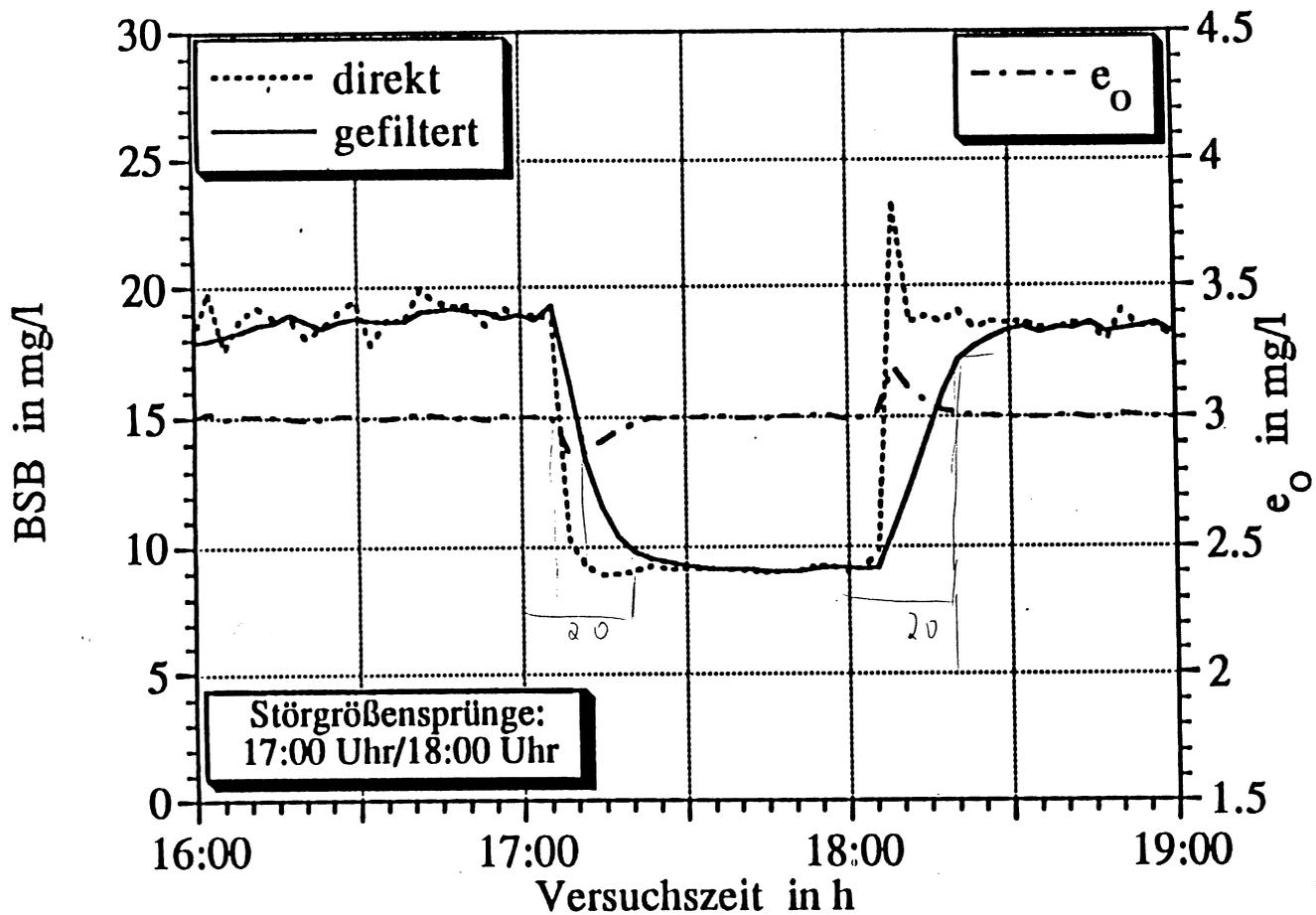
IMR-Bericht 1-92



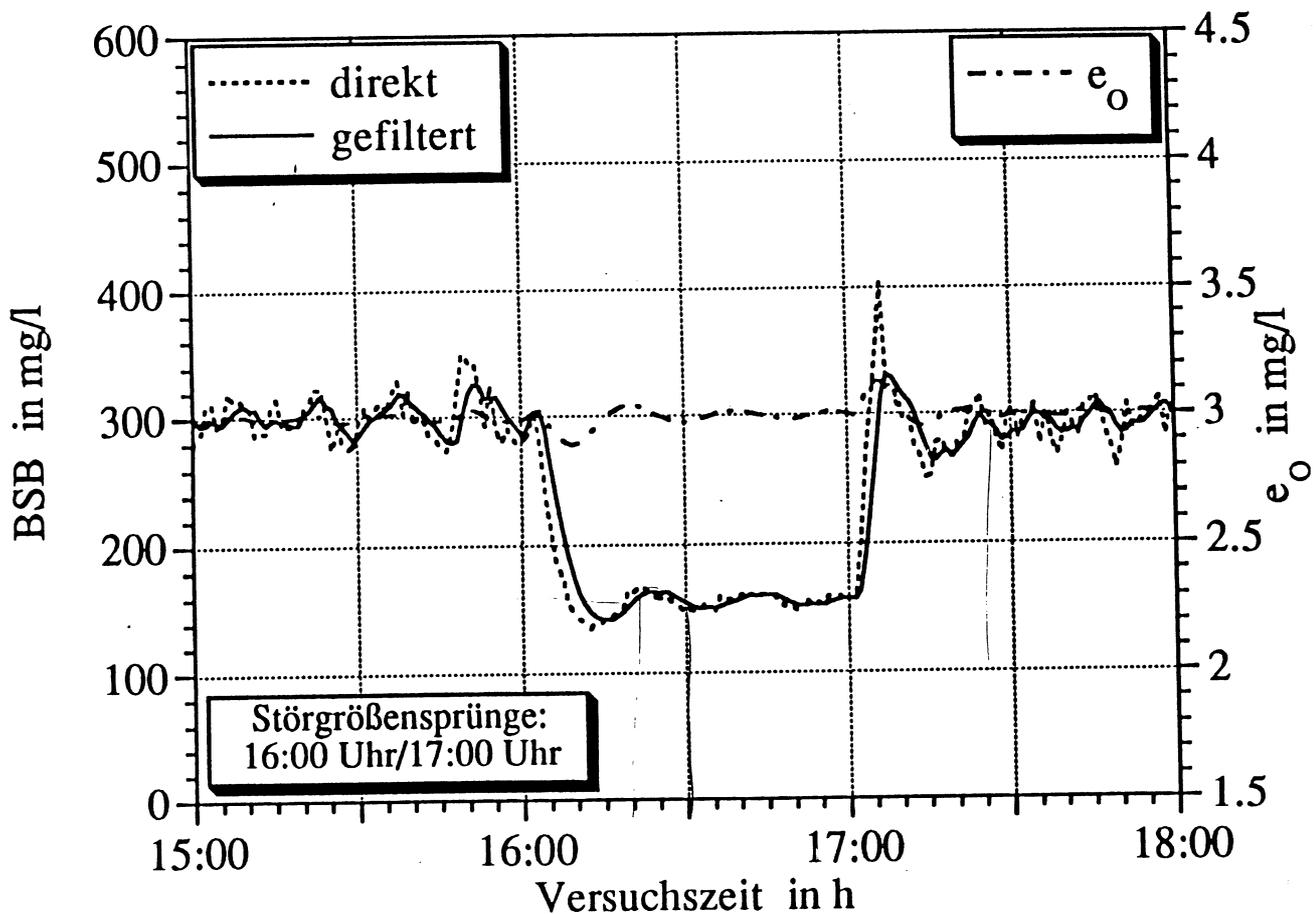




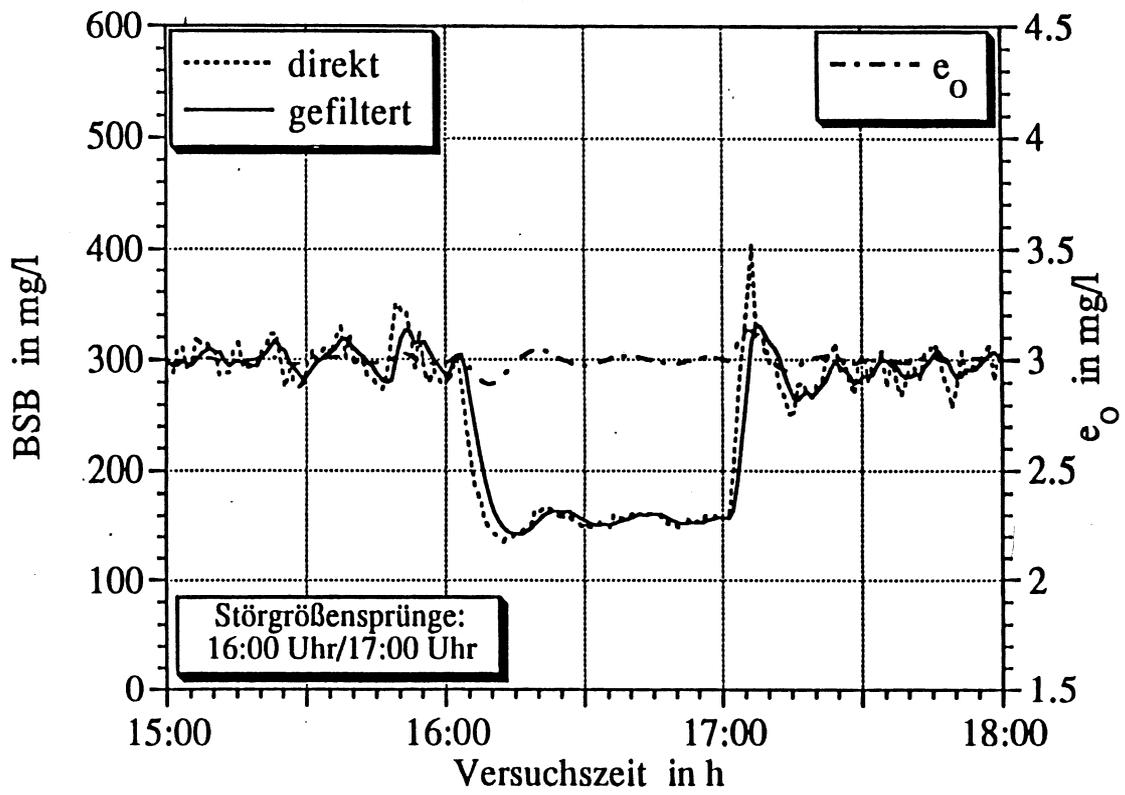
### Versuch 2:



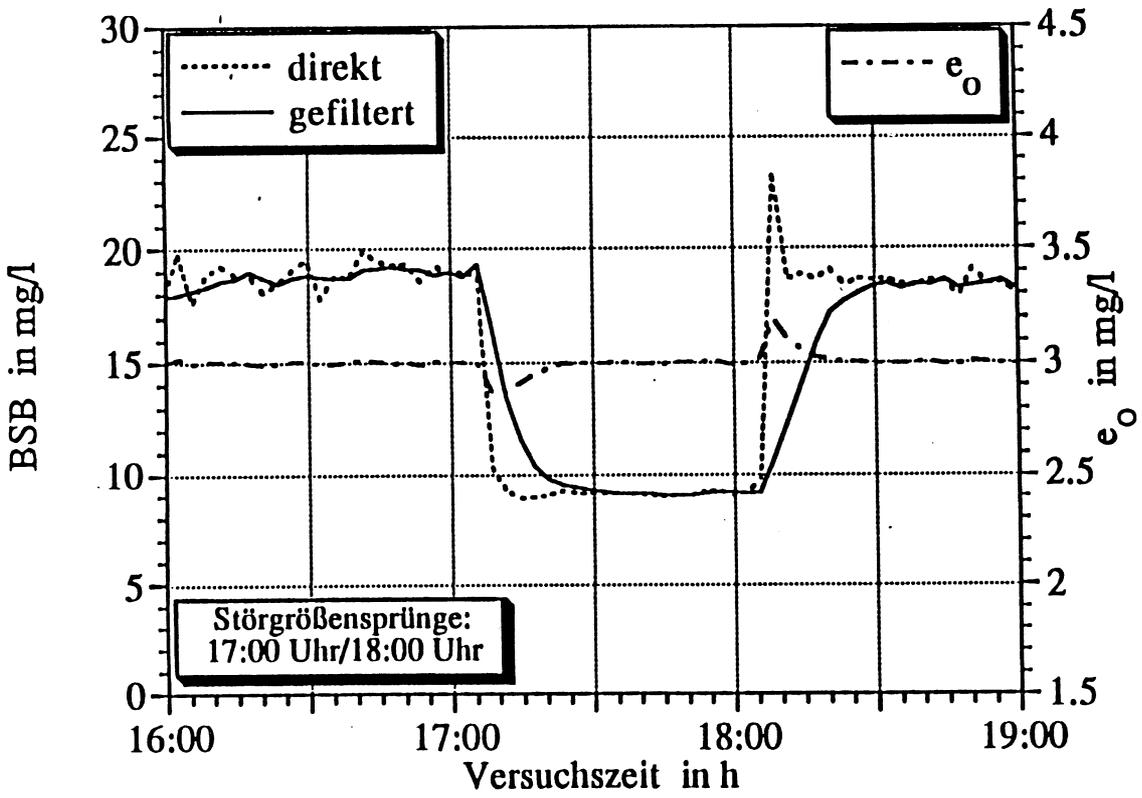
### Versuch 3:



Versuch 3:



Versuch 2:



INHALTSVERZEICHNIS

3

1. Einleitung

4

2. Theoretischer Teil

5

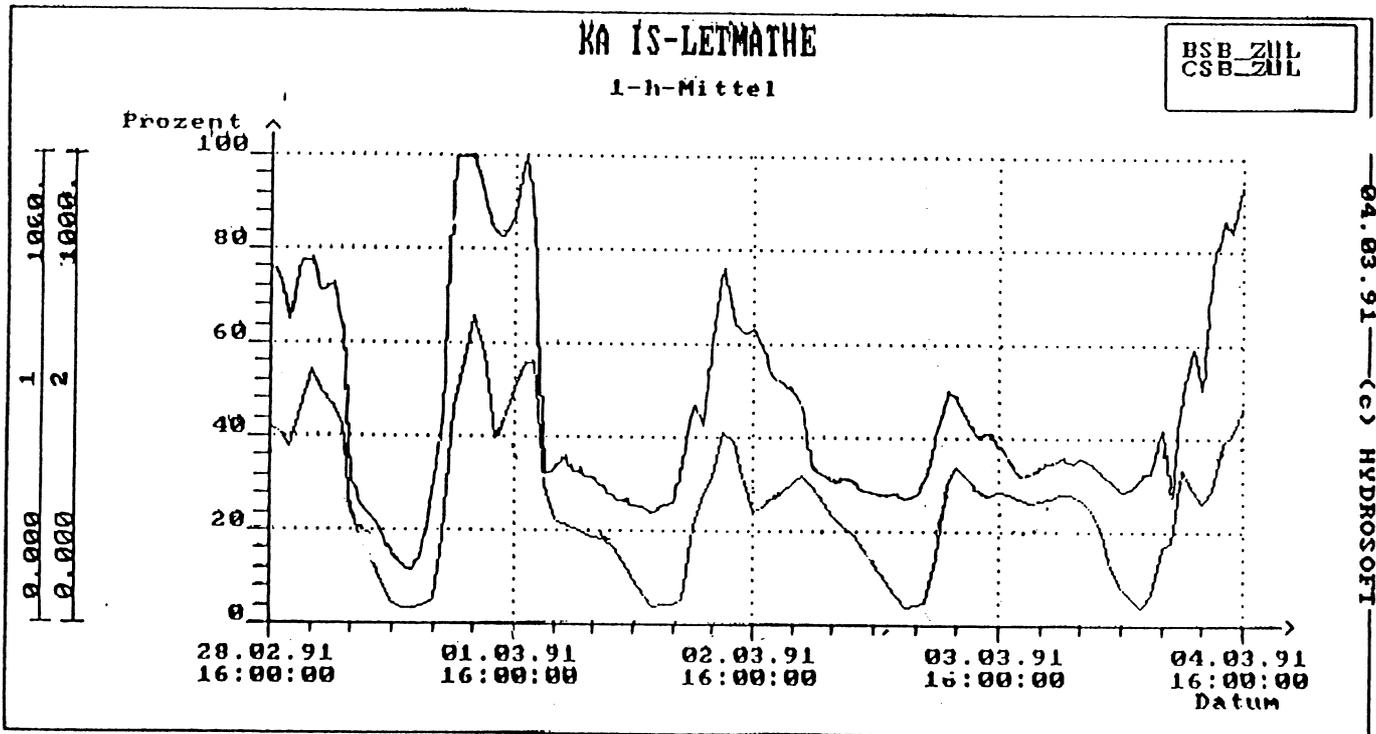
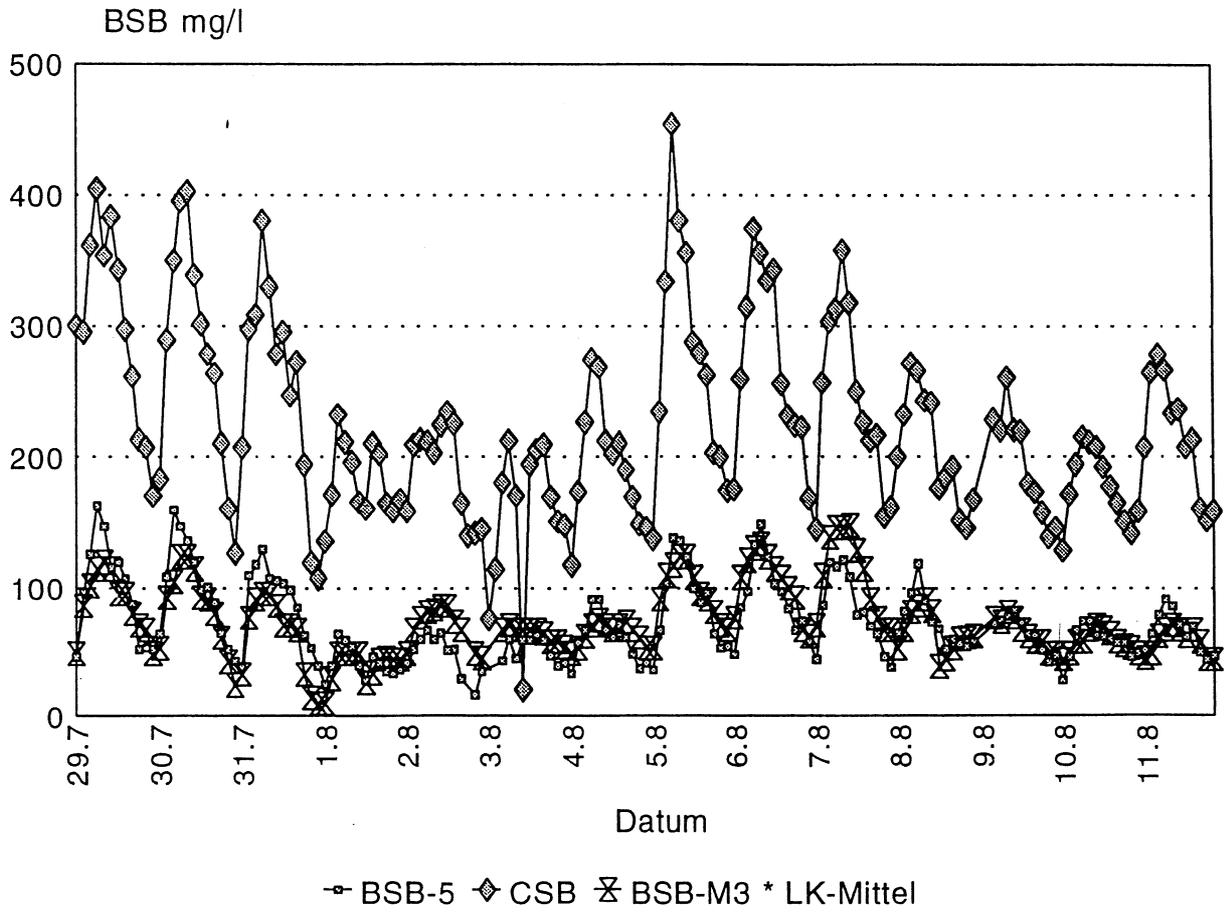
2.1. Einführung in die Problemstellung

