

# BETRIEBSERFAHRUNGEN AUS DER BEHANDLUNG EINES EINSEITIG HOCHBELASTETEN INDUSTRIEABWASSERS MIT DEM SBR-VERFAHREN

S. Buß, G. Eckerbusch, J. Einfeldt, H.-O. Günter und T. Werner

## Zusammenfassung

Bereits 1984 wurden von der Technischen Universität Hamburg-Harburg, Prof. Dr.-Ing. P. A. Wilderer, Versuche zur Reinigung eines mit Polysacchariden einseitig hochbelasteten Abwassers aus der Gummi-Arabicum-Verarbeitung nach dem SBR-Verfahren durchgeführt. Auf Grundlage dieser Versuche wurde 1985/86 ein SBR-Reaktor für die Behandlung einer Abwassermenge von 20 m<sup>3</sup>/d errichtet und betrieben. Ein kontinuierliches Festbettverfahren zur Reinigung brachte dagegen nicht den gewünschten Erfolg. Grundlage für die Erweiterungsplanung mit 4 unabhängig voneinander arbeitenden SBR-Reaktoren bildeten Abbaubarkeitstests, kinetische Untersuchungen und die Betriebserfahrungen zur Nährstoffdosierung aus dem provisorischen Aufstau-Betrieb der alten Festbettanlage. Aus rd. 14 Jahren Betriebserfahrung in der Behandlung dieses speziellen Industrieabwassers entstand eine einfache, leicht zu steuernde und flexible Anlage. Vorgestellt werden die Dimensionierung, konstruktive Details und Erfahrungen aus der Nährstoffdosierung. Der Reinigungsgrad dieses einseitig hochbelasteten Industrieabwassers beträgt > 97 % und ermöglicht eine Direkteinleitung.

## Schlagwörter

SBR-Verfahren, hochbelastetes Industrieabwasser, Nährstoffdosierung, Betriebserfahrungen, kleine Kläranlagen

## 1 Einleitung

Auf dem Gelände einer ehemaligen Molkerei errichtete die Fa. Wolff & Olsen im Jahr 1984 ihren Produktionsbetrieb zur Verarbeitung von „gummi arabicum“. Die Entsorgung des auf dem Gelände anfallenden Abwassers erfolgte zum damaligen Zeitpunkt über eine technisch belüftete Klärteichanlage zur Direkteinleitung. Da die ursprünglich für Molkereiabwasser ausgelegte Klärteichanlage dieses spezielle Industrieabwasser nicht ausreichend reinigte, wurden von der TU Hamburg-Harburg, Prof. Dr.-Ing. P. A. Wilderer, Versuche zur Reinigung nach dem SBR-Verfahren durchgeführt. Auf Grundlage dieser positiv verlaufenen Versuche wurde 1985/86 ein SBR-Reaktor für die Behandlung einer Abwassermenge von 20 m<sup>3</sup>/d

errichtet und der Klärteichanlage vorgeschaltet. Zum Ausgleich der zufließenden Abwassermengen war ein 110 m<sup>3</sup> fassender Vorlageteich vorhanden. Über eine Betriebszeit von 3 Jahren konnten wichtige Daten für die Behandlung dieses speziellen Industrieabwassers gewonnen werden.

Produktionserweiterungen führten allerdings schnell zu einem Anstieg der anfallenden und zu behandelnden Schmutzwassermengen. Trotz einer sich anbietenden Nachrüstung mit einem weiteren SBR-Reaktor wurde 1990/91 der Versuch unternommen, die Anlage zu einer 2-straßigen kontinuierlich durchflossenen Belebungsanlage mit eingebauten Festbetten umzurüsten und zu erweitern. Diese Umrüstung schlug leider fehl und die vorgegebenen Ablaufwerte konnten mit der neu errichteten Anlage (Auslegung für 40 m<sup>3</sup>/d) bei weitem nicht eingehalten werden.

Daraufhin wurde zunächst eine der beiden kontinuierlich durchflossenen Straßen der Festbetтанlage für einen chargenweisen SBR-Betrieb umgerüstet. Die Ablaufergebnisse wurden soweit verbessert, daß schon kurz darauf auch die andere Straße umgerüstet wurde und somit das vorher für die kontinuierliche Anlage vorgesehene belüftete Volumen nun für den SBR-Betrieb zur Verfügung stand. Mit dieser zunächst provisorischen Maßnahme konnten die Ablaufanforderungen für einen Zeitraum von weiteren rd. 5 Jahren eingehalten werden. Wichtige zusätzliche Erfahrungen zu den erforderlichen Nährstoffdosiermengen und Zykluszeiten bei unterschiedlichen Produktionsverhältnissen konnten währenddessen gewonnen werden.

Als Sanierungsmaßnahme für den vorhandenen Vorlageteich wurde dieser später durch ein neues Misch- und Ausgleichsbecken mit rd. 250 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen ersetzt. Bis zum Jahre 1996 stiegen die anfallenden Schmutzwassermengen auf rd. 50 bis max. 70 m<sup>3</sup>/d an, so daß die Erweiterung der provisorisch betriebenen SBR-Anlage erforderlich wurde. Aufgrund der gewonnenen betrieblichen Erfahrungen sollte eine aus 4 SBR-Reaktoren bestehende Behandlungsanlage zur Reinigung von bis zu 80 m<sup>3</sup>/d Abwasser errichtet werden. Da für dieses spezielle Industrieabwasser die üblichen Bemessungsansätze nicht anzuwenden waren und keine vergleichbare Anlage bekannt war, wurden von der Genehmigungsbehörde zusätzliche Abbauuntersuchungen gefordert. Nachfolgend werden die Grundlagen für die Auslegung, die vereinfachte Konstruktion und Steuerung sowie Betriebsergebnisse nach einjährigem Betrieb der neuen Anlage vorgestellt.

