

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 78 (1986)  
**Heft:** 11-12

**Artikel:** Der BSB5 und der kontinuierliche Kurzzeit-BSB (BSB-M3) im Vergleich  
**Autor:** Köhne, Manfred / Siepmann, Friedrich Wilhelm / Heesen, Dieter te  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940888>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 04.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

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

Manfred Köhne, Friedrich Wilhelm Siepmann und Dieter te Heesen

## 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 Wiedergabegenauigkeit 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.

## Résumé: La DBO<sub>5</sub> et la DBO (DBO-M3) à court terme en comparaison

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 pour-cent. 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 Biochemische 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> zen-

trale 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 5tägigen Analysenzeit nicht herangezogen werden [2, 3, 4].

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

- kurze Analysezeit einschl. Probennahme 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.

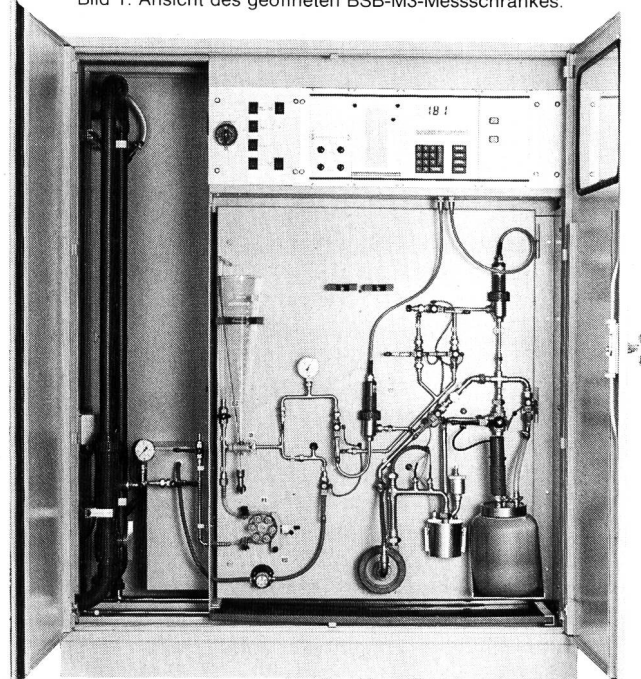
Eine vergleichende Untersuchung von BSB<sub>5</sub> und BSB-M3 ist damit angeraten und notwendig. Unter anderem sollte auch die Frage geklärt werden, inwieweit der BSB-M3 mit dem BSB<sub>5</sub> übereinstimmt.

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 eingeschlossen, ist davon auszugehen, dass die Abwässer

Bild 1. Ansicht des geöffneten BSB-M3-Messschrankes.



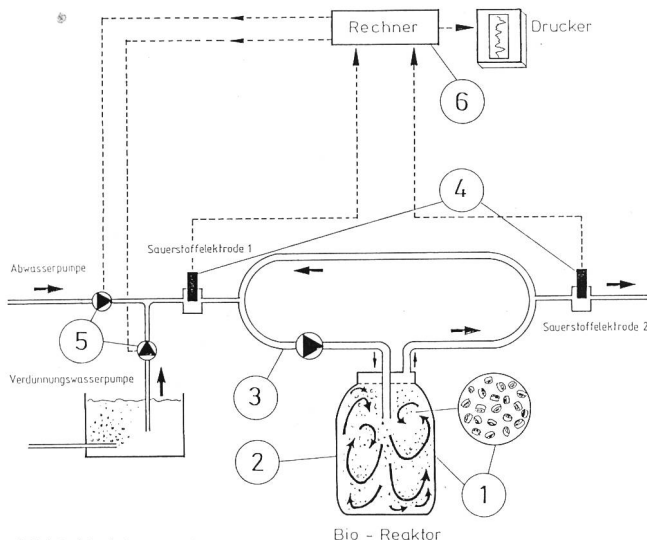


Bild 2. Verfahrensschema.

- 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 Regelsystem 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 etwa drei Minuten. Hinzu kommt eine Verzögerungskonstante von etwa 12 Minuten, wie die Sprungantwort in Bild 3 zeigt.