Anlage III

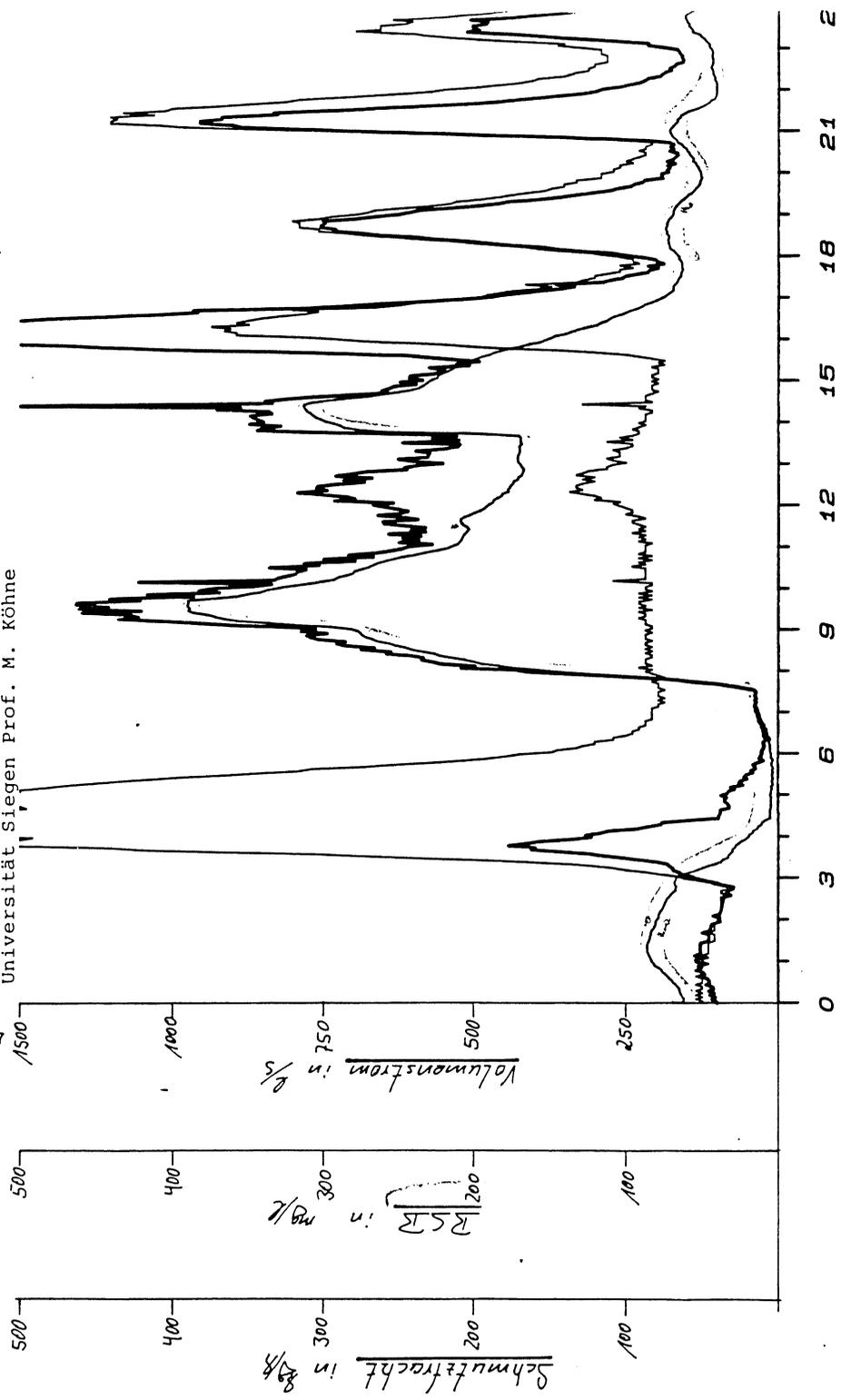
Eignung von biotechnischen  
On - line Geräten  
für die Prozesssteuerung im  
Klärwerk Augsburg

Diplomarbeit

Zur Erlangung des Grades "Diplom Ingenieur (FH)"  
im Studiengang Physikalische Technik mit Schwerpunkt Technischer  
Umweltschutz an der Fachhochschule München



Zulauf zur Vorklärung

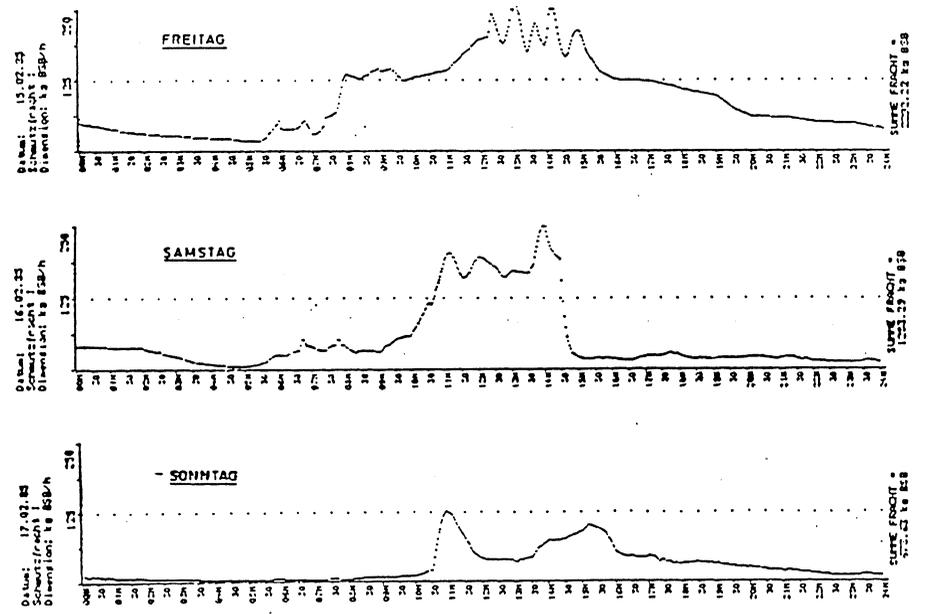


$$B_{TS} = \frac{BSB\text{-Fracht}}{V_{BB} \cdot TS_{BB}} \quad \left[ \frac{\text{kg BSB}}{\text{kg TS} \cdot \text{d}} \right]$$

TAGESFRACHTSCHWANKUNGEN OHNE SONDEREREIGNISSE

KA-GRÖSSE IN EGW	SCHWANKUNGEN
30.000	1 : 10
30.000 - 100.000	1 : 5
100.000	1 : 3

BSB - FRACHTGANGLINIE





Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH • Vahrenwalder Str. 7 • 30165 Hannover

STIP

Siepmann und Teutscher GmbH

z. Hd. Herrn Siepmann

Siemensstraße 2

64818 Groß-Umstadt

Stadtentwässerung  
Gewässerschutz  
Hydrometrie

Beratung  
Planung  
Entwicklung  
Forschung

Vahrenwalder Straße 7  
30165 Hannover

Hannover, den 29.04.94

Zeichen: Sü      Ruf: -54

## Genauigkeit der BSB-M3-Messung in Bremen-Linkes-Weserufer

Sehr geehrter Herr Siepmann,

wie Ihnen bekannt ist, führen wir im Auftrag der Bremer Entsorgungsbetriebe eine Untersuchung zum Genauigkeits- und Verzögerungsverhalten eines BIOX-1000-Gerätes aus Ihrem Hause durch. Das Gerät wird am Hauptpumpwerk Linkes Weserufer eingesetzt und soll - bei entsprechenden Ergebnissen unserer Untersuchung - in die bestehende On-line Kanalnetzsteuerung mit eingebunden werden.

Im Rahmen der Untersuchung würde eine Regenwetterbeprobungskampagne durchgeführt, um das Gerät unter den tatsächlichen Betriebsbedingungen bei Mischwasserabfluß zu überprüfen. Hierzu wurden während fünf Niederschlag-Abfluß-Ereignisse Referenzproben unmittelbar vor dem BIOX-1000 entnommen und im Labor der BSB<sub>5</sub> bestimmt. Die Ergebnisse einiger Beprobungen sind Ihnen ja auch schon per Fax zugegangen und wurden gemeinsam telefonisch erörtert.

Da dieser Teil der Untersuchung jetzt abgeschlossen ist, möchten ich Ihnen eine Zusammenstellung der aller beprobten Ereignisse (siehe Tabelle 1 und Anlage 1) zukommen lassen, und Sie - auch im Auftrag der Bremer Entsorgungsbetriebe - um eine schriftliche Stellungnahme und Vorschläge für eine weitere Vorgehensweise bitten.

Tel. 0511-9 35 72 50 • Fax 0511-9 35 71 00

Geschäftsführer:  
Dipl.-Ing. D. Gratehusmann • Dr.-Ing. M. Uhl  
Gesellschafter: D. Gratehusmann  
A. Khellil, L. Schiedt, M. Schütte, M. Uhl

Kreissparkasse Hannover • BLZ 250 502 99  
Konto Nr. 1 07 28 • AG Hannover HRB 53148

Fazit unserer Untersuchung ist, daß das BIOX-1000 im Hauptpumpwerk Linkes Weserufer die vorhandenen BSB-Konzentrationen korrekt mißt. Als Meßwertverzögerung wurde ein Spektrum von 0 bis zu 70 Minuten festgestellt. (s. Tabelle 1 und Anlage 1). Aufgrund der Schwankungsbreite der Werte kann kein einheitlicher Verzögerungsfaktor systematisiert werden.

Dieses wäre aber für den Einsatz des BSB-M3-Gerätes für Steuerungszwecke mindestens notwendig. Mit Meßwertverzögerungen von ungefähr 60 Minuten wäre das BSB-M3-Gerät für On-line Steuerungszwecke allerdings nicht geeignet. Daß eine qualitativ und zeitlich korrekte Messung offensichtlich möglich ist, zeigt die Beprobung vom 27.1.94.

Tab. 1: Verzögerungsverhalten des BSB-M3-Gerätes bei Mischwasser

Niederschlagsereignis Datum	Verzögerung des BSB-M3-Meßwertes
22./23. 9.93	35 min
3.10.93	70 min
8.10.93	65 min
8.12.93	65 min
27.1.94	0 min

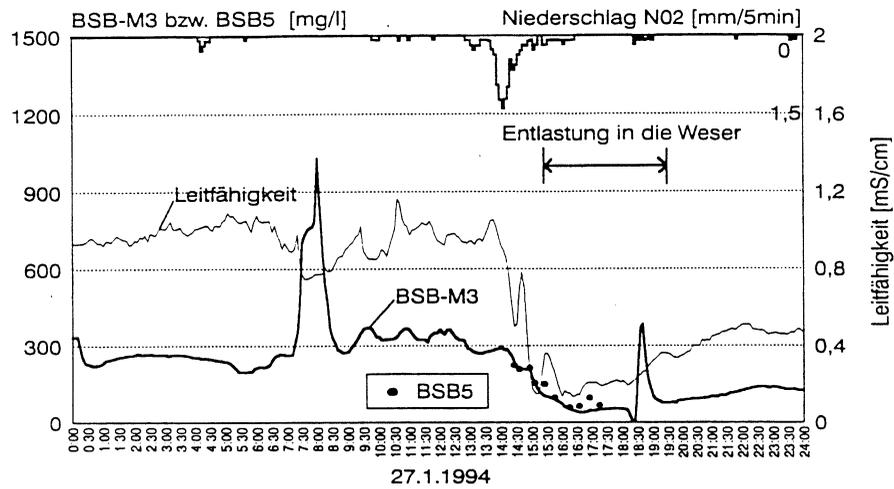
Das Gerät wurde regelmäßig gemäß dem Betriebshandbuch gewartet und Störungen wurden sofort behoben. In den Anlage 2 ist ein Protokollausdruck des Gerätes bei Beginn (24.6.93) und zum Ende des Untersuchungszeitraums (6.4.94) enthalten. Ferner habe ich in Anlage 3 eine Zusammenstellung der  $L_K$ -Wert-Bestimmungen im Untersuchungszeitraum beigefügt.

Falls Sie weitere Rückfragen haben stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

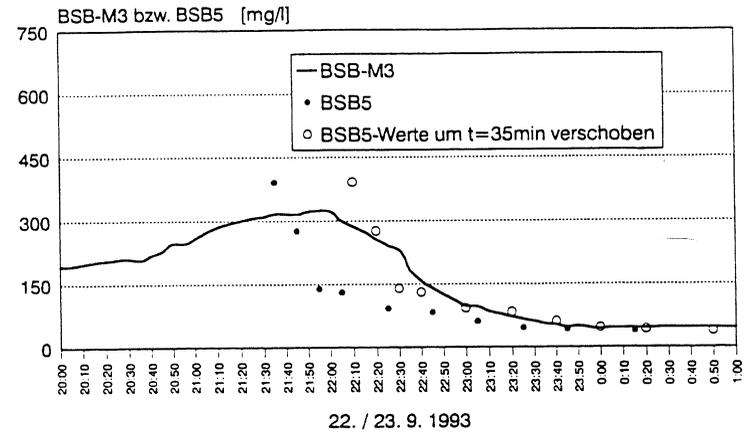
Dipl.-Ing. M. Schütte

Anlage 1  
Grafische Darstellung der Ergebnisse der Mischwasserbeprobungen

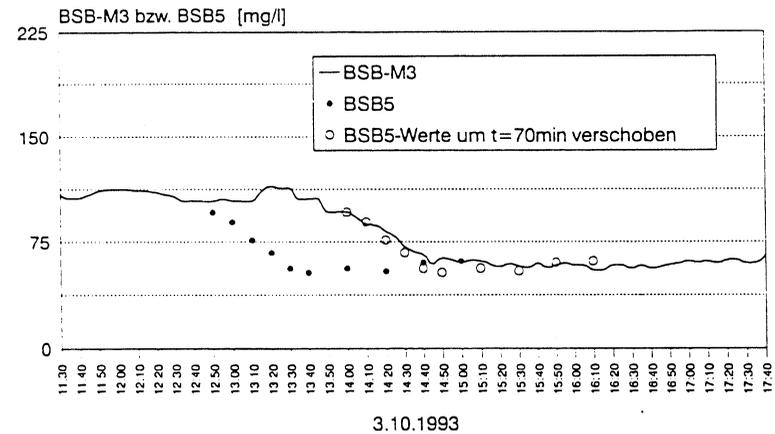


Regenwetterbeprobung am 27.1.94

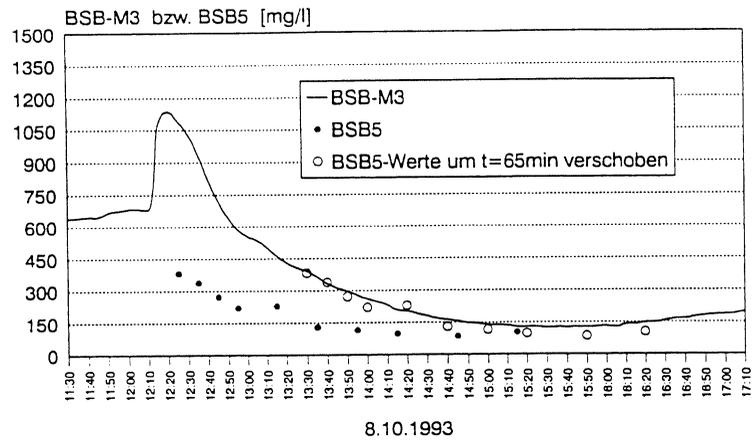
Um die Genauigkeit und Verzögerungseigenschaften der BSB-M3-Messung besser untersuchen zu können, zeigen die folgenden Grafiken für jedes der fünf Mischwassereignisse den beprobten Zeitraum in einer größeren Auflösung. In den Grafiken werden die BSB-M3-Werte, die BSB<sub>5</sub>-Analyseergebnisse für die jeweilige Probe und die um einen Zeitfaktor verschobenen BSB<sub>5</sub>-Werte dargestellt. Die BSB<sub>5</sub>-Werte geben den tatsächlichen BSB-Konzentrationsverlauf in dem beprobten Zeitabschnitt des Ereignisses wieder. Durch eine Verschiebung der BSB<sub>5</sub>-Werte um einen Zeitfaktor konnte bei allen fünf Ereignissen die BSB<sub>5</sub>-Ganglinie weitgehend mit der BSB-M3-Ganglinie zur Deckung gebracht werden. Der Verlauf der BSB-Konzentration wird daher offensichtlich qualitativ richtig von dem BSB-M3-Gerät wiedergegeben. Bezüglich der Genauigkeit der BSB-M3-Messung kann man demnach von einer korrekten Messung der BSB-Konzentration ausgehen, allerdings mit einer zeitlichen Verzögerung.