## **2 Abwasserzusammensetzung**

Das Abwasser stammt aus der Aufbereitung und Veredelung der Naturprodukte Gummi Arabicum (Baumharz) und Honig, die z.B. beim Spülen verschiedener Trenn- und Mischbehältnisse anfallen. Die anfallende Abwassermenge beträgt werktäglich rund 50 - 70 m<sup>3</sup>/d. Die organischen Inhaltsstoffe des Prozeßabwassers bestehen überwiegend aus Mono- und Polysacchariden aus den Rückständen der Verarbeitungsrohstoffe. Weitere Zusätze während der Verarbeitung sind Trinkwasser und zur Behälterreinigung Natronlauge bzw.

Phosphorsäure. Notwendige Desinfektionsmaßnahmen werden mit Wasserstoffperoxid durchgeführt.

Die Zusammensetzung des Industrieabwassers variiert in Abhängigkeit des Produktionsprozesses. Die folgenden charakteristischen Werte wurden gemessen:

Tabelle 1: Abwassercharakteristik

<b>Parameter</b>	<b>Wertebereich</b>	<b>im Mittel</b>
Abwasser-Tagesmenge [m <sup>3</sup> /d]	50 - 70	
Chemischer Sauerstoffbedarf CSB [mg/l]	5.000 - 12.000	8.000
Abfiltrierbare Stoffe [mg/l]		400
Ammonium NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	n.n.	n.n.
Organisch gebundener Stickstoff N <sub>org</sub> [mg/l]	25 - 50	35
Phosphat PO <sub>4</sub> -P [mg/l]	25 - 50	40
pH	6 - 8	6,3

Der Anteil des gelösten CSB beträgt etwa 90 % des gesamten CSB. Die mittleren Werte (rechte Spalte) beschreiben die Abwasserbelastung im Ablauf des Ausgleichtanks. Das C / N / P - Verhältnis liegt bei 200 / 1 / 1, für die biologische Behandlung ist eine Nährstoffdosierung erforderlich.

Die folgenden Überwachungswerte wurden von der örtlichen Wasserbehörde vorgegeben:

Tabelle 2: Überwachungswerte

<b>Parameter</b>	<b>Überwachungswert</b>
Spitzenabfluß zum Vorfluter [l/s]	1
Chemischer Sauerstoffbedarf CSB [mg/l]	100
Biologischer Sauerstoffbedarf BSB <sub>5</sub> [mg/l]	16
Gesamtstickstoff N <sub>ges</sub> [mg/l]	25
Ammonium-Stickstoff NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	10
Gesamt-Phosphor P <sub>ges</sub> [mg/l]	3
pH	6 - 8,5

### 3 Dimensionierung

Die 1984/85 von Prof. Dr.-Ing. P. A. Wilderer durchgeführten Versuche und der anschließend entsprechend ausgelegte 1. SBR-Reaktor sowie die Betriebsergebnisse der umgebauten Festbetтанlage ließen die Annahme einer hohen Abbaugeschwindigkeit zu. Dennoch waren bei den anfallenden Abwassermengen die nachgeschalteten Teiche als zweite Stufe zum Restabbau des CSB auf betriebsstabile Werte unterhalb von 100 mg/l (s. Tabelle 2) erforderlich. Die Auslegung der erweiterten 4-straßigen SBR-Anlage erfolgte im Entwurf aus einer Hochrechnung des vorhandenen Volumens ( $V = 80 \text{ m}^3$  für eine Abwassermenge von  $40 \text{ m}^3/\text{d}$ ) auf die zu erwartenden zukünftigen Zulaufmengen bei unveränderten Konzentrationen (Ing.-Büro Buß und Hempel, 1996) und wurde für die Tagesmenge von max.  $80 \text{ m}^3/\text{d}$  auf  $V_{\text{SBR}} = 160 \text{ m}^3$  festgelegt. Ein erforderliches Mindestschlammlalter für den weitgehenden biologischen Abbau, um eine Dimensionierung entsprechend dem später erschienenen ATV-Merkblatt M 210 (ATV, 1997) vorzunehmen, konnte zum Entwurfszeitpunkt nicht angegeben werden. Abb. 1 zeigt das Verfahrensfliießbild der SBR-Anlage.