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 Organismenpopulation. 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 Bioreaktor des BSB-M3-Gerätes stellt sich nun auch die gleiche Mischpopulation ein wie in den BSB<sub>5</sub>-Flaschen. Nach der Adaption dieser Organismenpopulation 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 5000 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].

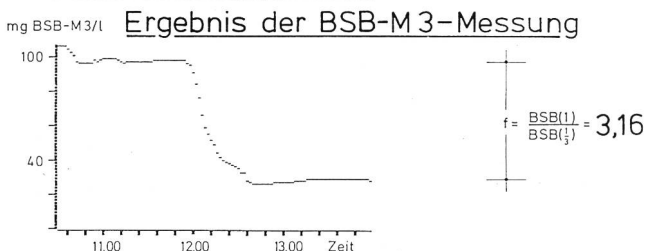
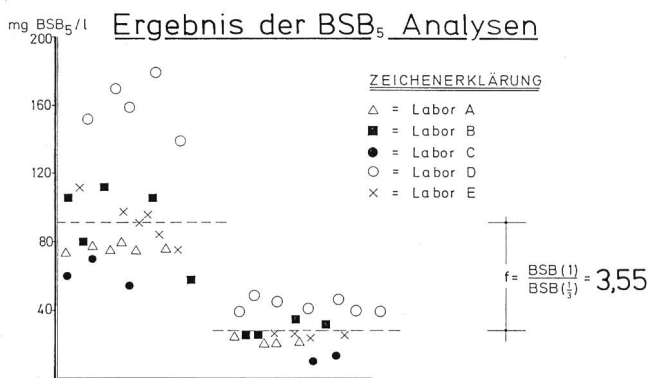
Das Analysengerät besteht im wesentlichen aus folgenden Komponenten (Bild 1):

- 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  $L_k = 5 \text{ mg BSB}_5/\text{l}$  versorgt wird.

Die Einhaltung dieses Nährstoffniveaus wird über den gemessenen Sauerstoffverbrauch ( $\Delta O_2$  der Messsonden)