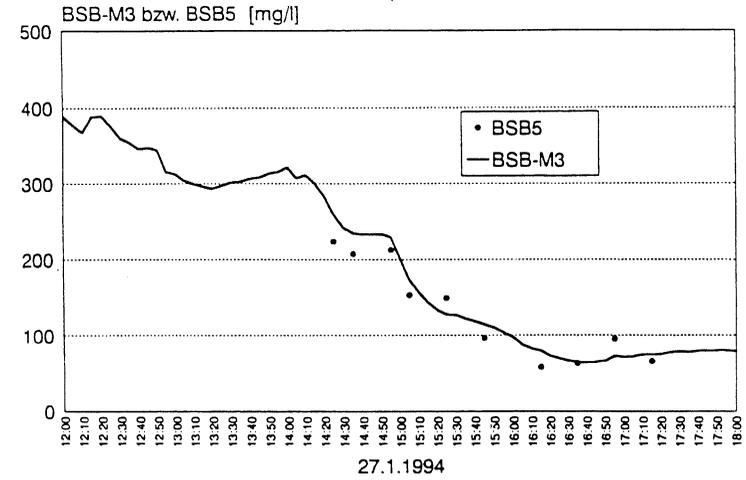
Verzögerungsverhalten des BSB-M3-Gerätes bei der Regenwetterbeprobung am 22./23.9.93



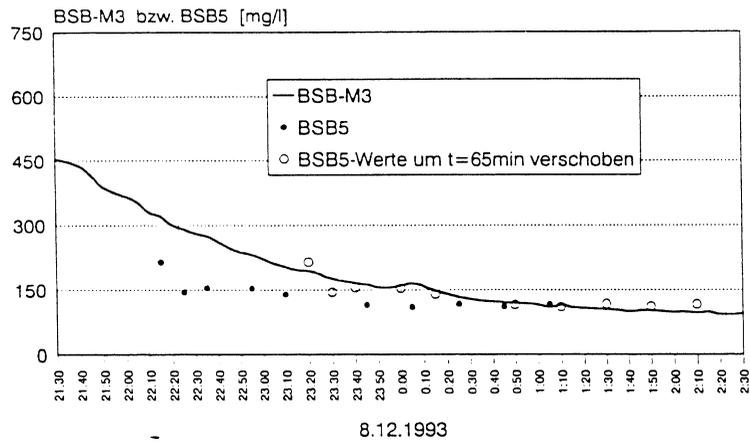
Verzögerungsverhalten des BSB-M3-Gerätes bei der Regenwetterbeprobung am 3.10.93



Verzögerungsverhalten des BSB-M3-Gerätes bei der Regenwetterbeobachtung am 8.10.93



Verzögerungsverhalten des BSB-M3-Gerätes bei der Regenwetterbeobachtung am 27.1.94



Verzögerungsverhalten des BSB-M3-Gerätes bei der Regenwetterbeobachtung am 8.12.93

Anlage 2

Protokollausdrucke des BIOX1000

MESSBEREICHSDATEN  
AUSDRUCK: 240693 - 1312

MAX MESSWERT = 2000  
LK-WERT = 4  
BSB VORGABE = 500  
MAX QP = 200  
MIN QP = 7.5  
SPUELUNGEN/TAG = 8  
EICHUNGEN/TAG = 2  
BETRIEBSART = 1  
O2-ABWASSER = .1  
200 1000 5 1000

GRUNDDATEN  
AUSDRUCK: 240693 - 1313

O2-DIFFERENZ = 3  
GESAMT QP = 1000  
ALFA 1 = 2.5  
ALFA 2 = 1.3  
DIVISOR = 2000  
MIN E1 = 3.5  
MIN E2 = .5  
G1 = 0  
G2 = 0  
G3 = 0  
MESSRATE = 21  
MIN T = 20  
MAX T = 80  
E-GRENZE = .3  
TAGESWECHSEL = 0

Von Lk-Wert - Best.  
24.6.93

BSB-M3 NR. 1 240693  
AUSDRUCK: 240693 - 1313

MAX MW 1155.2 11:36  
MIN MW 171.3 12:55  
MITTEL 801.4

K-E2 2.462 +1.131

E-STEILHEIT 12:05  
E-STEILHEIT 13:05

-  Eingang: Rückseite Schiffbauweg 2
-  Linie 3, Haltestelle Use Akschen
-  Linien 2, 10; Haltestelle Lindenhofstr.

**TELEFAX-VORLAUFBLATT**

06.04.94

Empfänger ▾   <b>BREMER ENTSORGUNGSGES. BETRIEBE</b> Abwasserförderung Senator-Appelt-Straße 11 28197 Bremen (R. Sonntag)	Org.-Zeichen ▾ E 412-1  Telefax ▾ 0421-3611 16720  Seitenzahl mit Deckblatt ▾ 1  Wählziffer ▾ 0511-9357 100
Absender ▾  ifs Vahrenwalder Str. 7 30165 Hannover (z. Hd. H. Schütte)	
Bemerkungen ▾  6. 4. 94.	

GRUNDARTEN  
AUSDRUCK: 280394 - 1312

MESSBEPEICHS: 4.7E1  
AUSDRUCK: 280394 - 1312

MAX MESSWERT = 2000  
 LK-WERT = 4.4  
 PSB VORGABE = 500  
 MAX QP = 100  
 MIN QP = 7.5  
 SPUELLUNGEN/TAG = 2  
 EICHLUNGEN/TAG = 2  
 BETRIEBSART = 1  
 Q2-ABWASSER = 1.1  
 200 1000 5 1000

Q2-DIFFERENZ = 3  
 GESAMT QP = 1000  
 ALFA 1 = 2.5  
 ALFA 2 = 1.3  
 DIVISOR = 2000  
 MIN E1 = 3.5  
 MIN E2 = .5  
 G1 = 0  
 G2 = 0  
 G3 = 0  
 MESSRATE = 21  
 MIN T = 20  
 MAX T = 00  
 E-GRENZE = .3  
 TAGESWECHSEL = 0

ESB-M3 NR. 1 280394  
 AUSDRUCK: 280394 - 1312

MAX MW 560.7 07:35  
 MIN MW 149.4 13:12  
 MITTEL 304.0

K-E2 1.922 / +0.066

REINIGEN 06:21  
 E-STEILHEIT 06:23  
 E-STEILHEIT 12:05

30  
 14H

Anlage 3

Lk-Wert-Bestimmungen im Untersuchungszeitraum

Mit freundlichem Gruß

R. Sonntag

Steilheitsrichtung: 75 sek.  
(von Hand)

L <sub>k</sub> -Wert Bestimmung Datum	berechneter L <sub>k</sub> - Wert	Verhältnis Niveau 1 / Niveau 2 BSB <sub>5</sub>	Verhältnis Niveau 1 / Niveau 2 BSB-M3	eingestellter L <sub>k</sub> -Wert
-	-	-	-	4,0
24.06.93	3,81	2,51	2,62	3,8
12.07.93	3,40	3,24	2,61	3,8
01.09.93	4,90	4,47	4,18	4,4
03.12.93	7,90	3,13	3,40	4,4
29.03.94	4,17	3,06	2,97	4,4

Zu Beginn des Untersuchungsprogrammes war werkseitig ein L<sub>k</sub>-Wert von 4,0 eingestellt. Nach der ersten L<sub>k</sub>-Wert-Bestimmung am 24.06.93 wurde der Wert auf 3,8, und am 1.9.93 auf Vorschlag der Fa. STIP auf 4,4 korrigiert - als Mittel der beiden zuletzt bestimmten L<sub>k</sub>-Werte: 3,40 und 4,90.

STIP • Siemensstr. 2 • 64823 Groß-Umstadt

Ingenieurgesellschaft für  
 Stadthydrologie mbH  
 Herrn Schütte  
 Vahrewalder Str. 7

30165 Hannover

Groß-Umstadt, 28.6.1994

Sehr geehrter Herr Schütte,

Ich nehme heute zu Ihrem Schreiben vom 28.4.1994 Stellung. Sie baten darin, speziell die Verzögerungsgründe bzw. die von Ihnen gemessenen Verzögerungen für das in Bremen stehende BSB-Gerät zu erläutern. Insbesondere haben Sie darum gebeten, daß diese Stellungnahme sich nicht in allgemeinen Erklärungen erschöpft. Ihr Hauptanliegen ist es, zu erfahren, ob während der Meßzeit das Gerät defekt war oder ob es in irgendeiner Weise falsch behandelt wurde oder sonstige Fehler erkennbar sind. An allgemeinen Erklärungen zur Meß- und Regeltechnik, speziell dieses Analysenautomaten, werde ich nicht vorbeikommen. Ich möchte aber vorab zu den mir vorliegenden Ergebnissen konkret Stellung nehmen.

Auf der Seite 2 Ihres Schreibens ist eine Auflistung der von Ihnen festgestellten Verzögerungszeiten angegeben. Sie schwanken von 0 Minuten (27.1.) bis 70 Minuten (3.10.). Aus den mir vorliegenden Unterlagen und den Ganmlinien ist zu ersehen, daß die Meßtechnik offensichtlich keine Störung aufwies. Zumindest lassen die Kurvenverläufe dies nicht vermuten. Unabhängig davon finde ich keine Erklärung dafür, wie Sie zu einer Differenz zwischen 0 und 70 Minuten Meßzeitverzögerung gelangen konnten. Ich gehe davon aus, daß die Angabe 0 Minuten eine, durch Auftragsmaßstab hervorgerufene Verfälschung darstellt, die nicht problematisch ist. Ich gehe weiter davon aus, daß diese Angabe sich in der Größenordnung von 5 Minuten bewegen muß, der Zeitverzögerung, die wir in sehr vielen Untersuchungen in mehr als 10 Jahren an den verschiedensten Meßstellen gemessen haben oder die von anderen Instituten oder Industriebetrieben ebenfalls festgestellt wurden.

- 2 -

Blatt 2  
zum Schreiben vom 28.6.1994  
an ifs, Herrn Schütte

Von der Logik der Meßtechnik ist es nicht möglich unterschiedliche Meßzeitverzögerungen zu erreichen, vor allem dann nicht, wenn die BSB-Niveaus so ähnlich sind wie im vorliegenden Fall. Bei sehr unterschiedlichen BSB-Niveaus könnte es in der Tat zu unterschiedlichen Ansprechzeiten kommen, diese würden sich aber nur auf die hydraulische Totzeit vom Bypass bis zum Eintritt in den Reaktionsreaktor beziehen. Diese unterschiedlichen Reaktionszeiten werden durch die unterschiedliche Verweilzeit im Rohrleitungssystem hervorgerufen und können sich nur in einer Variationsbreite von wenigen Minuten zwischen sehr niedrigen und sehr hohen BSB-Konzentrationen bewegen.

Im praktischen Einsatz gibt es einen vorstellbaren Fall in dem größere Zeitverzögerungen auftreten und zwar dann, wenn der Bediener unmittelbar vor einem extremen Konzentrationswechsel einen Wartungseingriff macht und bei diesem Wartungseingriff beispielsweise die Sauerstoffsonden reinigt. Nach einer solchen Reinigung brauchen Sauerstoffsonden naturgemäß einige Zeit um sich wieder an die normalen Verhältnisse zu adaptieren. Das hat nichts mit der Meßtechnik zu tun, sondern mit der Eigenschaft von Clark-Sonden, den üblichen Sauerstoffsonden, die auch in den STIP-Geräten verwendet werden.

Eine weitere Möglichkeit in diesem Fall, die das ganze noch verstärkt, ist, daß bei einem Wartungseingriff, unmittelbar vor einem Konzentrationswechsel der Regler die entscheidende große Abweichung nicht mitbekommt, bzw. daß diese Abweichung vom Regler nicht sofort erfaßt werden kann, weil im Wartungsprogramm der Rechner im sogenannten "Stand-by-Betrieb" auf weitere Anweisungen wartet. Das Gerät ist so ausgelegt, daß bei einem solchen Eingriff weitere Regelreaktionen für ca. 7 Minuten unterdrückt werden, um in einem möglichen angeschlossenen Steuerungsbetrieb keine Regelsteuerung auszulösen.

Das heißt konkret, falls vor der Beprobung, die mit diesen Arbeiten betrauten Mitarbeiter in irgendeiner Weise noch eine Kontrolle des Gerätes oder gar eine Reinigung durchgeführt haben, würde es zu Zeitverzögerungen kommen. Im Extremfall, bei der Reinigung der Sauerstoffsonden, könnten Zeitverzögerungen auftreten, die in der angegebenen Größenordnung liegen. Das ist die einzige Begründung, die wir Ihnen als Erklärung für diese großen Zeitverzögerungen und auch für die Variation dieser Verzögerungen anbieten können. Ich halte sie nicht für unwahrscheinlich. Sie müßten, wenn es Ihnen möglich ist, das nochmals überprüfen.

- 3 -

Blatt 3  
zum Schreiben vom 28.6.1994  
an ifs, Herrn Schütte

Die offiziellen Untersuchungen in bezug auf die Meßgenauigkeit und Regelzeitverzögerung beim BIOX-1000, dem Typ, der auch in Bremen im Einsatz ist, sind 1984 bzw. 1985 durchgeführt worden. Ich möchte mich im wesentlichen auch nicht auf neuere Untersuchungen beziehen, sondern nur auf Untersuchungen, die sich auch mit diesem Typ Gerät befassen, obwohl die heute verwendete Meßtechnik selbstverständlich im technischen Fortschritt verbessert wurde.

Ich halte Plausibilitätsüberprüfungen, vor allem wenn Sie eine ähnliche Betrachtungsweise, bzw. einen ähnlichen Anwendungsfall wie den von Ihnen vorgesehenen im Auge haben, für besonders aussagekräftig. Aus einer Untersuchung vom 10.6.1994, die insgesamt über mehrere Monate lief, sehen Sie eine Ganglinie in Anlage 1, bei der die BSB-Konzentration, die Wassermenge und die aus beiden Werten errechnete Fracht aufgetragen sind. Sie können in dieser Graphik bei einem sehr starken Regenereignis, das ca. um 2.45 Uhr einsetzte deutlich erkennen, daß die BSB-Konzentration erwartungsgemäß 15 Minuten später drastisch abfällt und einen Knick in der Ganglinie hervorruft, was bei einem solch starken Regenereignis auch zu erwarten ist. In diesen 15 Minuten sind nun alle Zeitverzögerungen, auch die, die mit der reinen Meßtechnik nichts zu tun haben, eingeschlossen. Hier wurde nur die Wassermenge gegen die BSB-Konzentration aufgetragen. Man muß sicherlich bei einer solchen Betrachtungsweise berücksichtigen, daß die erste Anlaufwelle unterschiedliche Auswirkungen hat. Sie kann Erhöhungen bringen, wie wir sie auch gemessen haben oder je nach dem, nach Lage oder Reinheitsgrad des Kanalnetzes, einen direkten Abfall zur Folge haben.

Die RIEGLER hat den BIOX-1000 vor 1984 untersucht und die Ergebnisse in der Korrespondenz Abwasser, Heft 5, dargestellt. Hier sind zum einen direkte Beprobungen dargestellt, die sie in Figur 7 nachvollziehen können. Desweiteren wurden ganz konkrete Sprungversuche aufgelegt über sehr hohe Konzentrationen. In Figur 8 der gleichen Veröffentlichung sehen Sie Konzentrationssprünge von sehr hohen Niveaus bis auf 0, mit einer T-90-Zeit von ca. 14 Minuten und in der Anstiegsrichtung eine T-90-Verhaltenszeit zwischen 4 und 8 Minuten. Diese Zeiten beinhalten wiederum die gesamte Probenaufbereitung und als Sonderfassung vermutlich noch Zeitverzögerungen, hervorgerufen durch verlängerte Leitungswege beim Anschluß an die Probenbehälter.

- 4 -

Blatt 4  
zum Schreiben vom 28.6.1994  
an ifs, Herrn Schütte

In der Korrespondenz Abwasser Heft 9/1986, sind ebenfalls beprobte Vergleichsmessungen, die auch die Zeitvarianz darstellen aufgeführt. Sie können auch hier im Rahmen der dargestellten Meßgenauigkeit sehen, daß die Zeitverzögerung, einschließlich Probennahme, in der Größenordnung zwischen 5 und 10 Minuten Gesamtzeitverzögerung liegt, daß heißt eine T-90 Zeit zwischen 3 und 8 Minuten.

Ich hatte Ihnen telefonisch schon dargelegt, daß die BSB-Messung Typ BIOX-1000 und das Nachfolgemodell BIOX-1010 von der Landesanstalt für Wasser und Abfall in Neuss untersucht wurde. Ich habe mich bemüht einen Vorabzug speziell dieses Teils zu erhalten. Die Auszüge sind auch als Anlagen Nr. 2 dargestellt. Die Gesamtveröffentlichung wird sicherlich in den nächsten ein bis zwei Monaten erscheinen. Sie können auch bei diesen Unterlagen sehen, daß sich hier die Gesamtzeiten für den BIOX-1000 bei 14,5 bzw. 12,5 Minuten bewegen. Beim BIOX-1010 wurde die Zeit mit 6,3 bzw. 4,5 Minuten gemessen. Auch bei diesen Zeitbetrachtungen muß man berücksichtigen, daß hier nicht die Originalmaschine mit ihren optimierten, kurzen Leitungswegen zum Tragen kommt, sondern in irgendeiner Weise Behälter vorgeschaltet werden, die dann sehr oft eine verlängerte Fließzeit, wenn auch nur von wenigen Minuten zur Folge haben, so wie es auch hier beim BIOX-1000 bzw. BIOX-1010 zu vermuten ist, denn die prüfbare Reaktion für das Eintreffen einer geänderten Flüssigkeit im Bioreaktor setzt ca. 30 bis 90 Sekunden nach Eintreffen im Bioreaktor ein.