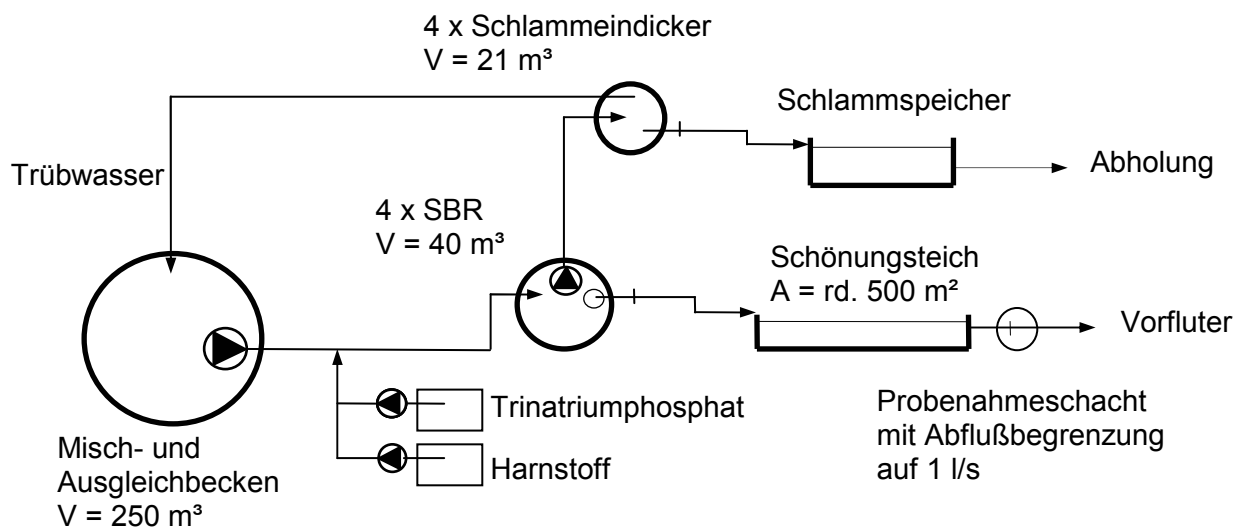


Abb. 1: Vereinfachtes Verfahrensfliießbild der 4-straßigen SBR-Anlage

Im Rahmen des wasserrechtlichen Genehmigungsverfahrens wurden anschließend von der Wasserbehörde Abbauntersuchungen gefordert. Es wurden Abbaubarkeitsversuche nach DIN EN 29888 durchgeführt. Die eingesetzte Schlammpopulation stammte aus der vorhandenen Betriebskläranlage. Bei den eingesetzten Proben handelte es sich um Abwasser aus dem inzwischen bereits von  $110 \text{ m}^3$  auf  $250 \text{ m}^3$  vergrößerten Misch- und Ausgleichsbecken im Zulauf zur Betriebskläranlage. Durch eine Aufenthaltszeit von mindestens einem Tag im Misch- und Ausgleichsbecken konnte bereits eine Hydrolyse zum Zerfall in leichter biologisch eliminierbare Abbauprodukte stattfinden. An den Ergebnissen

der Batch-Abbauversuche mit den verschiedenen Testansätzen ist eine sofort einsetzende CSB-Elimination festzustellen. Die Elimination in den ersten 3 Stunden ist zu einem Großteil auf Adsorptionsvorgänge zurückzuführen. Der weitere zügige Abbau bestätigte jedoch die vorhandene Adaption der eingesetzten Schlammpopulation an das Substrat. Im Testansatz konnte ein Abbaugrad von nahezu 100 % erreicht werden.

Bereits früher durchgeführte Belüftungsversuche mit Nährstoffzugabe in geringem Überschuß hatten gezeigt, daß im Laborreaktor im Batchbetrieb mit 2 - 3 g/l Trockensubstanz spätestens nach 13 Stunden keine nennenswerte weitere Verringerung des TOC-Gehaltes mehr erfolgt. Sauerstoffmessungen aus den Versuchen zeigten, daß in den ersten 2 Stunden eine sehr hohe Sauerstoffzehrung vorliegt, die anschließend langsam sinkt und nach etwa 15 Stunden auf konstantem Niveau verharrt.

Daher muß eine Belüftungszeit von bis zu 15 Stunden gewählt werden, damit nach einer relativ zügigen CSB-Elimination aus der Flüssigphase auch der Abbau des zunächst nur adsorbierten Substrates erfolgt.

Für ein befriedigendes Absetzverhalten des Belebtschlammes war es in den Laborversuchen wichtig, eine ca. 2-stündige Anaerobphase vorzuschalten. Gleichzeitig wurde damit auch eine Hydrolyse des Gummi Arabicum erreicht, die den Abbau deutlich beschleunigte.

Aus der Betriebserfahrung mit der Festbettanlage war bekannt, daß eine kontinuierliche Behandlung im Durchlauf nach Mengenausgleich deutlich schlechtere Ergebnisse liefert als ein Chargenbetrieb mit Mengenausgleich und einer unbelüfteten Füllphase (Versuche im technischen Maßstab). In beiden Fällen war bereits eine Hydrolysephase im vorgeschalteten Ausgleichsbecken gegeben. Im Festbettbetrieb gab es keine unbelüftete Phase für die Biomasse, die unbelüftete Phase im SBR-Betrieb konnte auf eine Stunde verkürzt werden. Beim SBR-Betrieb liegt mit Einschalten der Belüftung außerdem ein „aerober Selektor“ vor, der die Absetz-Eigenschaften zusätzlich begünstigt.