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



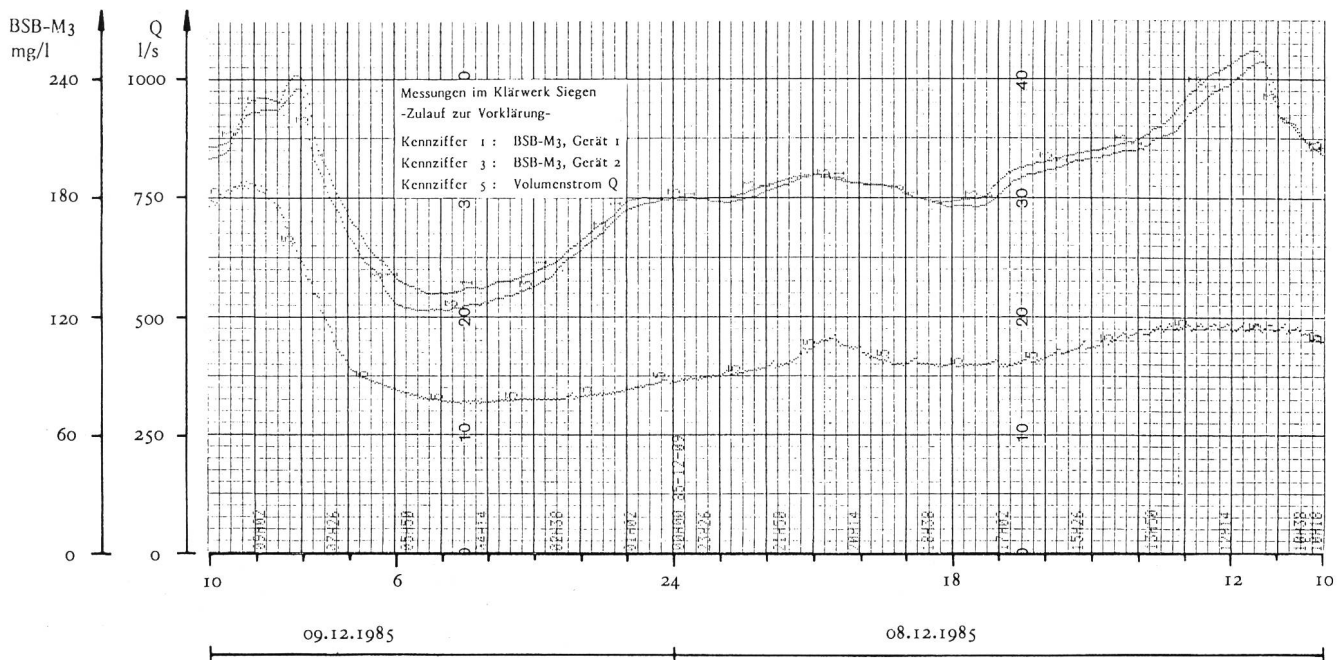


Bild 4. Analysenergebnisse zweier BSB-M3-Geräte bei gleichem Abwasser.

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 des Abwassers, also zur BSB-Bestimmung.

Der Verdünnungsansatz lautet:  $n + 1 = L/L_k$   
 $L$  = Abwasserkonzentration,  $L_k$  = BSB-Konzentration im Bioreaktor.

### Kontroll- und Eichbedingungen

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

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

Abgesetzte Proben							
Labor	Prob.Nr.	BSB 5 (1)	Prob.Nr.	BSB 5 (1/3)	Faktor	$\frac{BSB 5 (1)}{BSB 5 (1/3)}$	
A	1	73	13	24	22	3,45	
	3	78	19	21			
	6	75	76	25			21
	9	80	28	22			
	16	75					
	22	77					
B	3	(218)	15	27	30,5	3,3	
	4	106	16	27			
	5	80	101	17			35
	6	113	18	33			
	7	(55)					
	10	106					
C	E1	60	E10	15	16,5	3,7	
	E4	68	61	E13			18
	E7	55					
D	1	155	22	40	43	3,74	
			23	49			
	8	170	25	46			
	11	160	161	27			42
	13	180	28	45			
	20	140	29	40			
			30	40			
E	1	112	8	27	26	3,50	
	2	97	9	27			
	3	92	91	10			24
	4	95	11	26			
	6	84					
	7	74					
n = 26		$\bar{X} = 98,0$	n = 21	$\bar{X} = 27,6$		3,55	

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 Konzentrationsniveau 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 Plateaus 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 nach

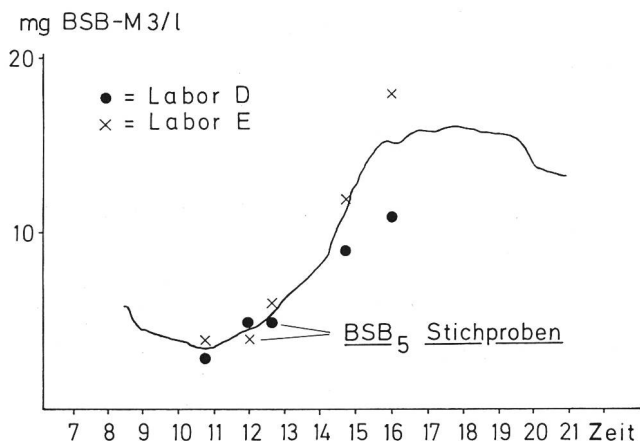


Bild 5. Eichung des BSB-M3 auf den BSB<sub>5</sub> am Auslauf der Nachklärung.

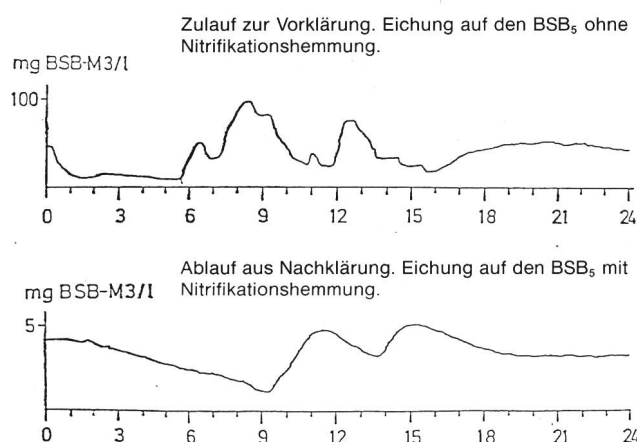


Bild 6. Kontinuierlich gemessene BSB-M3-Konzentrationsganglinie im Zu- und Auslauf der Kläranlage Siegen.

bilden, 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 Bild 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 (Bild 3) sind nur die als abgesetzten Proben gemessenen BSB<sub>5</sub>-Werte aufgenommen.