Ich hoffe, daß ich Ihnen hiermit für Ihre Untersuchung weiterhelfen konnte, obwohl mir klar ist, daß für die von Ihnen gemessenen Zeitverzögerungen von mir nur Vermutungen geäußert werden konnten und dies Sie gegebenenfalls nicht befriedigt. Wenn Sie eine Lösung für dieses Meßproblem suchen, möchte ich nochmal darauf hinweisen, bei Vergleichsmessungen darauf zu achten, daß üblicherweise unter der T-90-Zeit die Zeitverzögerung der eigentlichen Analysensysteme angegeben werden. Das heißt der Weg der Filtration oder, wenn notwendig, der Weg der Ultrafiltration wird im Regelfall nicht mit angegeben. Dieser Zeitbereich ist aber fast immer der ausschlaggebende, bei dem die größte Zeitverzögerung zu erwarten ist.

Für den Einsatzfall den Sie planen, ist neben der Zeitverzögerung auch die Betriebssicherheit ein wesentlicher Punkt. Wir haben in den letzten Jahren neben dem BSB auch andere Parameter wie CSB und TOC als weitere Summenparameter entwickelt. Unabhängig davon, halte ich den BSB für diese Aufgabenstellung als den geeigneten Parameter, vor allem, weil er im Verfahren mit sehr großen Wassermengen arbeitet, keiner zusätzlichen Chemikalien bedarf, im Verfahren sehr robust ist und dabei kurze Zeitverzögerungen hat.

Blatt 5  
zum Schreiben vom 28.6.1994  
an ifs, Herrn Schütte

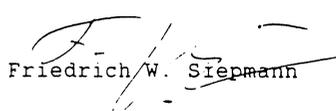
Es gibt als BSB-Messung am nationalen oder internationalen Markt keine Online-Messung die schneller ist als dieser Online-Automat. Ich bitte Sie für Ihre Überlegungen zu berücksichtigen, daß das Gerät mit dem gearbeitet wurde einen technischen Stand von 1987, also etwa 7 Jahre alt, aufweist. Gerade im Bereich der Analysetechnik hat die Fa. STIP ganz erhebliche Entwicklungsanstrengungen mit Erfolg durchgeführt. Die heute von uns angebotenen BSB-Automaten sind schneller als der Typ BIOX-1000, präziser, mit erheblich weniger Wartungsaufwand und diese Geräte sind im Vergleich gegenüber dem Anschaffungspreis zum BIOX-1000 wesentlich preisgünstiger. Gehen Sie davon aus, daß ein Gesamtsystem einschließlich Probenaufbereitung, einschließlich Computer als Komplettversion von uns mit einem Preis von unter DM 60.000,- angeboten wird.

Zu den allgemeinen Unterlagen lege ich Ihnen auch nochmal eine Broschüre, die die Möglichkeiten dieses neuen BSB-Automaten aufzeigt, der außer der BSB-Messung verschiedene Toxizitätsparameter messen kann und bei Bedarf für die Zehrungsmessung in der Belebungsanlage eingesetzt werden kann.

Ich hoffe, daß meine Ausführungen, auch wenn sie nicht ganz den von Ihnen geäußerten Erwartungen entsprechen, trotzdem für Sie brauchbar sind. Über Einzelpunkte können wir sicher noch am Telefon reden. Eine weitergehende Stellungnahme und vor allen Dingen eine präzisere, speziell zu den durchgeführten Maßnahmen kann ich leider nicht abgeben.

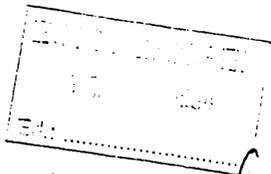
Mit freundlichen Grüßen

S T I P  
Siepmann und Teutscher GmbH

  
Friedrich W. Siepmann

19.5.1994

HTK Neuss-Süd



Für Herren Sießmann.

1. Totzeitbestimmung
2. Laborwertanalysen

Mit freundlichen Grüßen.  
Pohj

Fax besteht aus 7 Seiten inkl. Ubblo N.

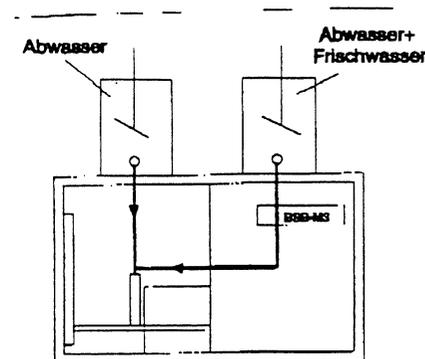


Bild 1: Schematischer Versuchsaufbau

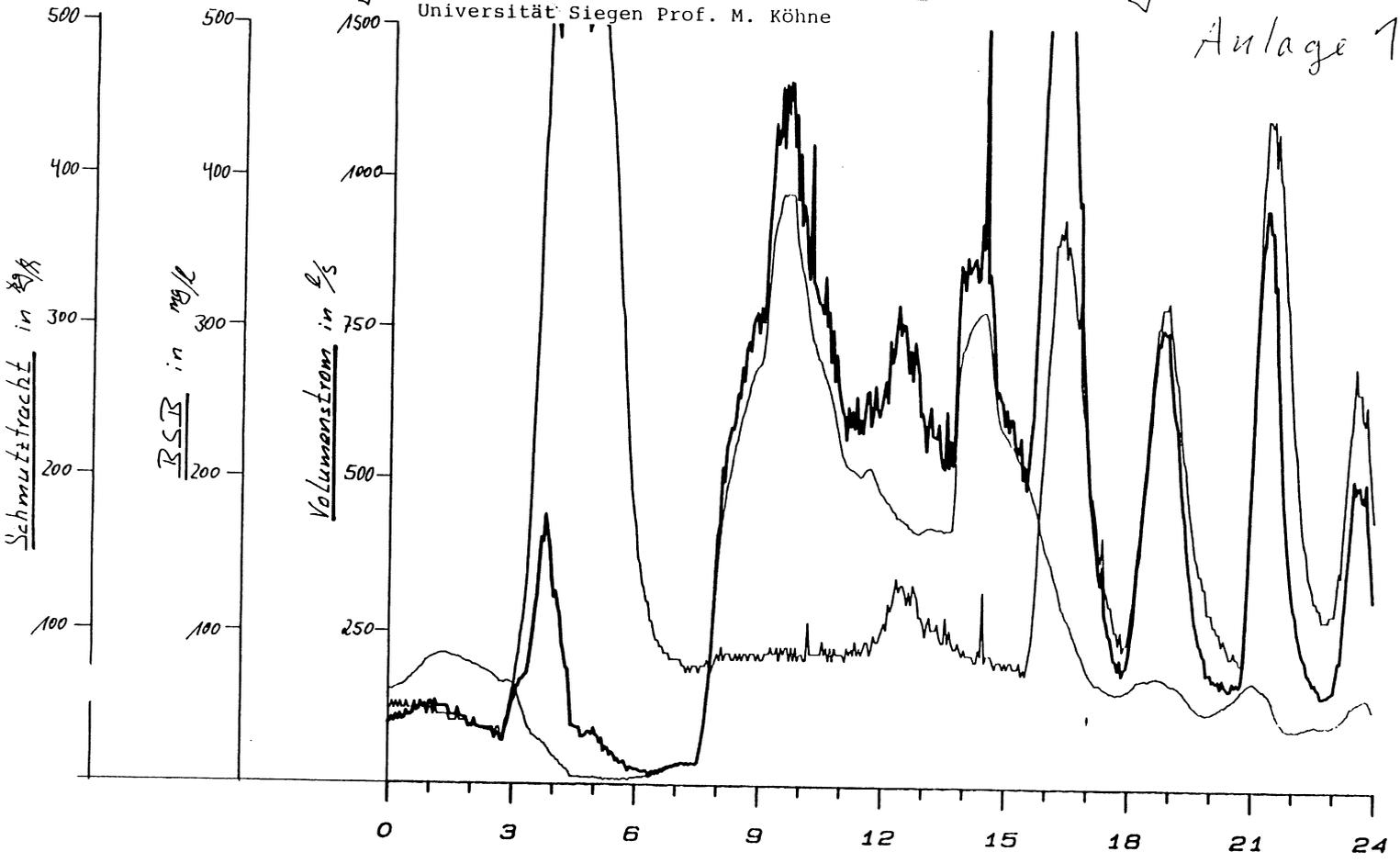
Die durchgeführte Totzeitbestimmung für die BSB- Analysegeräte BIOX 1000 und BIOX 1010 wurde mit Abwasser aus der Halbtechnischen Kläranlage in Neuss- Süd durchgeführt. Für die Aufnahme der Meßergebnisse stand ein Datensammler der Firma Züllig zur Verfügung (Meßwert alle 60 Sekunden). Bild 1 zeigt ein Schema des Versuchsaufbaues.

Zu Beginn des Versuches wurde bei beiden Geräten eine Kontrolle des  $O_2$ - Sensors auf eventuelle Verschmutzungen der Membrane, sowie eine nachfolgende Eichung der Sensoren durchgeführt. Die Abwasserzudosierung erfolgte über die Bypassähne der beiden Geräte. Nach Einstellung eines stationären BSB- Wertes wurde die Abwasserzudosierung abrupt unterbrochen und ein Abwassergemisch, bestehend aus einem Teil Abwasser und einem Teil Frischwasser, zugeführt. Bei Einstellung konstanter BSB- Werte, wurde zur Bestimmung des Regelverhalten bei Belastungszunahme, erneut ein reiner Abwasserstrom zugeführt. Die Totzeitbestimmung bei beiden Analysegeräten wurde mit dem gleichen Abwasser bzw. Abwassergemisch durchgeführt. Es wurde folgendes Ergebnis erzielt:

## Totzeit BIOX 1000

$T_1$  = Gesamt Totzeit bei Belastungsabnahme = 16 Minuten  $\Rightarrow T_{90}$  = c.s 14,5 Minuten

$T_2$  = Gesamt Totzeit bei Belastungszunahme = 14 Minuten  $\Rightarrow T_{90}$  = c.s 12,5 Minuten



S03

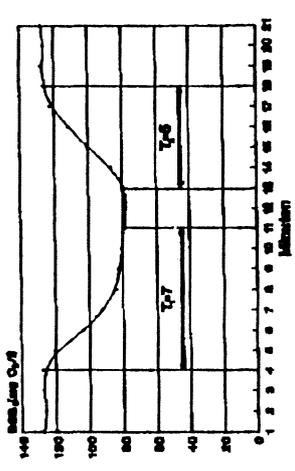
ETK NEUSS-S0D

FAX 49 2131463597

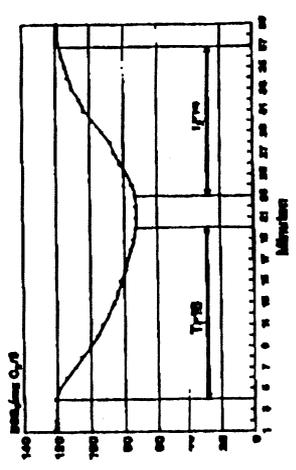
**Totzeit BIOX 1010**

T<sub>1</sub> = Gesamt Totzeit bei Belastungsabnahme = 7 Minuten ⇒ T<sub>90</sub> = ca 6,3 Minuten  
 T<sub>2</sub> = Gesamt Totzeit bei Belastungszunahme = 5 Minuten ⇒ T<sub>90</sub> = ca 4,5 Minuten

**Totzeit BIOX 1010**



**Totzeit BIOX 1000**



# Kontinuierliche Kurzzeit-BSB-Messung

## Ein neues Verfahren mit vielseitigen Möglichkeiten zur aussichtsreichen Anwendung<sup>1)</sup>

G. Riegler, Darmstadt

### Zusammenfassung

Mit dem neuen BSB-M3-Meßgerät der Firma Siepmann u. Teutscher ist es möglich, kontinuierlich einen Abwasserprobenstrom zu untersuchen, wobei eine Ganglinie des BSB mit einer Meßzeitverzögerung von nur 3 Minuten ausgedruckt wird (Kurzzeit-BSB).

Durch den (gegenüber 5 Tagen beim BSB<sub>5</sub> u. einigen Stunden beim CSB) kurzen Zeitverzug sowie die Kontinuität der Ergebnisangabe wird eine belastungsabhängige Steuerung von Klaranlagen ermöglicht.

Die vorgeschaltete Grobfiltration hält hierbei nur Feststoffteilchen mit mehr als 0,5 mm Durchmesser zurück. Der Meßbereich des Gerätes erstreckt sich in der Normalausstattung von 5 bis 5 000 mg/l, gemessen als BSB<sub>5</sub>.

Das Meßprinzip wird erläutert, das Gerät beschrieben und praktische Erfahrungen werden dokumentiert. Aussichtsreiche Einsatzbereiche werden beschrieben.

### MESURE CONTINUE DE COURTE DUREE DE LA DBO<sub>5</sub>

#### Résumé

Le nouvel appareil de mesure de la DBO<sub>5</sub> de la maison Siepmann et Teutscher rend possible l'examen continu d'un débit d'eaux usées on produisant une courbe de DBO avec un retard de temps de trois minutes seulement (DBO<sub>5</sub> de courte durée).

Vu le bref retard de temps (vis-à-vis 5 jours pour la DBO<sub>5</sub>, quelques heures pour la DCO et une demie heure environ pour la «DBO<sub>5</sub> de plateau») ainsi que la continuité de l'indication du résultat, une commande des stations d'épuration qui dépend de la charge devient possible.

La préfiltration grossière ne retient que les substances solides d'un diamètre de plus de 0,5 mm. La gamme de mesure de l'appareil d'équipement normal va de 5 à 5 000 mg/l, mesure en DBO<sub>5</sub>.

Le principe de mesure est expliqué, l'appareil est décrit et des expériences sont documentées. Des possibilités d'emploi pleines de chances sont décrites.

### CONTINUOUS SHORT-TIME BOD MEASUREMENT

#### Summary

The Siepmann and Teutscher Company's new BOD-M3-measuring instrument allows for continuous measurement of a sewage sample flow, and it prints out a progressive BOD-curve only three minutes after the measurement is taken (short-time BOD).

Due to the short time lag (compared to 5 days for BOD<sub>5</sub>, a few hours for COD, and approx. half an hour for the „Plateau-BOD“) and the continuous registration of measurements, load-dependent control of the sewage works is possible.

The upstream coarse filter only retains solid particles with more than 0.5 mm in diameter. For the standard version, the measurement range is from 5 to 5 000 mg/l, measured as BOD<sub>5</sub>.

The principle of measurement is explained, the instrument is described, and practical experiences are related. Promising areas of application are indicated.

#### 1. Einleitung

In der biochemischen Abwasseranalytik spielt die Bestimmung des BSB<sub>5</sub> (biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen unter definierten Bedingungen) die zentrale Rolle schlechthin. Es wird verwendet als Hilfsgröße zur Erfassung der Konzentration an biologisch abbaubaren Abwasserinhaltsstoffen. Aus methodischen Gründen jedoch kann dieser Meßwert der initial an ihn gestellten Aufgabe einer Beschreibung der Menge an physiologisch verwertbaren Substanzen nur näherungsweise gerecht werden.

Die Kritik am BSB<sub>5</sub> wird seit geraumer Zeit diskutiert [10, 11, 4, 6, 7, 8, 3] u. a.

Problematisch sind u. a. die Fehlereinflüsse aufgrund

- der nicht substratspezifischen Atmung
- des nicht sicher eliminierbaren Einflusses der Impfmengenan Biomasse
- der Temperatur.

<sup>1)</sup> Das BSB-M3-Meßgerät der Firma Siepmann u. Teutscher 6101 Fischbacher.

Zur Vermeidung der Nitrifikation bei der BSB-Bestimmung wird in der Praxis Allylthioharnstoff zugesetzt. Doch auch diese Hemmungsmaßnahme hat ihre Unsicherheiten [1, 13].

Eine weitere Schwäche des BSB<sub>5</sub>-Meßwertes liegt in seiner frühestens nach 5 Tagen möglichen Verfügbarkeit. Während früher der Parameter in erster Linie zur Gewässerbeurteilung verwendet wurde, hat sich heute die Anforderung an den BSB geändert: Die Aufgabenstellung hat sich mit dem Schwerpunkt auf die Überwachung, Ermittlung von Steuergrößen und Kontrolle von Kläranlagen verlagert.

Die Suche nach einem „schnellen“ Steuerparameter auf biochemischer Basis führte z. B. auf den „Plateau-BSB“ von HARTMANN u. Mitarbeitern [12, 4]. Dieser Kurzzeit-BSB im Warburg-Gerät entspricht quasi einer Atmungsmessung in einer simulierten Belebungsanlage. Trotz der praxisorientierten Entwicklung dieser Methode, welche das Ergebnis nach ca. 1/2 h liefert, ist mit der Analyse ein nennenswerter Laboraufwand verbunden. Außerdem kann jeweils lediglich eine geschöpfte Stichprobe untersucht werden.

Als Ersatzparameter für ein schnelles Analyseergebnis, welches zudem noch kontinuierlich meßbar sein sollte, wurden die CSB- und TOC-Parameter in automatisch arbeitenden Geräten bestimmt.

Die Zusammenhänge zwischen dem in der Praxis bekannten BSB<sub>5</sub>-Wert, dem eigentlich interessanten BSB<sub>∞</sub> sowie dem CSB wurden in den Arbeiten von DAHLEM ausführlich dargelegt. Die Problematik der in der Regel nur näherungsweise zu ermittelnden Größe des BSB<sub>∞</sub> (um den es ja bei der Elimination aus biologischen Reinigungssystemen in der Sache geht [2]), des CSB<sub>∞</sub> und dessen Anteil am CSB wird dort ebenfalls deutlich [3].

Von relativ guten Korrelationen zwischen BSB<sub>5</sub> und TOC kann man nach OFFHAUS ausgehen, wenn entsprechende Voraussetzungen vorliegen [5].

Der Einsatzbereich von sowohl CSB- als auch TOC-Automaten zur kontinuierlichen Abwasseranalyse ist jedoch angesichts der Forderung eines hohen Standards an Laborausrüstung und -erfahrung vornehmlich auf größere Einheiten beschränkt.

Mit dem nachfolgend vorgestellten Gerät zur Bestimmung des Kurzzeit-BSB wurde eine Meßmethode bis zur Serienreife entwickelt, welche besonders auf den „Vor-Ort-Einsatz“ zur kontinuierlichen Ermittlung der Konzentration an biochemisch oxidierbaren Abwasserinhaltsstoffen (ausgenommen Stickstoffe) ausgerichtet ist. Der Zeitverzug zwischen Probenahme und Meßwertanzeige beträgt ca. 3 Minuten (BSB-M3) [6].