Unter Ansatz einer Belüftungszeit von 15 h ist eine Zyklusdauer einschließlich unbelüfteter Füllzeit, Absetzen und Leeren von  $t = \text{rd. } 17,5 \text{ h}$  erforderlich. Damit ergibt sich für eine Bemessung der SBR-Anlage nach der Formel

$$V_{\text{SBR}} = Q_d \times t / (24 \times f_{\text{aus}})$$

bei einem Abwasseranfall von zukünftig 60 bis 80 m<sup>3</sup>/d und einem Austauschfaktor  $f_{\text{aus}}$  von 0,5 ein Reaktorvolumen von

$$V_{\text{SBR}} = (60 \text{ bis } 80) \text{ m}^3/\text{d} \times 17,5\text{h} / (24 \text{ h/d} \times 0,5) = 90 \text{ bis } 120 \text{ m}^3.$$

Die empirische Bemessung des Entwurfes auf ein Volumen von insgesamt 160 m<sup>3</sup> schien damit plausibel und bietet eine gewisse Sicherheit gegenüber Abweichungen von den optimalen Randbedingungen oder eventuell hemmenden Abwasser-Inhaltsstoffen.

## **4 Konstruktion**

Die SBR-Anlage muß flexibel im Einsatz der Reaktoren, der Belüftungsaggregate, Pumpen und Nährstoffdosierung betrieben werden können. In Betrieb sind derzeit drei der geplanten vier SBR-Reaktoren.

### **4.1 Anlagensteuerung**

Über eine zentrale Steuerung im neuen Betriebsgebäude kann die maschinentechnische Ausrüstung für den Vorlagebehälter und die 4 SBR-Reaktoren weitgehend automatisch wie auch von Hand bedient werden.

Für den normalerweise automatischen Ablauf beim Füllen, Belüften und Entleeren wurde ein Zeitschema mit großzügig bemessenen 24-Stunden-Zyklen voreingestellt, welches auf der mehrjährigen Erfahrung in der Behandlung dieses speziellen Industrieabwassers beruht. Dieses Zeitschema kann jederzeit über eine Änderung der jeweiligen Zeitglieder der SPS verändert werden.

### **4.2 Beschickungspumpen**

Die 4 SBR-Reaktoren werden durch 4 unabhängig voneinander arbeitende Zulauf-Tauchpumpen mit einer maximalen Leistung von jeweils ca. 40 m<sup>3</sup>/h befüllt. Alle Rohrleitungen sind nicht isoliert und werden außen an Behältern und Gebäuden entlang geführt. Sie sind jeweils mit stetigem Gefälle in Richtung der Pumpen versehen und laufen nach dem Fördervorgang wieder leer. Außentemperaturen von -10 bis -15 °C führten zu keinerlei Problemen.

Die Beschickungsmenge der SBR-Reaktoren wird über die Füllstandsmessung in den SBR-Reaktoren gesteuert. Bei Erreichen eines oberen Füllstandes schalten die Beschickungspumpen automatisch ab. Um den Ausfall der Füllstandsmessung abzusichern, ist diesem Signal ein Zeitsignal der SPS überlagert, welches die Zulaufpumpe nach einer vorgegebenen Höchstlaufdauer abschaltet.

### **4.3 Nährstoffdosierung**

Zum weitestgehenden biologischen Abbau der organischen Verbindungen sind ausreichende Mengen der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor erforderlich, die zudosiert werden müssen. Bewährt hat sich die Zugabe in Form von

- Harnstoff und
- Trinatriumphosphat-12-Hydrat.

Die basischen Nährstoffverbindungen neutralisieren das leicht saure Abwasser. Damit wird gleichzeitig eine Einhaltung der pH-Ablaufwerte von 6,5 bis 9,5 erreicht.

Die 4 Abwassertauchpumpen fördern das Abwasser aus dem Ausgleichbecken in die 4 SBR-Reaktoren. Die Förderleitung durchläuft das neue Betriebsgebäude, in dem auch die

Dosierpumpen und die 1,1 m<sup>3</sup>-Behälter der Harnstoff- und Trinatriumphosphat-12-Hydrat-Lösungen stehen. Dosiert wird innerhalb des Gebäudes während der SBR-Beschickungsdauer in die Zulaufleitung zum SBR. Die dosierte Nährstoffmenge kann entweder über die Länge der entsprechenden Dosier-Zeitglieder oder über eine Hubverstellung der Dosierpumpen an unterschiedliche CSB-Konzentrationen im Ausgleichsbecken angepaßt werden.

#### 4.4 Rühraggregate

Mit dem Befüllen wird das in jedem Behälter befindliche, in fester Höhe montierte Rühraggregat (vgl. Abb. 2) in Betrieb gesetzt. Die Laufzeit ist einstellbar, sollte aber mit dem Beginn der Belüftungszeit enden.