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 161:61 mg BSB/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 Schwankungsbreite der Ergebnisse für jedes Labor und jedes Konzentrationsniveau getrennt (Tabelle 2).

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.

Tabelle 2. Streubereiche der Labore A bis E.

Labor	Niveau 1	Niveau 2
A	80 : 73 = 1,07	24 : 21 = 1,14
B	113 : 80 = 1,41	35 : 27 = 1,30
C	68 : 55 = 1,24	18 : 15 = 1,20
D	180 : 140 = 1,29	49 : 40 = 1,23
E	97 : 84 = 1,15	27 : 24 = 1,13

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 etwa 5% vom Sollwert ist für den BSB-M3 vertretbar. Bild 4 zeigt die Aufzeichnungen zweier BSB-M3-Messgeräte, die bei gleichem Abwasser parallel betrieben wurden. Die Abweichung bei der Analyseergebnisse beträgt hier maximal etwa 2,5%.

Zur BSB<sub>5</sub>-Untersuchung wurden alle Proben in gleicher Weise geschöpft und gelagert, 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 Freiheitsgrade, 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 15000 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 Samstage, 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.

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 sprunghafte Konzentrationsänderungen können hier nicht auftreten. Bei ausreichender Stichprobendichte können auch hier fehlerhafte Analyseergebnisse eliminiert werden. In Bild 5 ist eine solche Eichung dargestellt. Die BSB<sub>5</sub>-Werte wurden unter Zugabe von ATH zur Nitrifikationsunterdrückung ermittelt. In Bild 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.

Das Tagesminimum beträgt etwa 1, die Maxima etwa 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 erfasst 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.

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.

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

Durch laufende Messungen dieser Art und Integration der Schmutzfrachtganglinie erhält man die täglichen Schmutzfrachten im Zulauf und Ablauf der Kläranlage (Bild 8). Daraus lässt sich über einen gewählten 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 (Bild 8) wurde 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.

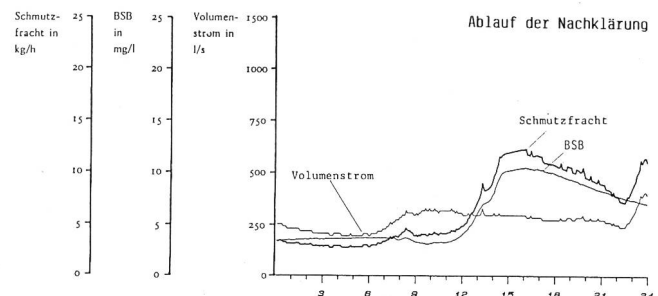
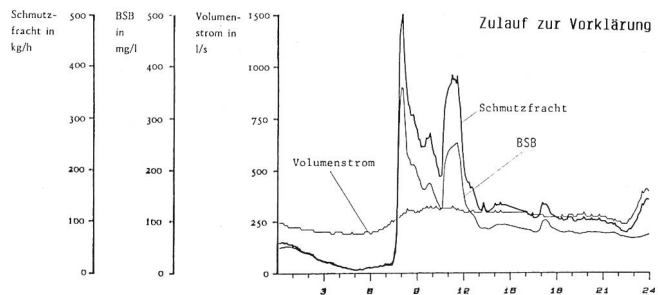


Bild 7. Kontinuierlich gemessene BSB-M3-Konzentrationsganglinie und -Frachtganglinie im Zu- und Auslauf der Kläranlage Siegen.