## 2. Prinzipielle Grundlage der kontinuierlichen BSB-Messung

Die kontinuierliche Kurzzeit-BSB-Messung schließt sich in der Entwicklung grundsätzlich an die bekannten BSB-Analyseverfahren an.

Während sich beim BSB<sub>5</sub> die Biologie im wesentlichen innerhalb des Meßzeitraums von 5 Tagen entwickelt, muß bei Kurzzeitbestimmungen des biologischen Sauerstoffbedarfs, wie etwa dem „Plateau-BSB“ oder dem hier beschriebenen Verfahren, die erforderliche Biomasse vorhanden sein und darüberhinaus den verfahrensspezifischen Bedingungen genügen; d. h.:

1. Die verwendete Biozönose muß an das zu untersuchende Abwasser adaptiert sein. (Nur bei längerfristigen

Veränderungen der Abwasserqualität darf sich die Biozönose mit verändern; ansonsten ist eine Konstanz der Spezifikation des biologischen Systems erforderlich).

Quantitative Variationen in der Abwasserzusammensetzung dürfen die Biozönose nicht verändern.

2. Das Verhältnis von Biomasse zu Nährsubstrat muß konstant und relativ groß sein.
3. Der nicht zum Substratumsatz zählende Sauerstoffbedarf muß konstant und damit eindeutig eliminierbar sein.
4. Die Beurteilung verschiedener Messungen auf der Grundlage eines gemeinsamen Bezugsniveaus muß möglich sein.

Als theoretische Grundlage dient das reaktionskinetische Modell von MICHAELIS und MENTEN. Die biochemische Reaktionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Nährstoffangebot beschreibt hierbei die Form einer Hyperbel (siehe Abbildung 1):

$$v = v_{max} \cdot L / (K_m + L) \quad (I)$$

darin bedeuten:

- v = Reaktionsgeschwindigkeit
- v<sub>max</sub> = maximale Reaktionsgeschwindigkeit
- L = Nährstoffangebot
- K<sub>m</sub> = Michaelis-Konstante

Für kleine Nährstoffangebote wird näherungsweise

$$v = v_{max} \cdot L / K_m \quad (II)$$

d. h. unter Zuhilfenahme der Abbildung 1: Während v<sub>1</sub> u. v<sub>2</sub> bei großen L (und zu berücksichtigenden Meßgenauigkeiten) nicht deutlich unterscheidbar sind, ergeben sich ausreichend große Δv<sub>1</sub> bei kleinen L.

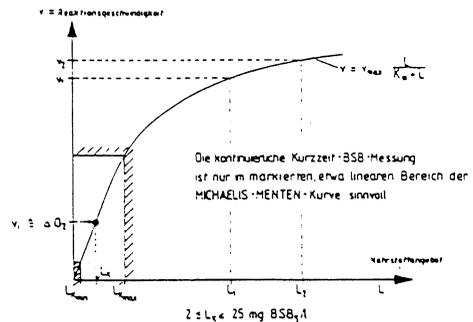


Abbildung 1: Qualitative Darstellung des Ansatzes von MICHAELIS und MENTEN.

Zusätzlich sind bei ausreichend niedrigen Substratkonzentrationen die Reaktionsgeschwindigkeiten diesen etwa proportional. D. h. eine Verdopplung der Nährstoffmenge ruft in diesem Bereich eine dazu lineare Änderung der Sauerstoffzehrung hervor.

Die verwendete Gesetzmäßigkeit gilt im strengen Sinne nur für eine konstante Enzymmenge bei variabler Substratkonzentration und bei ungehinderter Diffusion der Nährstoffe zum Enzym.

Diese Bedingungen werden beim kontinuierlichen BSB-Meßverfahren durch freischwimmende Aufwuchsoberflächen als Organismenträger, konstant hohe Relativgeschwindigkeit

zwischen dem Substrat, ermedium und den Organismen sowie außerdem durch gleiche Organismenaufwuchs- und -abspülraten d. h. konstante Biomasse, sichergestellt.

Durch die Gewährleistung eines konstanten Nährstoffangebotes in niedriger Konzentration (Verdünnung mit Leitungswasser) wird zudem sichergestellt, daß der Abbau einzelner Nährstoffkomponenten nicht zur bestimmenden Schrittreaktion führt (solange keine Toxizität vorliegt) und außerdem die Zeitunabhängigkeit der Messungen garantiert.

Mikroorganismen, die mit dem Abwasserstrom in das Gerät eingetragen werden, beeinträchtigen das Meßergebnis nicht signifikant, da diese Biomasse im Verhältnis zur Wirbelbettbiologie relativ klein ist, und außerdem durch die Milieuänderung (Verdünnungswasser, Temperaturdifferenz usw.) in der Aktivität beeinträchtigt wird.

## 3. Beschreibung des Meßgerätes zur kontinuierlichen Kurzzeit-BSB-Messung

### 3.1 Aufbau des Gerätes

Das Meßgerät ist in einem wetterfesten Schrank der Abmessung 140 x 160 x 50 (B x H x T) cm untergebracht.

Im linken Geräteteil ist die Probenaufbereitung untergebracht, rechts unten die Meßapparatur mit dem gesamten Leitungssystem und oben die Elektronik mit der Anzeige des Meßergebnisses und dem Drucker. Die Funktionsbereiche sind in der Abbildung 2 unterschieden. Eine Frontansicht bei geöffneter Schranktür zeigt Abbildung 3.

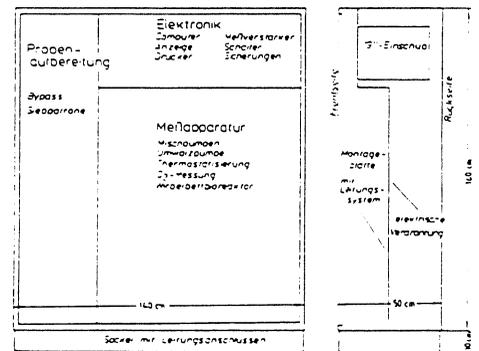


Abbildung 2: Aufbau des BSB-M3-Meßgerätes

### 3.2 Probenaufbereitung

Durch die Meßkonzentration mit einem relativ großen Volumendurchsatz von ±0 l/Minute und Leitungsquerschnitten von mindestens 8 mm Durchmesser sind an die Abwasserprobenaufbereitung keine besonders hohen Ansprüche zu stellen. Es kann daher auf die abwasserverändernde Mikrofiltration verzichtet werden; lediglich vor Grobstoffen muß das Meßgerät geschützt werden.

Hierzu wird das Abwasser mit seinen Inhaltsstoffen, die vom Rechen am Zulauf zur Kläranlage nicht zurückgehalten wurden, im By-Pass am Meßgerät vorbeigepumpt. Aus diesem Teilstrom wird über ein kontinuierlich in Längsrichtung durchströmtes Siebronn (selbst freisiedend) der Probenstrom durch das Meßgerät abgezogen. Diese Probenauf-

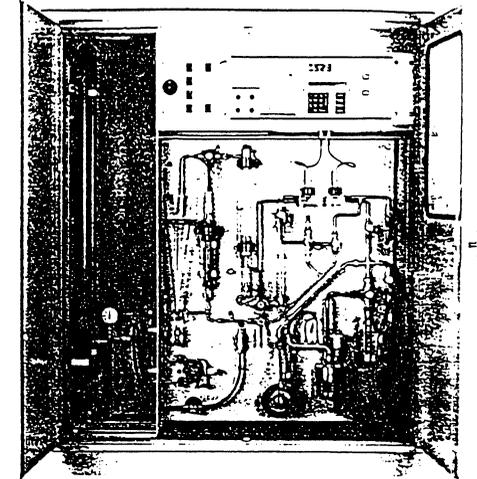


Abbildung 3: Ansicht des BSB-M3-Meßgerätes

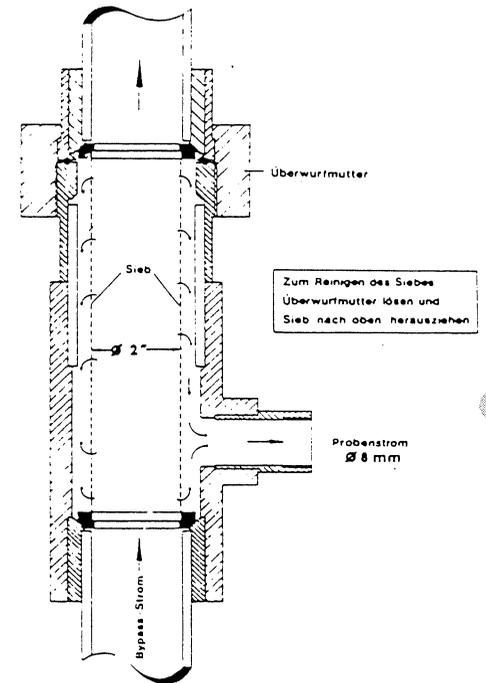


Abbildung 4: Konstruktionsprinzip der Probenaufbereitung (Grobfiltration)

bereitung, als Grobfiltration mit einer Lochweite von 0,5 mm, stellt bei der einfachen Bauweise einen ausreichenden Geräteschutz dar, ohne die Analyse zu verfälschen (Abbildung 4).

### 3.3 BSB-Meßeinheit.

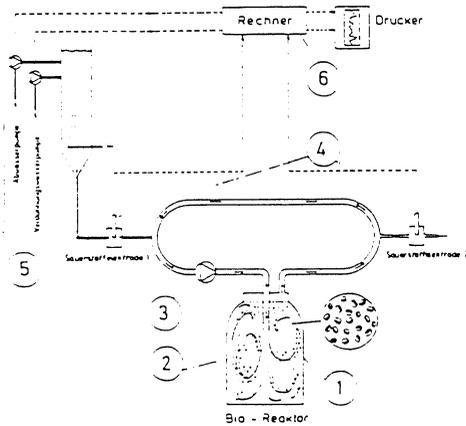
Das Analysengerät besteht im wesentlichen aus folgenden Komponenten (Abbildung 5):

- einer speziellen Wirbelbettbiologie
- zwei Sauerstoffelektroden
- einer Abwasser- u. einer Frischwasserpräzisionspumpe
- sowie einem Rechner, der die Reaktionen dieser Komponenten verarbeitet und entsprechend den Anforderungen nach Kapitel 2 steuert.

Das zu untersuchende Abwasser wird in einem Regelkreis nach vorstehend beschriebener Forderung immer so weit mit Leitungswasser verdünnt (Verdünnungs-BSB), daß die Wirbelbettbiologie konstant mit  $L_x = 5 \text{ mg BSB}_5/\text{l}$  versorgt wird.

Die Einhaltung dieses Nährstoffniveaus wird über den vorgegebenen Sauerstoffverbrauch ( $\Delta O_2$  der Meßsonden) kontrolliert und geregelt. Damit veranlaßt die Biologie über ihre Atmung die Regelung ihrer Nährstoffversorgung selbst. Das eingeregelt Mischungsverhältnis von Abwasser und Verdünnungswasser 1 : n dient somit zur Ermittlung der Nährstoffkonzentration im Abwasser, also zur BSB-Bestimmung.

Der Verdünnungsansatz lautet:  $n + 1 = L_x/L_x$

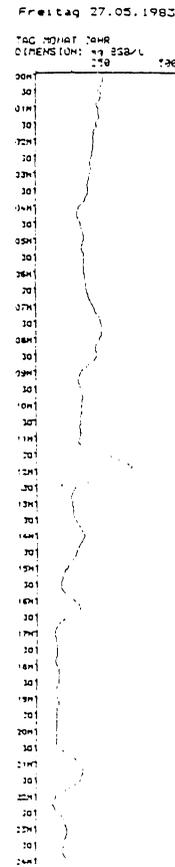


1. Eine Vielzahl kleiner Kunststoffringe dient den Organismen in einem Reaktionsbehälter als Aufwuchsoberfläche. Die Organismen leben vor allem im Inneren dieser Körper Schutz gegen mechanischen Abrieb.
2. Die Abwasserkonzentration im Reaktionsbehälter ist konstant und sehr gering, durch ein Regelssystem so eingeregelt, daß der Sauerstoffverbrauch der Organismen 3 mg/l beträgt.
3. Eine Umwälzpumpe hält die Kunststoffringe im Reaktionsbehälter ständig in turbulenter Bewegung. Sie sorgt gleichzeitig für eine schnelle Verteilung des Probenstromes im Reaktionsbehälter.
4. Die Sauerstoffelektroden messen den Sauerstoffgehalt des Probenstromes im Zu- und Ablauf des Kreislaufsystems. Weicht die Sauerstoffdifferenz von ihrem Sollwert ab, so werden über den Rechner die Mischpumpen angesteuert und die Nährstoffkonzentration im Reaktionsbehälter verändert bis ihr Sollwert erreicht ist.
5. Die Mischpumpen des Gerätes fördern zusammen immer 1/3 Minute Sinter die Sauerstoffdifferenz zwischen Zu- und Ablauf unter einen Sollwert, so wird die Abwasser- menge erhöht und die verdünnungswassermenge erniedrigt. Steigt die Sauerstoffdifferenz, fällt der Prozeß in die andere Richtung.
6. Bei der kontinuierlichen Kurzzeit-BSB-Messung werden die Mischpumpen durch die Atmung der Mikroorganismen gesteuert. Aus dem Pumpenverhältnis errechnet sich der Meßwert. Die Meßzeitverzögerung beträgt ca. 3 Minuten.

Abbildung 5: Meßverfahren zur Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs.

Bei bekannten n und  $L_x$  (Soil-Sauerstoffzehrung) kann also nach L, dem gewünschten Meßwert der Nährstoffkonzentration, aufgelöst werden:

$$L = L_x (n + 1)$$



Der geräteintern erhaltene BSB-M3-Meßwert wird über eine vorher für den betreffenden Einsatzort gefundene Eichfunktion auf den  $BSB_5$  umgerechnet (siehe dazu Abbildung 9).

In der Normalausstattung sind Meßwerte zwischen 5 und 5000 mg  $BSB_5/\text{l}$  erfaßbar. Die Ergebnisse werden vom Grafikdrucker auf Schreibstreifen aufgezeichnet. (Abbildung 6).

### 3.3 Geräterwartung

Mit der Wahl eines Leitungssystems von  $\varnothing 8 \text{ mm}$  aus außen vernickeltem Kupferrohr im Bereich des Meßteils der Apparatur wurde die Voraussetzung für einen verstopfungsfreien und somit wartungsarmen Betrieb erfüllt. Das Zuwachsen der Leitungen wird durch die oberflächentoxische Wirkung des Kupfers verhindert.

Die Sauerstoffelektroden sind wöchentlich einmal nachzueichen. Dazu ist kein Ausbau aus dem Gerät erforderlich, da die Biologie des Wirbelbettreaktors die Sauerstofffreiheit des Probenstromes bei abgeschalteter Sauerstoffzufuhr selbst bewirkt. Für die Steilheitszeichnung wird temperiertes  $O_2$ -gesättigtes Verdünnungswasser der Vorbelüftung auf die Elektroden geleitet. Der eingebaute Rechner stellt den Sollwert selbst ein.

Abbildung 6: Geräteausdruck

Sämtliche Hähne des Leitungssystems werden vom Rechner überwacht, so daß deren Stellung jeweils elektronisch registriert ist. Dies ermöglicht, alle Wartungsarbeiten (die Reinigung des Gerätes, die Elektroden- und Pumpeneinrichtung) im Dialog zwischen dem Bediener und dem Rechner durchzuführen. Über eine 80-Zeichen-Anzeige schreibt der Rechner anstelle der sonst üblichen Meßwertanzeige vor, welche Handgriffe (z. B. Öffnen oder Schließen von Hähnen) zu folgen haben.

### 4. Praktische Erfahrungen mit dem BSB-M3-Gerät

Der erfolgreiche Einsatz des vorgestellten Meßgerätes im praktischen Klarwerksbetrieb wurde bei zahlreichen Probeläufen auf Abwasserreinigungsanlagen von Kommunen, Verbänden und vor allem der Industrie bestätigt. Zur Dokumentation seien zwei Beispiele angeführt:

### Beispiel 1:

Zulauf einer kommunalen Kläranlage (nach Rechen und Sandfang)

Die Abbildung 7 zeigt das Meßergebnis einer kontinuierlichen BSB-Messung. Der Drucker faßt die BSB-Daten von 2 Minuten zu einem Mittelwert zusammen, welcher auf dem Meßstreifen aufgezeichnet wird, und reiht diese über der Zulaufzeit somit zu einer optisch gut erfaßbaren Ganglinie auf.

Die hervorgehobenen Punkte sind die Ergebnisse einer herkömmlichen  $BSB_5$ -Analyse (SAPROMAT); sie zeigen eine gute Deckung mit den Ergebnissen der kontinuierlichen Kurzzeit-BSB-Messung.

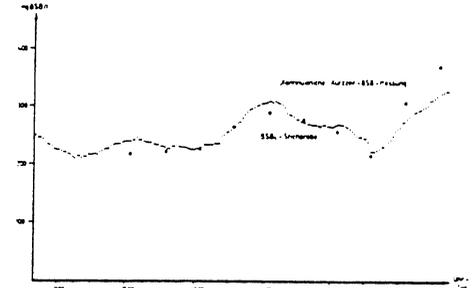


Abbildung 7: Zulaufganglinie einer kommunalen Kläranlage mit Kontroll-Messungen.

### Beispiel 2:

Kläranlage der chemischen Industrie (Test zur Dokumentation der Reaktionsgeschwindigkeit des Gerätes bei Konzentrations- u. Qualitätsschwankungen durch Wechsel von Chemie- auf Molkereiabwasser).

Abbildung 8 zeigt die Konzentrationsganglinie im Zulauf einer Industriekläranlage (Chemie). Zur Erprobung der Ansprechgeschwindigkeit wurde schlagartig der Zulauf zum Meßgerät von einem ganzlich anders zusammengesetzten Molkereiabwasser niedriger Konzentration (etwa 50 mg  $BSB_5/\text{l}$  [Abwasser I]) gespeist.