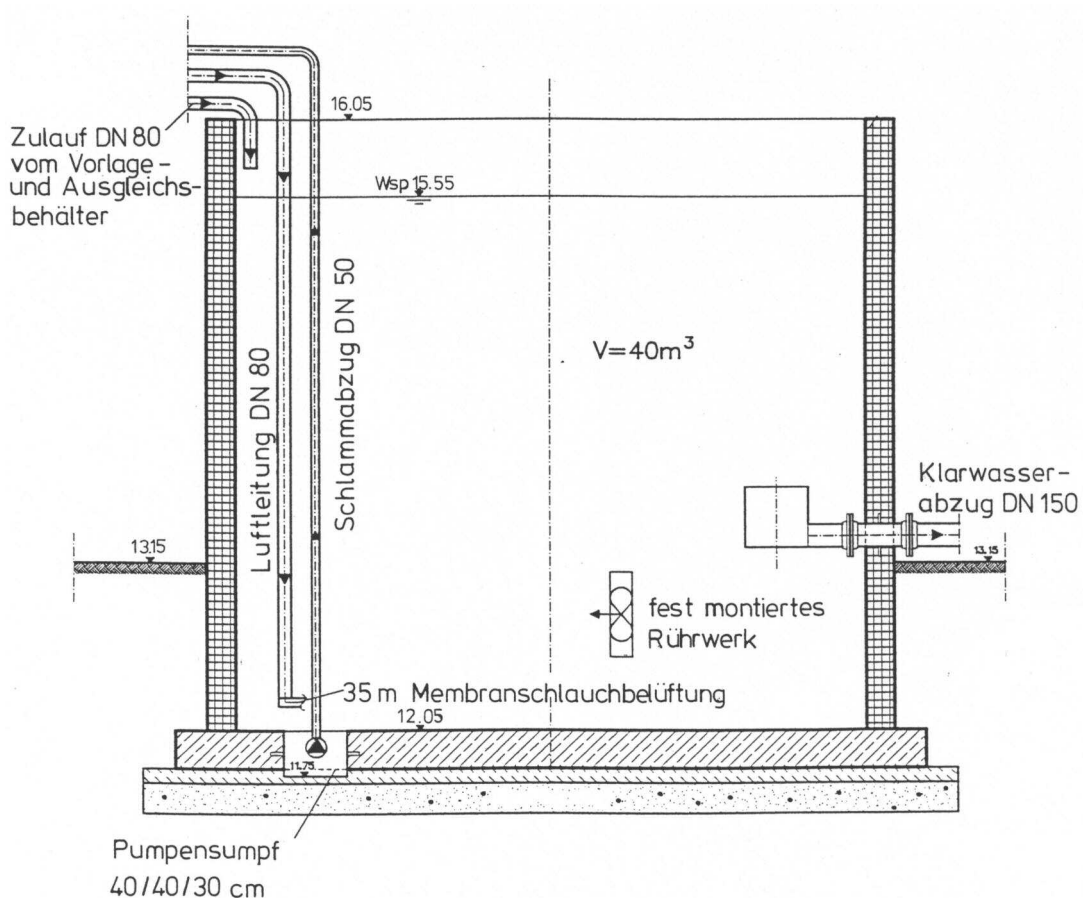


Abb. 2: Schnittzeichnung SBR-Reaktor

#### 4.5 Belüftung

Die Belüftung der SBR-Reaktoren ist steuerbar über polumschaltbare Gebläse. Aus Erfahrung und zur Absicherung eines möglichst kurzen Reinigungszyklus wird während des Belüftungszyklus normalerweise die höhere Drehzahl eingestellt. Für die Zwischenbelüftung während längerer Pausenzeiten (SBR-Reaktor in Wartestellung vor der nächsten Befüllung)

kann zur Energiekostenminimierung von Hand auf die geringere Gebläse-Drehzahl gewechselt werden.

Die Belüftungsphase endet nach einer vorgegebenen Zeitdauer. Diese ist derzeit auf 20 Stunden eingestellt, so daß zusammen mit Befüllungs-, Absetz- und Entleerungszeiten sowie einer kurzen Wartezeit vor dem neuen Zyklus eine Zyklusdauer von 24 Stunden erreicht wird.

Falls am Ende des Zyklus nicht genügend Abwasser im Vorlagebehälter ist, setzt nach einer Wartezeit von 2 Stunden eine Zwischenbelüftung ein. Diese versorgt den Belebtschlamm mit Sauerstoff, bis wieder genügend Abwasser im Vorlagebehälter vorhanden ist und ein neuer Befüllvorgang starten kann.

#### **4.6 Absetzen und Entleeren**

Nach der Belüftungsphase setzt der Absetzvorgang ein: Belüftung und Rührwerk sind ausgeschaltet, der Schlamm setzt sich ab und nach einer vorgegebenen Zeitdauer (1 Stunde) wird der entstandene Überschussschlamm über die Vorgabe der Pumpenlaufzeit automatisch abgezogen. Danach wird die Ablaufklappe geöffnet und der SBR-Reaktor läuft bis zu seinem eingestellten Minimalfüllstand leer. Das Signal „Klappe zu und Min.-Füllstand“ setzt alle Ablaufzeiten auf „0“ zurück. Der Ablauf ist fest in etwa der halben Behälterhöhe angebracht. Ein früher vorhandener schwimmender Abzugstrichter hatte durch ständige Versprödung der flexiblen Schlauchverbindungen immer wieder zu Leckagen geführt.

#### **4.7 Überschussschlamm**

Der Überschussschlamm wird in die 4 vorhandenen Rundbehälter mit je 21 m<sup>3</sup> Volumen der alten Kläranlage gepumpt und dickt dort ein. Trübwasser kann nach Bedarf in den Vorlagebehälter der SBR-Anlage zurückgepumpt werden. Der eingedickte Schlamm wird in einem weiteren Speicherbecken bis zur Entsorgung in die Landwirtschaft gestapelt.