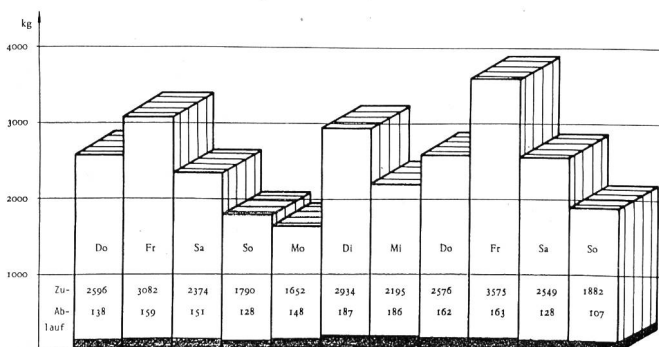
Über die bisher im Rahmen eines Forschungsprojektes erzielten Resultate wurde an anderer Stelle berichtet [7 bis 10].

### 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.

Bild 8. Schmutzfracht im Klärwerk Siegen im Zeitraum vom 23. Mai bis 2. Juni 1985.



## Literatur

- [1] F. Siepman u. M. Teutscher: Abschlussbericht zum F + E-Vorhaben 102-WA161 «Bau und Erprobung eines Messgeräteprototyps zur kontinuierlichen Kurzzeit-BSB- und Toxizitätsmessung», BMFT Abt. Umweltforschung 1984
- [2] R. Wagner: Neue Gesichtspunkte zur Methodik und zur Beurteilung des Verdünnungs-BSB, gwf-wasser/abwasser 118 (1977)
- [3] P. Wilderer, G. Engelmann, H. Schmenger: Kritik am BSB als Verschmutzungsparameter, gwf-wasser/abwasser 118 (1977)
- [4] P. Wilderer, L. Hartmann, J. Janeekova: Kritik an der Verwendung des Langzeit-BSB zur Beurteilung von Rohabwasser, Z.f. Wasser- und Abwasserforschung 3 (1970)
- [5] G. Riegler: 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 Belebtschlammverfahrens in biologischen Abwasserreinigungsanlagen. Beitrag zum 3. Symposium Simulationstechnik ASIM '85, Bad Münster, 1985

[9] H. Gülich, M. Kämpfer und M. Köhne: Modelling 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. Erscheint in: Chemische Industrie 109 (1986)

Adressen der Verfasser: Prof. Dr. Manfred Köhne, Universität Gesamthochschule Siegen, Institut für Mechanik und Regelungstechnik, D-5900 Siegen; Dipl.-Ing. Friedrich Wilhelm Siepman, STIP, Siepman und Teutscher GmbH, Kreuzstrasse 4, D-6107 Reinheim 3; Dr. Dieter te Heesen, Emscher Genossenschaft, Klärwerk Emschermündung, Turmstrasse 44a, D-4220 Dinslaken.

## Refuna – eine gemischt-wirtschaftliche Aktiengesellschaft

Ulrich Fischer

*Die Fernwärmeversorgung Refuna stellt – was oft übersehen wird – nicht nur hinsichtlich der technischen Belange eine Pilotanlage dar; Pionierleistungen sind auch auf den Gebieten Organisation und Finanzierung erbracht worden. Vor allem das Modell einer gemischtwirtschaftlichen Aktiengesellschaft, in welcher Gemeinden und Private Hand in Hand ein solches Vorhaben realisierten, hat weiterhin Beachtung gefunden. Bemerkenswert ist auch die Solidarität unter den Gemeinden, die ihren Ausdruck in einer besonderen Art des Finanzausgleichs findet.*

### Gemischtwirtschaftliche Aktiengesellschaft – zweckmässige Organisationsform

Ziel der Initianten der Refuna war es von Anfang an, ein organisatorisches Modell zu wählen, welches Gemeinden und Privaten das Mitmachen erlaubt, den Gemeinden indessen die Mehrheit sichert. Einerseits bestand die Absicht, dieses Werk in der Bevölkerung der Region stark zu verankern und von ihr mittragen zu lassen, andererseits wollte man die Beteiligung potenter und auf diesem Gebiet erfahrener Firmen ermöglichen.