Nach ca. 14 Minuten war das Gerät auf das 3000 mg  $BSB_5/\text{l}$  niedriger liegende Niveau nachgefahren. Danach wurde ein etwas stärker konzentriertes Molkereiabwasser (ca. 500 mg  $BSB_5/\text{l}$ ) verabreicht, wozu diesmal nur 8 Minuten Nachlauf bis zur korrekten Anzeige benötigt wurden. Nach dem Umschalten auf das ursprünglich analysierte Medium waren dann 14 Minuten Anpassungszeit erforderlich, um wieder die ca. 2000 mg  $BSB_5/\text{l}$  höher liegende Konzentration des Industrieabwassers anzuzeigen.

In der Abbildung 9 ist die mit Hilfe der verfügbaren Kontrollmessungen des  $BSB_5$  nach konventioneller Bestimmung erstellte Korrelation zum Kurzzeit-BSB (BSB-M3) zu sehen. Wie man deutlich erkennt, herrscht eine ausreichend gute Linearität sowie direkte Übertragbarkeit der Meßwerte.

Im Auslauf von Kläranlagen ist außerdem eine gute Korrelation von CSB-Meßwerten und dem  $BSB_5$ -Meßwert gegeben, da durch die Behandlung ein weitgehender Ausgleich von Schwankungen qualitativer und quantitativer Verschmutzung gegeben ist.

### 5. Einsatzbereiche

Die kontinuierliche Kurzzeit-BSB-Messung bietet sich immer dort an, wo es darauf ankommt, schnell zu messen, zu dokumentieren, zu steuern und zu regeln:

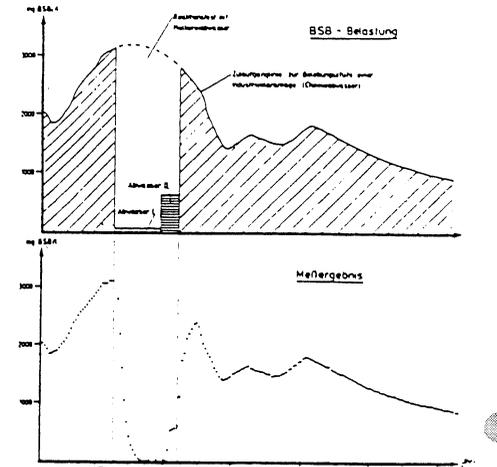


Abbildung 8: Test der Reaktionsgeschwindigkeit im gewerblichen Abwasser.

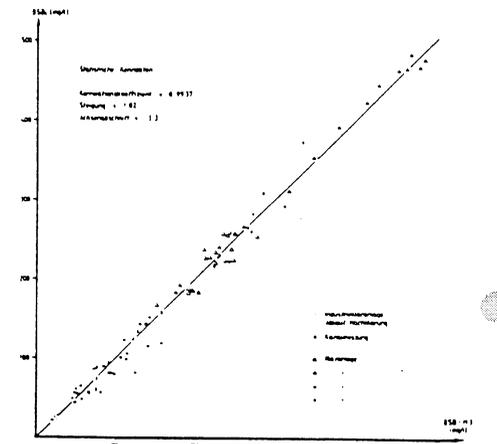


Abbildung 9: Korrelation: Kurzzeit-BSB —  $BSB_5$

- Zur Überwachung und Dokumentation (Betriebstagebücher) von Zu- und Ablaufkonzentrationen auf Kläranlagen (ggf. in der Gewässerüberwachung).
- Bei der Zulaufsteuerung zur Vergleichmäßigung der Kläranlagenbelastung durch hohen industriellen Abwasseranteil. Das Meßgerät steuert z. B. den/die Schieber oder Entleerungspumpen von Ausgleichsbecken. Es können auch außerhalb der Kläranlage liegende Becken von Industriebetrieben sein.

- Im Industriebereich, zur Unterscheidung hoch- und schwachkonzentrierter Abwässer, die nach der Klassifizierung eine Sonderbehandlung oder Zwischenspeicherung durchlaufen.

- Zur Steuerung von Stickstoffelimination. Das Meßgerät steht dabei am Zulauf zur Denitrifikation, mißt die BSB-Konzentration und veranlaßt die Dosierung von Rohabwasser zur ausreichenden Kohlenstoffversorgung.

- Zur Kostenaufteilung zwischen Gemeinden und Industriebetrieben oder Mitgliedern eines Verbandes mit einer gemeinsamen Abwasserreinigungsanlage. Die Schmutzfrachten werden automatisch aufsummiert und sind Grundlage der Monats- und Jahresabrechnung.

- Zur Steuerung des biologischen Klärprozesses mit den aktuellen BSB-Werten, gemessen am Auslauf des Belebungsbeckens:

Die vorgeschriebene Ablaufkonzentration wird über die Schlammbelastung eingeregelt (Steuerung des Rücklaufschlammstromes) und der Energieverbrauch im Belebungsbecken erheblich vermindert. Das Meßgerät steht dann am Auslauf des Belebungsbeckens und die Probenaufbereitung ist dieser speziellen Aufgabenstellung angepaßt.

- Beim Einsatz mobiler Meßstationen zur Ermittlung von Tages- oder Wochenganglinien für Planungs- und Überwachungsaufgaben.

- Zur optimalen Festlegung der WHG- und abwasserabgaberelevanten Beurteilungsparameter (Überwachungs- und Regel-Hochstwert).

## Literatur

- [1] *Adenot, R. W., Fischermeier, M.*  
Untersuchungen zur Nitrifikationshemmung bei der BSB-Bestimmung im Hinblick auf die Abwasseruntersuchungsvorschrift  
Korrespondenz Abwasser Nr. 9 S. 601ff. 1983
- [2] *Bönke, B.*  
Die rechnerische Erfassung des Sauerstoffgenieles eines Gewässers  
Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft, TU Hannover, Heft 20, 1965
- [3] *Dahlem, H. W.*  
Vergleichende Untersuchungen der Abbauvorgänge in ein- und mehrstufigen Tropfkörpern und Belebungsanlagen  
Eigenverlag des Institutes für Wasser- und Abwasserwesen, Abwasserreinigung und Raumplanung der TH Darmstadt, 1977
- [4] *Hartmann, L.*  
Die Plateau-BSB-Messung und Aussagekraft Umwelthygiene S. 99/102, 1974
- [5] *Ohneus, K.*  
Zusammenhang zwischen BSB<sub>5</sub> — TOC — TOD vom Wasser, Band 46 Verlag Chemie Weinheim, S. 65—84, 1976
- [6] *Siedmann, F. u. Teutscher, M.*  
Abschlussbericht zum F + E-Vorhaben 102 — WA 161 Bau und Erprobung eines Meßgerätes zur kontinuierlichen Kurzzeit-BSB- und Toxizitätsmessung.  
BMFT Abt. Umweltforschung 1984
- [7] *Wagner, R.*  
Untersuchungen über das Abbauverhalten organischer Stoffe mit Hilfe der respirometrischen Veratungsmethode  
Vom Wasser 42/1974, 47/1976
- [8] *Wagner, R.*  
Neue Gesichtspunkte zur Methodik und zur Beurteilung des Veratungs-BSB  
gwfwasser/abwasser 117, S. 443/450, 1976
- [9] *Wilderer, P., Engelmann, G. u. Schmeinger, H.*  
Kritik am BSB<sub>5</sub> als Verschmutzungsparameter  
gwfwasser/abwasser 118, Heft 8, 1977
- [10] *Wilderer, P., Hartmann, L., Jankovics, J.*  
Kritik an der Verwendung des Langzeit-BSB zur Beurteilung von Rohabwasser  
Z. f. Wasser- u. Abwasserforschung 3, 1970
- [11] *Wilderer, P., Hartmann, L.*  
Die Beurteilung von Abwässern hinsichtlich einer biologischen Behandlung  
Z. f. Wasser- u. Abwasserforschung 3, H. 5, 1970
- [12] *Wilderer, P., Hartmann, L., Kaser, G.*  
Der Plateau-BSB als Maß für die Konzentration an biologisch abbaubarer Substanz  
Z. f. Wasser- u. Abwasserforschung 11, Jg., Nr. 3/4, 1978
- [13] *Wirt, P.*  
Lohnt sich die Diskussion über die Hemmung der Nitrifikation bei der BSB<sub>5</sub>-Bestimmung noch?  
Korrespondenz Abwasser, H. 9, S. 600/601, 1983

REFERENZLISTE (Auszug)

Seite: 4

Anwender Kommunen	Typ	Standort
Krov-Bausendorf Verbandsgemeindeverwaltung 5561 Bengel	BIOX-1000	Zulauf Vorklärung
Krov-Bausendorf Verbandsgemeindeverwaltung 5561 Bengel	BIOX-1000	Zulauf Vorklärung
Landesamt für Wasser und Abfall NRW/ Kläranlage Neuss-Süd	BIOX-1000	Zulauf
Lippeverband 4300 Essen/Klärwerk Sesekemündung	BIOX-1000	Mobil/div. Standorte
Lippeverband 4300 Essen/Klärwerk Dorsten-Wulfen	BIOX-1000	Mobil/div. Standorte
Lüchow Samtgemeinde 3130 Lüchow	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Mainz Stadt 6500 Mainz/Zentralklärwerk	BIOX-1000	Ablauf Belebungsanlage
Mittleres Pfälzisches Abwassertechnikverband 6529 Monsheim	BIOX-1000	Zulauf Belebungsanlage
Mönchen Klärwerk II 8000 Mönchen	BIOX-1000	Zulauf
Mönchen Klärwerk II 8000 Mönchen	BIOX-1000	Zulauf Belebungsstufe 1
Niersverband/Klärwerk Dülken Boisheim 4060 Viersen-Boisheim	BIOX-1000	Mobil/div. Standorte
Niersverband/Klärwerk Mönchengladbach-Neuwerk	BIOX-1000	Zulauf
Niersverband/Klärwerk Mönchengladbach-Neuwerk	BIOX-1000	Auslauf
Nürnberg Stadt, Klärwerk 3500 Nürnberg	BIOX-1000	Zulauf
Obere Lutter Abwassertechnikverband 4830 Gütersloh 1	BIOX-1000	Zulauf 1. Stufe
Obere Lutter Abwassertechnikverband 3978 Sonnhofen	BIOX-1000	Zulauf
Oyten-Occersberg Abwassertechnikverband 3802 Occersberg	PHONIX-ZK	Ablauf VK/Ablauf NK
Pinneberg Abwassertechnikverband 2081 Hechlingen	BIOX-1000	Auslauf
Pinneberg Abwassertechnikverband 2081 Hechlingen	BIOX-1000	Auslauf
Pinneberg Abwassertechnikverband 2081 Hechlingen	BIOX-1000	Zulauf
Pirmasens 6780 Pirmasens/Kläranlage Blumental	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Ruhrverband, 4300 Essen	BIOX-1000	Mobil/div. Standorte
Ruhrverband, 4300 Essen	PHONIX	Auslauf
Ruhr Abwassertechnikverband 5150 Düren	BIOX-1000	Zulauf
Saar Abwassertechnikverband 6600 Saarbrücken/Kläranlage Dillingen	BIOX-1000	Zulauf
Saar Abwassertechnikverband 6600 Saarbrücken/Kläranlage Burbach	BIOX-1000	Zulauf
Saar Abwassertechnikverband 6600 Saarbrücken/Kläranlage Burbach	BIOX-1000	Ablauf
Saar Abwassertechnikverband 6600 Saarbrücken/Kläranlage Burbach	PHONIX	Zulauf
Saar Abwassertechnikverband 6600 Saarbrücken/Kläranlage Saarlouis	PHONIX	Ablauf
Saar Abwassertechnikverband 6600 Saarbrücken/Kläranlage Saarlouis	BIOX-1000	Zulauf
Schwalmtal/Zentralkläranlage 4056 Schwalmtal	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Schwarzbachtal 6924 Neckardischnöfensheim	BIOX-1000	Zulauf Belegung
Siegen Stadt/Universität Siegen 5900 Siegen	BIOX-1000	Zulauf Belebungsanlage
Siegen Stadt/Universität Siegen 5900 Siegen	BIOX-1000	Ablauf Nachklärung
Südthess. Gas u. Wasser AG 6100 Darmstadt	BIOX-1000	Zulauf
Südthess. Gas u. Wasser AG 6100 Darmstadt	PHONIX	Zulauf
Südthess. Gas u. Wasser AG 6100 Darmstadt	PHONIX	Zulauf
Südthess. Gas u. Wasser AG 6100 Darmstadt	STIPTOX-norm	Zulauf
Worms Stadt 6520 Worms	BIOX-1000	Zulauf
Wuppertal 5600 Wuppertal 2/KW Buchennohen	PHONIX	Auslauf
Zapfendorf Stadt 3601 Zapfendorf	BIOX-1000	Zulauf Biologie

Stand Mai 1993

REFERENZLISTE (Auszug)

Seite: 5

Anwender Kommunen	Typ	Standort
Aachen Stadt 5100 Aachen-Soers	BIOX-1000	Zulauf Belegung
Andernach Stadt 5470 Andernach	BIOX-1000	Zulauf n. Sandfang
Augsburg/Städt. Klärwerk 8900 Augsburg	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Bachmang Sammelklär. Neuschontal 7150 Bachmang	BIOX-1000	Zulauf
Bad Kreuznach 6550 Bad Kreuznach	BIOX-1000	Zulauf
Bad Segeberg Städt. Kläranlage, 2360 Bad Segeberg	BIOX-1000	Zulauf
Bergisch-Gladbach KA Benningsfeld 5060 Berg.-Gladbach	PHONIX	Zulauf
Bremerhaven/Zentralkläranlage 2850 Bremerhaven	BIOX-1000	Zulauf Vorklärung
Bremen-Seehausen Städt Kläranlage 2800 Bremen	PHONIX-ZK	Ablauf/Zulauf
Cloppenburg Städt. Kläranlage 4590 Cloppenburg	BIOX-1000	Zulauf
Duisburg/ Städt. Kläranlage 4100 Duisburg-Hochfeld	BIOX-1000	Auslauf
Erdinger Moos, Flughafen 9000 München	BIOX-1000	Zulauf
Flensburg Stadt 2390 Flensburg	BIOX-1000	Zulauf Belebungsstufe 1
Frankfurt Zentralkläranlage 6000 Frankfurt/M	BIOX-1000	Zulauf Belebungsstufe
Frankfurt Zentralkläranlage 6000 Frankfurt/M	BIOX-1000	Zulauf Belebungsstufe
Frankfurt Zentralkläranlage 6000 Frankfurt/M	PHONIX	Ablauf Vorklärung
Pürten/Städt. Kläranlage 3510 Pürten	BIOX-1000	Auslauf
Pulda Verbandsklärwerk 6400 Pulda-Glasertell	BIOX-1000	Ablauf Vorklärung
Ges. f. Abw. Klärung Nordhorn mbH 4450 Nordhorn	PHONIX-ZK	Zulauf Industrie
Ges. f. Abw. Klärung Nordhorn mbH 4460 Nordhorn	PHONIX-ZK	Zulauf Kommune
Grünstadt Stadtverwaltung 6718 Grünstadt	BIOX-1000	Zulauf
Hanau Stadt/Gruppenklärwerk 6450 Hanau	BIOX-1000	Zulauf Belebungsanlage
Hanau Stadt/Gruppenklärwerk 6450 Hanau	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Hanau Stadt/Gruppenklärwerk 6450 Hanau	PHONIX	Zulauf Biologie
Hanau Stadt/Gruppenklärwerk 6450 Hanau	PHONIX III	Zulauf Biologie
Hannover Stadtentwässerungsamt 3000 Hannover	BIOX-1000	Zulauf Städt. Klärwerk
Hannover KW Seeitz 1000 Hannover	PHONIX	Zulauf
Heidelberg Abwassertechnikverband 6900 Heidelberg	BIOX-1000	Ablauf Sandfang
Heilbronn/Städtische Kläranlage 7100 Heilbronn	BIOX-1000	Zulauf
Herzberg Stadt 4836 Herzberg	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Hessische Landesanstalt für Umwelt 6200 Wiesbaden	BIOX-1000	div. Standorte/Mobil
Holzminnen Städt. Kläranlage 3450 Holzminnen	BIOX-1000	Zulauf hinter Rechen
Ingolstadt/Zentralkläranlage 8070 Ingolstadt	BIOX-1000	Auslauf Tropfkörper
Kalkar Kläranlage Kalkar Honnepe 4192 Kalkar	BIOX-1000	Messung v.d. Sandfang
Kalkar Kläranlage Kalkar Honnepe 4192 Kalkar	BIOX-1000	Auslauf Schlammhof
Kiel Stadt, Kläranlage 2300 Kiel	TOX-ADAPT	Zulauf Biologie
Kirchweilher Verbandsgemeinde 6735 Malkammer	BIOX-1000	Zulauf
Kirchweilher Verbandsgemeinde 6735 Malkammer	BIOX-1000	Auslauf
Klingpachbrunne Zweckverband 6741 Billigheim	BIOX-1000	Zulauf
Kölnenz Städt. Kläranlage 5400 Kölnenz-Wailersheim	BIOX-1000	Zulauf
Köln-Stammheim Großklärwerk 5000 Köln 30	BIOX-1000	Zulauf
Köln-Stammheim Großklärwerk 5000 Köln 30	BIOX-1000	Zulauf
Konstanz Stadtverwaltung 7750 Konstanz	BIOX-1000	Zulauf
Lich Stadt 6302 Lich/Hessen	BIOX-1000	Zulauf
LINDE Linksriederth. Entwässerungsamt 4132 Kamp-Lindfort	BIOX-1000	Zulauf

REFERENZLISTE (Auszug)