### **5 Betrieb und Ergebnisse**

Die Kläranlage der Fa. Wolff & Olsen weist einen durch eine Lochblende begrenzten Spitzenabfluß zum Vorfluter von 1 l/s bzw. 3,6 m<sup>3</sup>/h auf. Die beschriebene Konstruktion dieser „kleinen Kläranlage“ ist auf Einfachheit und geringen Wartungsumfang ausgerichtet.

Die derzeitige Betriebsweise mit 3 Reaktoren, einem Austauschfaktor  $f_{\text{aus}}$  von 0,5 und einer Zyklusdauer von 24 Stunden ermöglicht die Behandlung von

$$Q_d = 120 \text{ m}^3 \times (24 \text{ h/d} \times 0,5) / 24 \text{ h} = 60 \text{ m}^3/\text{d.}$$

und ist damit ausreichend für die derzeit auf i.M. 50 m<sup>3</sup>/d ausgeglichenen Abwassermengen (incl. Trübwasser aus der Schlammeindickung). Die Trockensubstanzgehalte (TS) im abgesetzten Schlamm schwanken zwischen 8 und max. 15 g/l.

Der Überschussschlammabzug erfolgt so, daß im gefüllten Reaktor ein Vergleichsschlammvolumen von 300 - 500 ml/l vorliegt: Am Ende eines Zyklus wird der Schlammspiegel auf ca. 40 % Füllhöhe abgesenkt, der Abzug der Klarwasserphase erfolgt nach Sichtkontrolle. Ein automatischer Abzug hat sich in der Praxis nicht bewährt. Bei

erhöhtem Überschussschlammanfall oder einer Verschlechterung des Schlammindex ISV kommt es vor, daß der Schlamm Spiegel nicht unter den Klarwasserabzug absinkt. In diesem Fall muß der Schlamm Spiegel durch erhöhten Schlammabzug gesenkt werden. Die Eindicker können unabhängig vom Zyklus eine erhöhte Schlammmenge aufnehmen und gewährleisten eine längere Eindickzeit. Das bei schlechtem ISV vermehrt anfallende Trübwasser der Nacheindickung wird in das Ausgleichsbecken zurückgeleitet.

Aus den vorhandenen Betriebsaufzeichnungen kann der tatsächliche Überschussschlammabzug nur sehr überschlägig abgeschätzt werden, er schwankt normalerweise zwischen 4 und 10 m<sup>3</sup> je SBR-Charge. Bei TS-Gehalten von 8 bis 15 g/l ergeben sich abgezogene TS-Frachten von

$$\begin{aligned}\dot{U}_{TS} &= 4 \text{ m}^3 \times 15 \text{ kg/m}^3 \text{ bis } 10 \text{ m}^3 \times 8 \text{ kg/m}^3 \\ &= 60 \text{ bis } 80 \text{ kgTS}\end{aligned}$$

je SBR-Charge, daraus ergibt sich eine spezifische Überschussschlammmenge von

$$\begin{aligned}\dot{U}_{CSB} &= (60 \text{ bis } 80 \text{ kgTS}) / (20 \text{ m}^3 \times 8 \text{ kgCSB/m}^3) \\ &= 0,4 \text{ bis } 0,5 \text{ kgTS/kgCSB}\end{aligned}$$

bzw. ein Schlammalter der Größenordnung von

$$\begin{aligned}t_{TS} &= \text{vorhandene Schlammmenge im Reaktor} / \text{Überschussschlamm je Charge} \\ &= (8 \text{ bis } 15 \text{ kgTS/m}^3) \times 20 \text{ m}^3 / (20 \text{ m}^3/\text{d} \times 8 \text{ kgCSB/m}^3 \times (0,4 \text{ bis } 0,5 \text{ kgTS/kgCSB})) \\ &= 2 \text{ bis } 4 \text{ Tagen}\end{aligned}$$

Bei schlechtem Schlammindex und niedrigen TS-Gehalten im abgezogenen Überschussschlamm sowie Eindickung auf 1,5 % im Nacheindicker können sich rückgeführte Trübwasser-Mengen von bis zu

$$\begin{aligned}Q_{\text{recycle}} &= 10 \text{ m}^3 - (80 \text{ kgTS} / 15 \text{ kg/m}^3) \\ &= \text{rd. } 5 \text{ m}^3\end{aligned}$$

je SBR-Charge bzw. bei drei Reaktoren 15 m<sup>3</sup>/d ergeben. Dieser interne Kreislauf erhöht die hydraulische Belastung im Zulauf.

Zu Beginn des Zyklus sind je nach den vorliegenden ISV-Werten des vorausgegangenen Zyklus TS-Gehalte im aufgefüllten Reaktor von

$$\begin{aligned}TS_{R,0} &= (8 \text{ bis } 15 \text{ kgTS/m}^3) \times 40 \text{ m}^3 \times 0,4 / 40 \text{ m}^3 \\ &= 3 \text{ bis } 6 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

vorhanden, die durch Schlammzuwachs von 60 bis 80 kgTS während eines Zyklus auf

$$TS_{R,e} = ((40 \text{ m}^3 \times 3 \text{ bis } 6 \text{ kg/m}^3) + (60 \text{ bis } 80 \text{ kg})) / 40 \text{ m}^3$$

$$= 4,5 \text{ bis } 8 \text{ kg/m}^3$$

anwachsen. Damit ergibt sich eine Anfangs-Schlammbelastung der Größenordnung von

$$\begin{aligned} B_{\text{TS,CSB}} &= (20 \text{ m}^3/\text{d} \times 8 \text{ kgCSB/m}^3) / (40 \text{ m}^3 \times (3 \text{ bis } 6 \text{ kgTS/m}^3)) \\ &= \text{rd. } 0,7 \text{ bis } 1,3 \text{ kgCSB}/(\text{kgTS} \cdot \text{d}), \end{aligned}$$

die im Laufe des Reinigungsprozesses durch Substratabbau und Biomassenzuwachs entsprechend sinkt.