Für die organisatorische Bewältigung einer Fernwärmeversorgung bietet unsere Rechtsordnung verschiedene Formen an, die alle ihre Vor- und Nachteile aufweisen. Wären nur Gemeinden an dieser Unternehmung beteiligt, so hätte sich der im aargauischen Gemeinderecht geregelte Gemeindeverband aufgedrängt. Dieser kam indessen nicht in Frage, weil in diesem Fall eine private Beteiligung ausgeschlossen gewesen wäre. Nachdem die Unternehmung starke Züge einer regionalen Selbsthilfeorganisation aufweist, wäre auch die Genossenschaft denkbar gewesen. In der Genossenschaft wird indessen zwingend nach Köpfen abgestimmt, so dass bei einer breiten Beteiligung privater Interessenten die Gemeinden in die Minderheit versetzt worden wären, was man ausschliessen wollte. So blieb denn letztlich die Rechtsform der Aktiengesellschaft, mit welcher allen Randbedingungen Rechnung getragen werden konnte. Die acht Gründergemeinden verfügen über eine Aktienmehrheit von 51 %. In die restlichen 49 % teilen sich grosse und kleine Bezüger sowie Fördererfirmen. Als interessantes Detail ist anzumerken, dass staatliche Institutionen wie das Aargauische Elektrizitätswerk oder der Bund über das EIR/SIN zu den sogenannten «privaten» Aktionären gehören und die Gemeindemehrheit von 51 % unange-

tastet lassen. Insgesamt zählt die Refuna AG über 50 Aktionäre. Das Ziel wurde somit erreicht: Refuna ist eine in der Region fest verankerte und von der Bevölkerung getragene Einrichtung.

Die Gemeinden verfügen im 15köpfigen Verwaltungsrat über acht Sitze und damit auch in diesem Gremium über die Mehrheit. Als Präsident amtiert ein Gemeindevertreter. Der Verwaltungsratsausschluss besteht aus sechs Mitgliedern, von denen jedes ein Ressort betreut und damit ganz persönlich wesentliche Aufbauarbeit leistet. Das Mandat eines Verwaltungsausschussmitglieds verlangt bei der Refuna AG demnach eine bedeutend intensivere Mitarbeit, als dies bei anderen Aktiengesellschaften der Fall ist.

Die Geschäftsführung ist in ein Ressort Technik und ein Ressort Administration unterteilt. In der Aufbauphase wollte man darauf verzichten, eine Organisation mit eigenem Personal auf die Beine zu stellen, und zog es vor, diese Aufgaben erfahrenen Unternehmungen zu übertragen. In diesem Sinn wurde für den Bereich Technik ein Vertrag mit den Nordostschweizerischen Kraftwerken AG und für den Bereich Administration ein solcher mit der Motor-Columbus AG abgeschlossen. In der nächsten Zeit – nachdem der Start gelungen ist – sollen diese Aufgaben gesellschaftseigenen Gremien übertragen werden.

### Finanzierung zu günstigen Konditionen

Das Fernwärmenetz kann als langfristige Infrastrukturinvestition betrachtet werden, die eine ähnliche Finanzierung erlaubt wie bei einem Kraftwerk. Das Verhältnis von Eigenkapital zu Fremdkapital kann deshalb bis 1 zu 4 lauten. Bei Investitionsaufwendungen der Refuna AG von gegen 50 Mio Franken konnte somit das Grundkapital der Gesellschaft auf 10 Mio Franken festgelegt werden, womit Fremd-

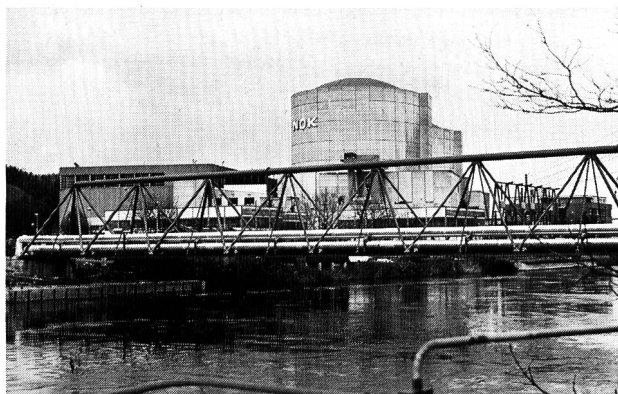


Bild 1. Rohrbrücke über den Oberwasserkanal des Wasserkraftwerkes Beznau mit den Wärmeleitungen des Refuna-Netzes.