Seite: 2

Anwender Industrie	Abwasserart	Typ	Standort
Blaug GmbH 5000 Köln 50 (Milchhof eGmbH)	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Werksauslauf
Emsland-Starke 2970 Emlichheim	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Auslauf Produktion
Ferrero GmbH 3570 Stadtaillendorf	Nahrungsmittel	PHONIX	Auslauf Produktion
Brauerei Flensburg 2390 Flensburg	Nahrungsmittel	PHONIX	Auslauf Produktion
Käserel Champignon 8961 Heising	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Ablauf
Karwendel Werke 8938 Buchloe	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Werksauslauf
Meggler GmbH & Co. KG 8090 Wasserburg	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Werksauslauf
Milchhof Bayreuth-Kennbach 9580 Bayreuth	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Auslauf/Produktion
Molkerei Müller GmbH & Co. 8935 Fischach	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Zulauf
Nestle Deutschl. AG Werk 3954 Biessenhofen	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Zulauf
Paulaner-Salvator-Thomasbräu AG 8000 München	Nahrungsmittel	BIOX-1000	div. Standorte
Richardson GmbH 6080 Groß Gerau	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Auslauf Produktion
Südstärke GmbH 8898 Schroppenhausen	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Werksauslauf
Waldmüller Fruchtsaft 4056 Schwalmtal	Nahrungsmittel	PHONIX	Werksauslauf
Warburger Lebensmittelwerke 3550 Warburg	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Werksablauf
Weißbräu Erding 8058 Erding	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Werksauslauf
Winterspekt Erzeugungsgen. 4555 Spremlingen	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Werksauslauf
Zentis GmbH 5100 Aachen	Nahrungsmittel	BIOX-1000	Zulauf
Bayr. Zellstoff AG 8420 Kelheim/Donau	Papier	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Feidmühle AG Werk 2390 Flensburg	Papier	BIOX-1000	Werksauslauf
Gessner & Co. GmbH 3206 Bruckmühl	Papier	BIOX-1000	Auslauf
Gessner & Co. GmbH 3206 Bruckmühl	Papier	TOX-NORM	Werksauslauf
Papierfabrik Niefeln GmbH 7532 Niefeln-2	Papier	BIOX-1000	Werksauslauf
Palm Papierfabrik GmbH 7080 Aalen 1	Papier	BIOX-1000	Ablauf
PTS Papiertechn. Stiftung 8000 München	Papier	BIOX-1000	Zulauf Biologie
PWA Aschaffenburg 3750 Aschaffenburg	Papier	BIOX-1000	Fabrikablauf
PWA Stockstadt GmbH 3751 Stockstadt/Main	Papier	BIOX-1000	Ablauf
PWA Wittennhausen GmbH 3430 Wittennhausen	Papier	BIOX-1000	Zulauf
Temming AG 1208 Glückstadt	Papier	BIOX-1000	Ablauf Vorklärung
Temming AG 1208 Glückstadt	Papier	PHONIX	Ablauf
RWE-DEA 4130 Moers 1	Petrochemie	BIOX-1000	Werksauslauf
RWE-DEA 4130 Moers 1	Petrochemie	BIOX-1000	Kühlwasserüberwachung
RWE-DEA 4130 Moers 1	Petrochemie	PHONIX	Kühlwasserüberwachung
RWE-DEA 4130 Moers 1	Petrochemie	TOX-ADAPT	Ablauf
RWE-DEA 2000 Hamburg	Petrochemie	PHONIX	Kühlwasserüberwachung
RWE-DEA 2000 Hamburg-Grasbrook	Petrochemie	PHONIX III	Ablauf
Dalll-Werke 5190 Stolberg	Pharma	BIOX-1000	Zulauf
Haarmann u. Reimer GmbH 3450 Holzminden	Pharma	BIOX-1000	Zulauf
ICI-Pharma Heidelberg 6900 Heidelberg	Pharma	BIOX-1000	Zulauf Neutralisation
Merck AG 6100 Darmstadt	Pharma	BIOX-1000	Auslauf Nachklärung
Merck AG 6100 Darmstadt	Pharma	TOX-ADAPT	Zulauf

Stand Februar 1993

REFERENZLISTE (Auszug)

Seite: 1

Anwender Industrie	Abwasserart	Typ	Standort
Daimler Benz AG 6729 Wörth/Rhein	Automobil	BIOX-1000	Ablauf Tropfkörper
Bayer AG Leverkusen 5090 Leverkusen	Chemie	BIOX-1000	Zulauf
Behringwerke 3550 Marburg	Chemie	BIOX-1000	Werksauslauf
Behringwerke 3550 Marburg	Chemie	BIOX-1000T	Werksauslauf
Behringwerke 3550 Marburg	Chemie	PHONIX	Werksauslauf
Behringwerke 3550 Marburg	Chemie	PHONIX	Werksauslauf
Buna AG 0-4212 Schkopau	Chemie	PHONIX	Zulauf
Buna AG 0-4212 Schkopau	Chemie	TOX-ADAPT	Zulauf
Cassella AG 6000 Frankfurt/Main	Chemie	BIOX-1000	Zulauf
Cassella AG 6000 Frankfurt/Main	Chemie	TOX-ADAPT	Zulauf
Cassella AG 6000 Frankfurt/Main	Chemie	PHONIX	Zulauf
Cassella AG 6000 Frankfurt/Main	Chemie	PHONIX III	Ablauf
Chemviron Carbon GmbH 3417 Bodenfelde	Chemie	PHONIX	Auslauf
Chemteal AG 3394 Langesheim	Chemie	STIPTOX-norm	Werksablauf
Ciba-Geigy Marienberg GmbH 6840 Lampertheim	Chemie	PHONIX	Zulauf
Ciba-Geigy Marienberg GmbH 6840 Lampertheim	Chemie	PHONIX	Zulauf
Ciba-Geigy CH-4002 Basel	Chemie	BIOX-1000	Werksauslauf
Degussa AG B-2040 Antwerpen	Chemie	BIOX-1000	Zulauf Pilotanlage
Degussa AG 7750 Konstanz	Chemie	BIOX-1000	Auslauf Ausfallbecken
Degussa AG 5047 Wesseling	Chemie	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Degussa AG 6050 Hanau	Chemie	TOX-NORM	Zulauf Biologie
DuPont de Nemours 4800 Mann	Chemie	PHONIX	Ablauf
Dynamit Nobel 5210 Troisdorf	Chemie	PHONIX	Ablauf
Hartmann Druckfarben 6272 Niederrnhausen	Chemie	PHONIX	Werksauslauf
Hartmann Druckfarben 6272 Niederrnhausen	Chemie	TOX-ADAPT	Zulauf
Henkel AG 4000 Düsseldorf	Chemie	BIOX-1000	Auslauf Produktion
Henkel AG 4000 Düsseldorf	Chemie	TOX-NORM	Auslauf Produktion
Hoechst AG Werk 6050 Offenbach	Chemie	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Hoechst AG Werk 6050 Keisterbach	Chemie	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Hoechst AG Werk 6000 Frankfurt/Griesheim	Chemie	TOX-ADAPT	Zulauf Biologie
Hoechst AG Werk 6000 Frankfurt/Hoechst	Chemie	PHONIX	Auslauf Produktion
Ruels AG Werk 4370 Marl	Chemie	BIOX-1000	Zulauf
Ruels AG Werk 5216 Niederkassel	Chemie	PHONIX	Werksauslauf
Kalle AG 5200 Wesspden	Chemie	BIOX-1000	Auslauf
Raschig AG 5700 Ludwigshafen	Chemie	BIOX-1000	Werksauslauf
Riedel de Haen AG 3016 Seeitz	Chemie	BIOX-1000	Zulauf
Riedel de Haen AG 3016 Seeitz	Chemie	PHONIX III	Zulauf
Riedel de Haen AG 3016 Seeitz	Chemie	PHONIX	Werksauslauf
Schuller Glaswerk 6980 Wertheim	Chemie	PHONIX	Werksauslauf
Steinmüller GmbH 5270 Gummersbach	Chemie	BIOX-1000	div. Standorte
Unichema GmbH 4240 Emmerich	Chemie	PHONIX	Werksablauf
Wacker Chemie GmbH 3263 Burgnhausen	Chemie	BIOX-1000	Zulauf Vorklärung
Wacker Chemie GmbH 3263 Burgnhausen	Chemie	BIOX-1000	Zulauf 1. Belebungsstufe
Werner und Merz GmbH 6500 Mainz	Chemie	BIOX-1000	Zulauf Biologie
Werner und Merz GmbH 6500 Mainz	Chemie	PHONIX	Zulauf
Zschimmer & Schwarz 5240 Lannstein	Chemie	PHONIX	Werksauslauf
Zschimmer & Schwarz 5240 Lannstein	Chemie	TOX-ADAPT	Zulauf
IZM Betriebs GmbH 5083 Bielefeld	Ind. Müll	PHONIX III	Zulauf

Anlage 2

- Eingang: Rückseite Schiffbauweg 2
- Linie 3, Haltestelle Use Akschen
- Linien 2, 10, Haltestelle Lindenhofstr.

MESSBEREICHSDATEN  
AUSDRUCK: 240693 - 1312

MAX MESSWERT = 2000  
LK-WERT = 4  
ESB VORGABE = 500  
MAX QP = 200  
MIN QP = 7.5  
SPUELUNGEN/TAG = 8  
EICHUNGEN/TAG = 2  
BETRIEBSART = 1  
Q2-ABWASSER = .1  
200 1800 5 1800

GRUNDDATEN  
AUSDRUCK: 240693 - 1313

Q2-DIFFERENZ = 3  
GESAMT QP = 1000  
ALFA 1 = 2.5  
ALFA 2 = 1.3  
DIVISOR = 2000  
MIN E1 = 3.5  
MIN E2 = .5  
G1 = 0  
G2 = 0  
G3 = 0  
MESSRATE = 21  
MIN T = 20  
MAX T = 80  
E-GRENZE = .3  
TAGESWECHSEL = 0

*von Lk-Weit-Best.  
24.6.93*

BSB-M3 NR. 1 240693  
AUSDRUCK: 240693 - 1313

MAX MW 1155.2 11:36  
MIN MW 171.3 12:55  
MITTEL 801.4

K-E2 2.462 +1.131

E-STEILHEIT 12:05  
E-STEILHEIT 13:05

**TELEFAX-VORLAUFBLATT**

06.04.94

Absender ▾	 <b>BREMER ENTSORGUNGS BETRIEBE</b> Abwasserförderung Senator-Apelt-Straße 11 28197 Bremen <i>(R. Sonntag)</i>	Org.-Zeichen ▾ E 412-1
		Telefax ▾ 0421-3611 16720
Empfänger ▾	ifs Vahrenwalder Str. 7 30465 Hannover <i>(z. Hd. Hr. Schütte)</i>	Seitenzahl mit Deckblatt ▾ 1
		Wählziffer ▾ 0541-9357 100

Bemerkungen ▾

6.4.94

MESSBEREICHSDATEN  
AUSDRUCK: 280394 - 1312

MAX MESSWERT = 2000  
LK-WERT = 4.4  
ESB VORGABE = 500  
MAX QP = 200  
MIN QP = 7.5  
SPUELUNGEN/TAG = 2  
EICHUNGEN/TAG = 2  
BETRIEBSART = 1  
Q2-ABWASSER = .1  
200 1800 5 1800

GRUNDDATEN  
AUSDRUCK: 280394 - 1312

Q2-DIFFERENZ = 3  
GESAMT QP = 1000  
ALFA 1 = 2.5  
ALFA 2 = 1.3  
DIVISOR = 2000  
MIN E1 = 3.5  
MIN E2 = .5  
G1 = 0  
G2 = 0  
G3 = 0  
MESSRATE = 21  
MIN T = 20  
MAX T = 80  
E-GRENZE = .3  
TAGESWECHSEL = 0

BSB-M3 NR. 1 280394  
AUSDRUCK: 280394 - 1312

MAX MW 560.7 07:35  
MIN MW 149.4 13:05  
MITTEL 304.0

K-E2 1.922 +0.069

REINIGEN 06:21  
E-STEILHEIT 06:23  
E-STEILHEIT 12:05

30  
14M

*Mit freundlichem Gruß*

*R. Sonntag*

*Steilheits-eichung: 75 sek.  
(von Hand)*

Anlage 3

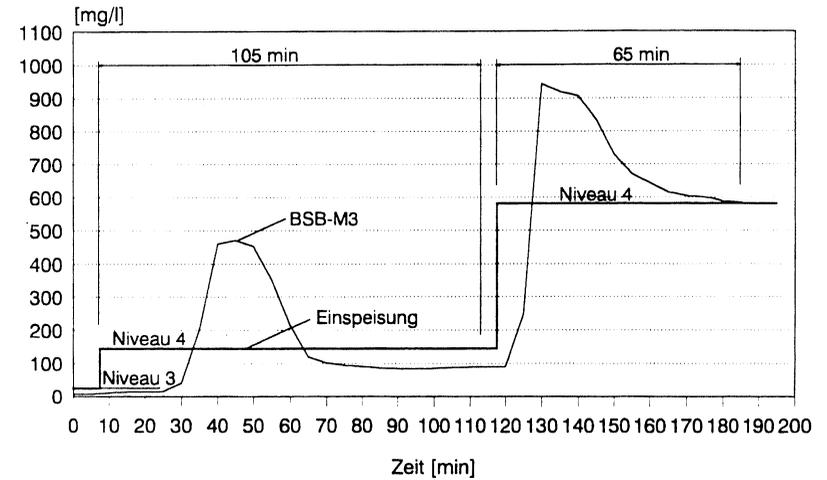
**Versuchsprotokoll des dynamischen Tests des BSB-M3 Gerätes am 2.8.93**

	Uhrzeit	BSB-M3 [mg/l]	Niveau nach Verdünnungsverhältnis [mg/l]
	14:30	582	581
	14:35	581	581
	14:40	580	581
Beharrungszustand Niveau 1	14:45	581	581
Einspeisung Verdünnung 1:4 Niveau 2	14:50	581	145
	14:55	569	145
	15:00	514	145
	15:05	473	145
	15:10	421	145
	15:15	372	145
	15:20	314	145
	15:25	271	145
	15:30	246	145
	15:35	227	145
	15:40	213	145
	15:45	202	145
	15:50	189	145
	15:55	176	145
	16:00	168	145
	16:05	160	145
	16:10	154	145
	16:15	150	145
	16:20	147	145
	16:25	146	145
Beharrungszustand Niveau 2	16:30	145	145

Einspeisung Verdünnung 1:24 Niveau 3	16:35	145	24
	16:40	117	24
	16:45	85	24
	16:50	60	24
	16:55	27,6	24
	17:00	10,8	24
	17:05	6	24
Beharrungszustand Niveau 3	17:10	6,8	24
Einspeisung Verdünnung 1:4 Niveau 4	17:15	7,1	145
	17:20	10,7	145
	17:25	13,5	145
	17:30	14	145
	17:35	14,5	145
	17:40	40	145
	17:45	204	145
	17:50	460	145
	17:55	470	145
	18:00	452	145
	18:05	352	145
	18:10	214	145
	18:15	119	145
	18:20	102	145
	18:25	95	145
	18:30	90	145
	18:35	86	145
	18:40	85	145
	18:45	84	145
	18:50	85	145
	18:55	87	145
	19:00	89	145
Beharrungszustand Niveau 4	19:05	89	145

Einspeisung Verdünnung 1:1 Niveau 5	19:10	90	581
	19:15	247	581
	19:20	943	581
	19:25	919	581
	19:30	905	581
	19:35	834	581
	19:40	730	581
	19:45	672	581
	19:50	644	581
	19:55	615	581
	20:00	604	581
	20:05	600	581
	20:10	587	581
	20:15	583	581
	20:20	581	581
	20:25	582	581
Beharrungszustand Niveau 5	20:30	581	581

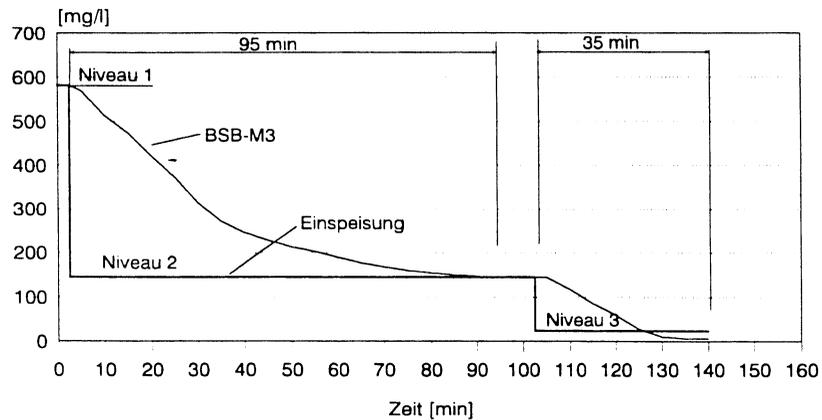
### Dynamischer Test BSB-M3-Gerät: Darstellung Niveau 3 - Niveau 4 - Niveau 5



### Laboranalysen der Referenzproben vom dynamischen Test am 2.8.93

	Verdünnungs- verhältnis	BSB-M3 rechnerisch [mg / l]	BSB-M3 Geräteanzeige [mg / l]	BSB <sub>5</sub> Labor [mg / l]
Niveau 1 / Niveau 5	1:1	581	581 / 581	276 261 313 395 402 318 309 343 341 Mittelwert: 328
Niveau 2 / Niveau 4	1:4	145	145 / 90	88 64 Mittelwert: 76
Niveau 3	1:24	24	7	69 73 36 46 Mittelwert: 56

### Dynamischer Test BSB-M3-Gerät: Darstellung Niveau 1 - Niveau 2 - Niveau 3



**Versuchsprotokoll des dynamischen Tests des BSB-M3 Gerätes am 10.9.93**

Versuch 1:

Ausgangskonzentration: 447 mg/l

Eingespeiste Konzentration: 32 mg/l (Verdünnung mit Leitungswasser ca. 1:14)

Geräteanzeige O<sub>2</sub>-Differenz: E1= 7,49 E2=4,50

Uhrzeit	Einspeisung [mg/l]	BSB-M3 [mg/l]	Uhrzeit	Einspeisung [mg/l]	BSB-M3 [mg/l]
15:21	447	447	15:43	32	83
15:22	447	447	15:44	32	77
15:23	32	444	15:45	32	73
15:24	32	432	15:46	32	69
15:25	32	407	15:47	32	66
15:26	32	379	15:48	32	65
15:27	32	331	15:49	32	62
15:28	32	300	15:50	32	60
15:29	32	261	15:51	32	57
15:30	32	225	15:52	32	55
15:31	32	202	15:53	32	54
15:32	32	179	15:54	32	51
15:33	32	157	15:55	32	48
15:34	32	142	15:56	32	45
15:35	32	128	15:57	32	43
15:36	32	120	15:58	32	41
15:37	32	114	15:59	32	39
15:38	32	105	16:00	32	37
15:39	32	100	16:01	32	36
15:40	32	95	16:02	32	34
15:41	32	91	16:03	32	33
15:42	32	87	16:04	32	32
...			16:05	32	32

Versuch 2:

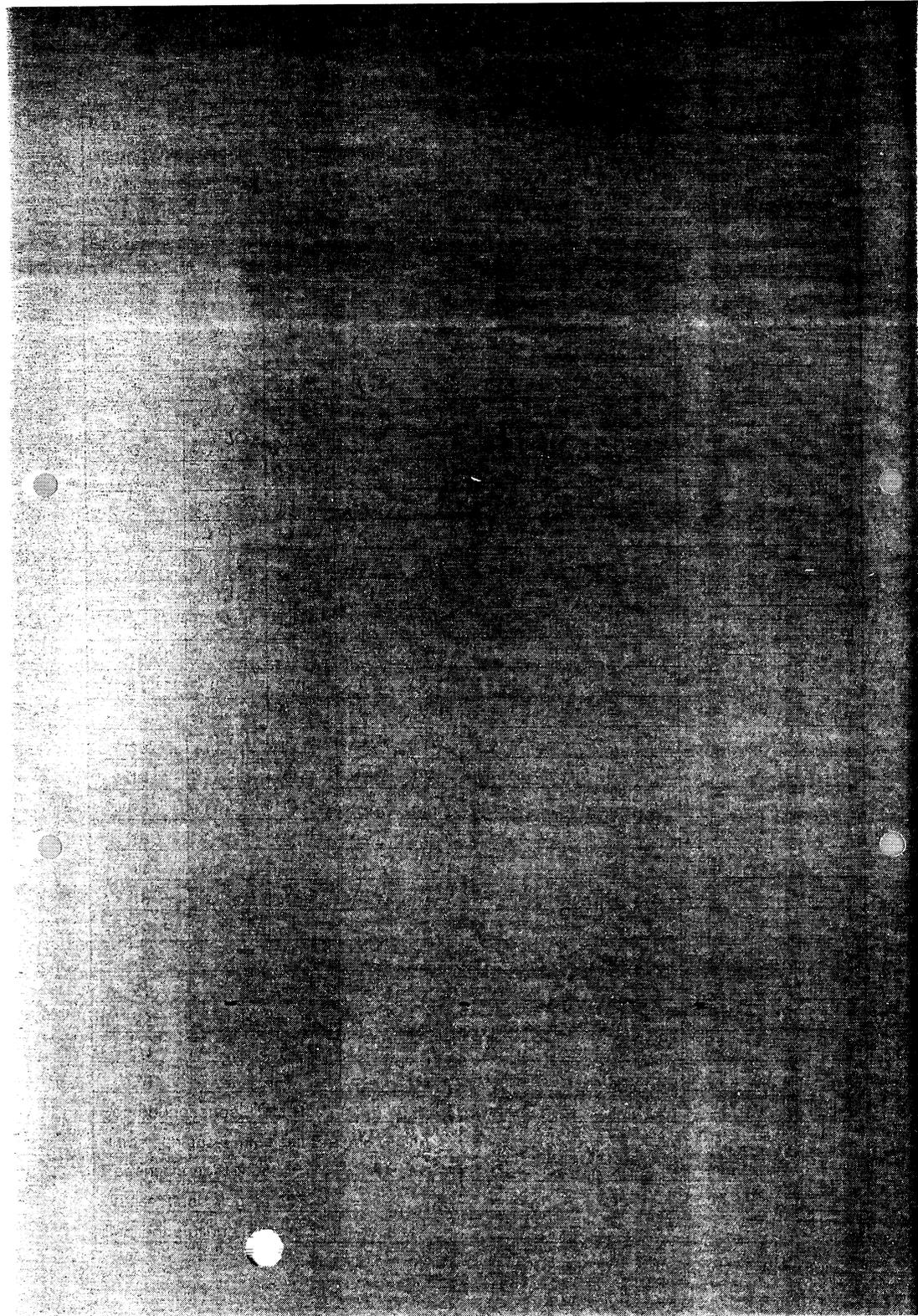
Ausgangskonzentration: 438 mg/l

Eingespeiste Konzentration: 1002 mg/l (2l Abwasser (438 mg/l) + 0,5l Bier)

Geräteanzeige O<sub>2</sub>-Differenz: E1= 7,49 E2=4,51

Uhrzeit	Einspeisung [mg/l]	BSB-M3 [mg/l]	Uhrzeit	Einspeisung [mg/l]	BSB-M3 [mg/l]
17:51	438	438	18:05	1002	970
17:52	438	438	18:06	1002	979
17:53	1002	440	18:07	1002	983
17:54	1002	580	18:08	1002	985
17:55	1002	647	18:09	1002	987
17:56	1002	707	18:10	1002	989
17:57	1002	762	18:11	1002	990
17:58	1002	808	18:12	1002	993
17:59	1002	848	18:13	1002	997
18:00	1002	878	18:14	1002	1000
18:01	1002	904	18:15	1002	1001
18:02	1002	929	18:16	1002	1002
18:03	1002	944	18:17	1002	1003
18:04	1002	958	18:18	1002	1002
...			18:19	1002	1003

Anlage 4



Datum		Uhrzeit		
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn				
Regenschreiber NO2	[mm]			
Wasserstand Pegel H10	[m Wassersäule]			
Beckenbefüllung ja /nein				
Proben-Nr.	Uhrzeit		BSB-M3-Anzeige	Bemerkungen
-	von	bis	mindestens 2 Werte - während der Probenahme - in der Pause danach	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
Beprobungsende (Uhrzeit)				
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn				
Regenschreiber NO2	[mm]			
Wasserstand Pegel H10	[m Wassersäule]			
Beckenbefüllung ja /nein				

Datum	22.09.93		Uhrzeit	21.20	
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn					
Regenschreiber NO2	bis 15 Min		14,2 mm		[mm]
Wasserstand Pegel H10	4,58		[m Wassersäule]		
Beckenbefüllung ja /nein	ja /nein				
Proben-Nr.	Uhrzeit		BSB-M3-Anzeige	Bemerkungen	
-	von	bis	mindestens 2 Werte - während der Probenahme - in der Pause danach		
1	21 30	35	346, 347		
2	21 40	45	248, 351, 358		
3	21 50	55	353, 348		
4	22 00	05	327, 316		
5	22 10	15	294, 282	H10 → 22, 2 litke	
6	22 20	25	267, 260	NO2 → 4,40 x	
7	22 30	35	229, 189	so regnet nicht	
8	22 40	45	171, 153	mehr 22 20	
9	22 52	57	138, 125		
10	23 00	05	117, 110	H10 → 4,27 22. x	
11	23 10	15	102, 93	NO2 → 22, 20	
12	23 20	25	88, 82		
13	23 30	35	78, 74		
14	23 40	45	7, 67		
15	23 50	55	66, 64		
16	24 00	05	63, 63		
17	24 10	15	63 <sup>x</sup> , 65	"ohne Regelung" blind auf	
18	24 20	25	65, 65		
19					
20					
21					
22					
23					
24					
Beprobungsende (Uhrzeit)	0 25				
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn					
Regenschreiber NO2	22, 20		[mm]		
Wasserstand Pegel H10	4,51		[m Wassersäule]		
Beckenbefüllung ja /nein					

BSB letzte 2 Skel. 10.10.83

Datum	3.10.83		Uhrzeit	12.36	
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn	13 [mm] letzte 15 Min				
Regenschreiber NO2	384 [m Wassersäule]				
Wasserstand Pegel H10	2				
Beckenbefüllung ja/nein	ja				
Proben-Nr.	Uhrzeit		BSB-M3-Anzeige		Bemerkungen
	von	bis	mindestens 2 Werte - während der Probenahme - in der Pause danach		
1	12.53	58	113	113	
2	13.00	05	113	112	
3	13.15	15	108	105	im Wasser s. 423
4	13.20	25	101	96	mm Wasser s. 138
5	13.30	35	90	86	13.08
6	13.40	45	84	82	
7	13.50	55	80	80	
8	14.00	05	80	79	
9	14.10	15	79	78	13.48
10	14.20	25	78	78	mm Wasser s. 445
11	14.30	35	78	78	NO2 14.4
12	14.40	45	78	78	
13	14.50	55	77	77	14.36
14	15.00	05	77	77	mm Wasser s. 450
15					NO2 14.7
16					keine die Messung
17					seit 14.00 regnet es nicht mehr
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
Beprobungsende (Uhrzeit)	15.10				
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn	14.9 [mm] * mit letzten 2				
Regenschreiber NO2	455 [m Wassersäule] * 100				
Wasserstand Pegel H10	455 [m Wassersäule]				
Beckenbefüllung ja/nein	ja				

Datum	3.10.83		Uhrzeit	12.12	
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn	5,6 [mm]				
Regenschreiber NO2	207 [m Wassersäule]				
Wasserstand Pegel H10	207 [m Wassersäule]				
Beckenbefüllung ja/nein	nein				
Proben-Nr.	Uhrzeit		BSB-M3-Anzeige		Bemerkungen
	von	bis	mindestens 2 Werte - während der Probenahme - in der Pause danach		
1	12.25	12.30	1181, 1174	1156, 1110	* fällt weg. ch!
2	12.35	12.40	1042, 978, 954, 922, 847		
3	12.45	12.50	805, 752, 732, 717, 659		* 12.32 es hat auf
4	12.55	13.00	648, 627, 608, 588		läuft an regnet
5	13.05	13.10	582, 574, 556, 527		
6	13.15	13.20	511, 501, 484, 460		NO2-73 H10-3 44/12
7	13.25	13.30	450, 441, 432, 421		
8	13.35	13.40	408, 398, 379, 365		
9	13.45	13.50	355, 347, 332, 319		
10	13.55	14.00	314, 306, 296, 287		
11	14.05	14.10	282, 274, 267, 253		
12	14.15	14.20	245, 241, 235, 226		
13	14.25	14.30	218, 214, 208, 203		
14	14.35	14.40	200, 195, 191, 185		
15	14.45	14.50	183, 179, 177, 174		
16	14.55	15.00	172, 169, 167, 164		
17	15.05	15.10	162, 160, 159, 157		
18	15.15	15.20	156, 155, 153		
19					
20					
21					
22					
23					
24					
Beprobungsende (Uhrzeit)	15.20				
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn	7,3 [mm]				
Regenschreiber NO2	420 [m Wassersäule]				
Wasserstand Pegel H10	15.33 [m Wassersäule]				
Beckenbefüllung ja/nein	ja				

BSB Werte zwischen 6.15 - 6.45 17.10 fällt seit 6.10.83 nicht mehr

Handprotokoll des 30. Junies zeigt Regenpause, bis ca 12.00, dann BSB-Wert auf 2.00 dann innerhalb von 17 Minuten auf ca 12.00, fünf Minuten am 2.10.83 als ich mit Messung am Pegel

Datum	8.12.93		Uhrzeit	22.02	
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn					
Regenschreiber NO2	EDV nicht in fang zu setzen [mm]				
Wasserstand Pegel H10	417		[m Wassersäule]		
Beckenbefüllung ja /nein					
Proben-Nr.	Uhrzeit		BSB-M3-Anzeige mindestens 2 Werte - während der Probenahme - in der Pause danach	Bermerkungen	
	von	bis			
1	22 <sup>11</sup>	22 <sup>16</sup>	375, 371, 353		
2	22 <sup>20</sup>	22 <sup>25</sup>	348,		
3	22 <sup>30</sup>	22 <sup>35</sup>	328,		
4	22 <sup>41</sup>	22 <sup>46</sup>	259, 282		
5	22 <sup>50</sup>	22 <sup>55</sup>	281, 272, 264		
6	23 <sup>00</sup>	23 <sup>05</sup>	258, 252, 247		
7	23 <sup>10</sup>	23 <sup>15</sup>	242, 232		
8	23 <sup>20</sup>	23 <sup>25</sup>	224, 216	23 <sup>16</sup> Becken befüllen	
9	23 <sup>30</sup>	23 <sup>35</sup>	205, 202		
10	23 <sup>40</sup>	23 <sup>45</sup>	188, 184	Abfließen in Wiese	
11	23 <sup>50</sup>	23 <sup>55</sup>	191, 189		
12	24 <sup>00</sup>	0 <sup>05</sup>	188, 188		
13	0 <sup>10</sup>	0 <sup>15</sup>	188, 177, 171		
14	0 <sup>20</sup>	0 <sup>25</sup>	167, 162		
15	0 <sup>30</sup>	0 <sup>35</sup>	158, 156		
16	0 <sup>40</sup>	0 <sup>45</sup>	153, 150		
17	0 <sup>50</sup>	0 <sup>55</sup>	148, 146		
18	1 <sup>00</sup>	1 <sup>05</sup>	144, 142		
19					
20					
21					
22					
23					
24					
Beprobungsende (Uhrzeit)					
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn					
Regenschreiber NO2	[mm]				
Wasserstand Pegel H10	[m Wassersäule]				
Beckenbefüllung ja /nein					

Datum	27.1.94		Uhrzeit	14.12	
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn					
Regenschreiber NO2	letzte Std. 7,5 letzte 15min 2,6 [mm]				
Wasserstand Pegel H10	3.30		[m Wassersäule]		
Beckenbefüllung ja /nein					
Proben-Nr.	Uhrzeit		BSB-M3-Anzeige mindestens 2 Werte - während der Probenahme - in der Pause danach	Bermerkungen	
	von	bis			
1	14 <sup>10</sup>	14 <sup>15</sup>	302, 286, 273, 259		
2	14 <sup>20</sup>	14 <sup>25</sup>	251, 242, 246, 245		
3	14 <sup>40</sup>	14 <sup>45</sup>	244, 245, 245, 246		
4	14 <sup>50</sup>	14 <sup>55</sup>	246, 244, 238, 215		
5	15 <sup>00</sup>	15 <sup>05</sup>	200, 186, 174, 167		
6	15 <sup>10</sup>	15 <sup>15</sup>	158, 150, 145, 140		
7	15 <sup>20</sup>	15 <sup>25</sup>	134, 130, 129, 128		
8	15 <sup>30</sup>	15 <sup>35</sup>	127, 126, 124, 120		
9	15 <sup>40</sup>	15 <sup>45</sup>	118, 115, 112, 109		
10	15 <sup>50</sup>	15 <sup>55</sup>	105, 103, 100, 97		
11	16 <sup>00</sup>	16 <sup>05</sup>	92, 89, 84, 81		
12	16 <sup>10</sup>	16 <sup>15</sup>	78, 77, 73, 68		
13	16 <sup>20</sup>	16 <sup>25</sup>	68, 66, 64, 63		
14	16 <sup>30</sup>	16 <sup>35</sup>	61, 61, 60, 60		
15	16 <sup>40</sup>	16 <sup>45</sup>	60, 60, 60, 61		
16	16 <sup>50</sup>	16 <sup>55</sup>	62, 63, 65, 66	*seit ca 1/2 Std	
17	17 <sup>00</sup>	17 <sup>05</sup>	67, 68, 69, 70	Proben im 64	
18	17 <sup>10</sup>	17 <sup>15</sup>	70, 71, 72, 73		
19					
20					
21					
22					
23					
24					
Beprobungsende (Uhrzeit)	17 <sup>19</sup>				
Niederschlagssumme seit Ereignisbeginn					
Regenschreiber NO2	[mm]				
Wasserstand Pegel H10	4,47		[m Wassersäule]		
Beckenbefüllung ja /nein					

Wiese / in Wiese



**INSTITUT FÜR ANALYTISCHE CHEMIE**  
 Institutsleiter: Ute Sonneckalb - Dipl.-Chem. / Heiko Helms - Dipl.-Chem.



28359 Bremen  
 Fahrheitsstraße 6  
 Tel. 0421 / 2 20 97-0  
 Fax 0421 / 21 45 10

BREGAU-INSTITUTE - Fahrheitsstraße 6 - 28359 Bremen

Bremer Entsorgungsbetriebe  
 z. H. Herrn Broll-Bickhardt  
 Schiffbauwerweg 2

28237 Bremen

Bremen, 11. Januar 1994/re

**ANALYSENBERICHT**

- Ihre Proben vom: 08.12.93 -

Probeneingang: 03.01.94  
 Labor-Nr. (BREGAU): 0005 - 0014

Lab.-Nr./Probenbez.	Parameter	Größe	Meßverfahren	Ergebnis
	BaP <sub>5</sub>		DIN 38409 H51	
0005	Pr. 1	mg/l		214
0006	Pr. 2	mg/l		144
0007	Pr. 3	mg/l		154
0008	Pr. 5	mg/l		153
0009	Pr. 7	mg/l		139
0010	Pr. 10	mg/l		115
0011	Pr. 12	mg/l		110 0,05
0012	Pr. 14	mg/l		117 0,25
0013	Pr. 16	mg/l		111 0,45
0014	Pr. 18	mg/l		116 1,55

BREGAU-INSTITUTE  
 - Institut für analytische Chemie -  
 Dipl.-Chem. Ute Sonneckalb  
 - Institutsleiterin -

**INSTITUT FÜR ANALYTISCHE CHEMIE**  
 Institutsleiter: Ute Sonneckalb - Dipl.-Chem. / Heiko Helms - Dipl.-Chem.



28359 Bremen  
 Fahrheitsstraße 6  
 Tel. 0421 / 2 20 97-0  
 Fax 0421 / 21 45 10

BREGAU-INSTITUTE - Fahrheitsstraße 6 - 28359 Bremen

Bremer Entsorgungsbetriebe  
 z. H. Herrn Broll-Bickhardt  
 Schiffbauwerweg 2

28237 Bremen

Bremen, 10. Februar 1994/re

**ANALYSENBERICHT**

Probeneingang: 07.02.94  
 Labor-Nr.: 0402 - 0411

Proben vom 27.01.94

Lab.-Nr./Probenbez.	Parameter	Größe	Meßverfahren	Ergebnis
	BaP <sub>5</sub>		DIN 38409 H51	
402 / Pr. 1		mg/l		223 14:25
403 / Pr. 2		mg/l		207 14:35
404 / Pr. 4		mg/l		212 14:55
405 / Pr. 5		mg/l		153 15:05
406 / Pr. 7		mg/l		149 15:25
407 / Pr. 9		mg/l		96 15:45
408 / Pr. 12		mg/l		58 16:15
409 / Pr. 14		mg/l		63 16:35
410 / Pr. 16		mg/l		95 16:55
411 / Pr. 18		mg/l		66 17:15

BREGAU-INSTITUTE  
 - Institut für analytische Chemie -  
 Dipl.-Chem. Ute Sonneckalb  
 - Institutsleiterin -

Anlage 5