Hochbelastete vorgeschaltete Kontaktbecken führen bei Kaskadenströmungen zu ausgeprägten Substratgradienten und sind erfahrungsgemäß zur Selektion von gut absetzbarem belebten Schlamm geeignet, sie werden daher als Selektor bezeichnet. Nach einem Arbeitsbericht der ATV [ATV, 1998] muß damit gerechnet werden, daß bei Schlammaltern unter 5 Tagen oder Schlammbelastungen über  $0,5 \text{ kgCSB}/(\text{kgTS} \cdot \text{d})$  das über die Selektorwirkung gespeicherte Substrat anschließend nicht in ausreichendem Umfang abgebaut werden kann und die Selektorwirkung reduziert wird. Diese Angaben beziehen sich auf hintereinander geschaltete Mischbecken mit der Charakteristik einer teilweise rückvermischten Strömung. Beim SBR liegen im Allgemeinen höhere Konzentrationsgradienten vor, wie sie sonst z.B. lediglich bei einer idealen Pfropfenströmung zu erzielen sind. Offenbar ist die Selektorwirkung beim derzeitigen SBR-Betrieb ausgeprägter als früher beim Betrieb der Festbetтанlage. Genauere Festlegungen sind anhand der Betriebsergebnisse nicht möglich, da es auch bei ungenügender Nährstoffzugabe von Stickstoff oder Phosphor zu betrieblichen Problemen in Mohnsen kommen kann: In diesen Fällen steigt der Schlammindex plötzlich an und es können des öfteren nur die niedrigeren TS-Gehalte von  $4 \text{ kgTS/m}^3$  gehalten werden. Die Dosierung der benötigten Nährstoffe erfolgt gesteuert auf Basis der vorliegenden Erfahrungswerte. Werden aufgrund von Produktionsschwankungen erhöhte Zulaufwerte erwartet, so wird die Nährstoffdosierung entsprechend des erwarteten Bedarfes erhöht. Kritische Chargen werden grundsätzlich im Handbetrieb gefahren, ein Ablassen erfolgt erst nach einer abschließenden CSB-Kontrolle. In Abbildung 3 auf der folgenden Seite sind als Beispiel die Ablaufwerte des SBR-Reaktors 3 für die Zeit von März bis Mai 1999 aufgetragen.

Die Probenahme erfolgte aus dem volldurchmischten Reaktor noch während der Belüftungszeit, die CSB-Werte wie auch die Ammonium- und  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Werte sind aus der zentrifugierten Probe bestimmt worden. Die Abb.3 zeigt regelmäßige CSB-Werte (nicht feststofffrei) im Bereich um  $200 \text{ mg/l}$ , die zu Ablaufwerten am Ablaufpuffer Schönungsteich von unter  $100 \text{ mgCSB/l}$  führen. Bei Nährstoffüberdosierung sind im Reaktor CSB-Werte bis zu  $70 \text{ mg/l}$  in der zentrifugierten Probe erreichbar, allerdings ist eine Einhaltung der Nährstoffüberwachungswerte in diesem Betriebsbereich äußerst schwierig, so daß im Normalbetrieb eher mit erhöhten CSB Werten und geringem Nährstoffmangel gefahren wird.

Als negative betriebliche Begleiterscheinung können dabei dann Nährstoffmangelerscheinungen wie Schaumbildung und ein verschlechterter ISV auftreten, insbesondere bei Stickstoffmangel.

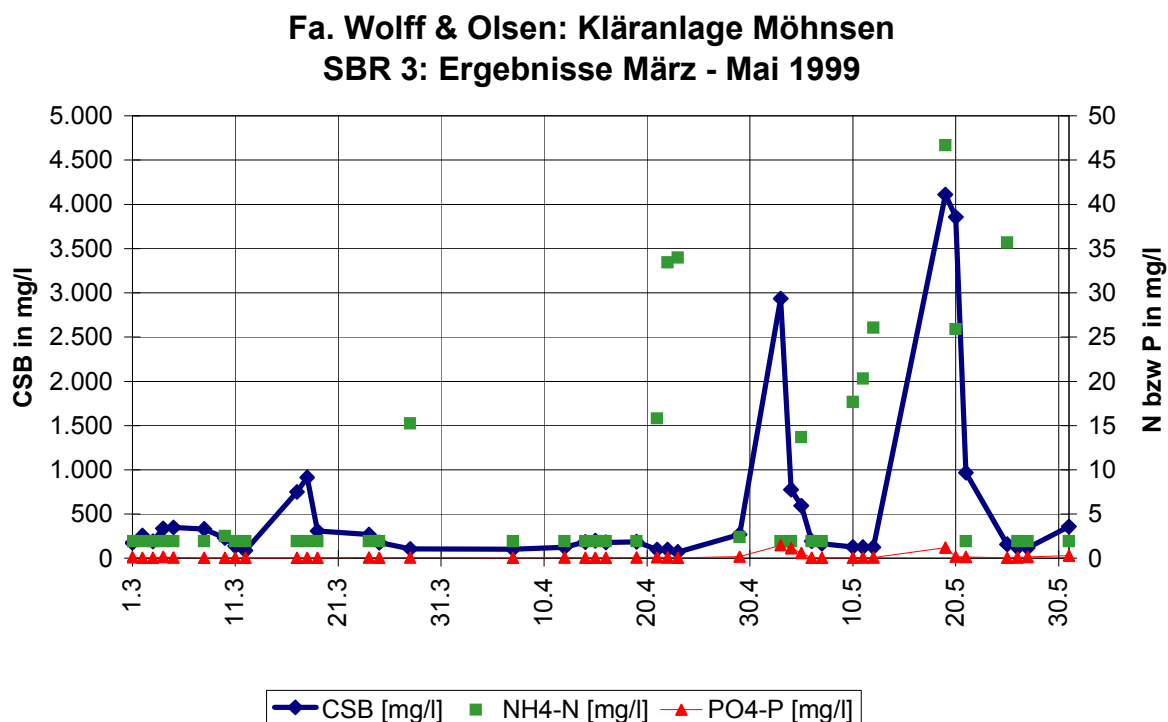


Abb. 3: CSB (zentrifugiert) im SBR-Reaktor 3 für die Zeit von März bis Mai 1999

Trotz des Misch- und Ausgleichbeckens im Zulauf kam es außerdem vereinzelt zu unerwartet erhöhten Zulaufbelastungen, was sich dann teilweise in plötzlich ansteigenden Konzentrationen nach einer normalen Zyklusdauer bemerkbar machte. Meist ist dies eine Folge ungenügender Nährstoffdosierungen und kann durch Nachdosierung und Verlängerung der Belüftungszeit behoben werden. Allerdings kam es vereinzelt auch zu plötzlichen pH-Wert-Verschiebungen, so daß statt der üblichen pH-Werte zwischen 7,5 und max. 8,5 im Reaktor nur pH 4,5 bis 5 gemessen wurde, was die Biologie hemmte bzw. schädigte, vgl. Abb. 3, Diagramm am 19./20.05.99. In so einem Fall wird ein Großteil des Schlammes abgezogen und neu angefahren. Bis zur Wiederherstellung der vollen Abbauleistung des jeweiligen Reaktors vergehen dann 3-4 Tage Belüftungszeit, die unter Ausnutzung des vorhandenen Ausgleichvolumens überbrückt werden können.

## 6 Schlußfolgerungen

Für die erfolgreiche Umsetzung von Abwasserreinigungskonzepten kommt es darauf an, für die ingenieurtechnische Idee einfache, bedienungsfreundliche und wartungsarme Lösungen zu finden. Dabei müssen sowohl die Bedürfnisse des Auftraggebers wie auch die gesetzlichen Anforderungen in wirtschaftlicher Weise erfüllt sein. Nur so kann der Konkurrenz der preiswerter zu produzierenden Systemlösungen und Modulbaureihen mit

den im Anlagenpreis versteckten geringeren Planungskosten begegnet werden. Die Problemlösungen „von der Stange“, die oft nur Kompromißlösungen für den Auftraggeber bedeuten, müssen hinsichtlich ihrer Folgekosten mit anderen, speziell auf den Auftraggeber zugeschnittenen Lösungen verglichen werden. Ein sehr wichtiger Faktor in diesem Vergleich ist das Eingehen auf die Qualifikation des bereits vorhandenen Bedienungspersonals im Betrieb. Je mehr Eingriffsmöglichkeiten eine Anlage bietet, umso mehr muß der Betreiber mit den Folgen vertraut sein. Was in einem Betrieb als Vorteil betrachtet wird, bedeutet für andere Betriebe zum Teil lästiger Aufwand mit dem Wunsch zur vollständigen Automatisierung. Häufig wird dabei übersehen, daß eine Automatisierung jedoch nicht das qualifizierte Bedienungspersonal ersetzen kann. In diesem Sinn erhebt die hier vorgestellte Anlage nicht den Anspruch, vollständig automatisiert oder auf niedrigste Ablaufwerte hin optimiert zu sein. Sie stellt für den Betreiber die optimale Kompromißlösung zwischen

- Investitionskosten (< 150 DM/EW),
- laufenden Kosten,
- Eingriffsmöglichkeiten und Betriebssicherheit hinsichtlich der Ablaufwerte dar.

## **LITERATUR**

ATV (1997): Merkblatt ATV M 210 Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb, ATV-Regelwerk Abwasser-Abfall, September 1997

Ing.-Büro Buß und Hempel (1996): Ausbau und Erweiterung der vorhandenen Betriebskläranlage der Fa. A. L. Wolff & Olsen GmbH & Co. in Möhnsen, Genehmigungsentwurf August 1996, unveröffentlicht

ATV (1998): Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum in Belebungsanlagen - Ursachen und Bekämpfung, Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 2.6.1, Korrespondenz Abwasser 1998 (45) Nr. 10, S. 1959-1968

## **ANSCHRIFT DER AUTOREN**

- Dipl.-Ing. S. Buß, Dr.-Ing. T. Werner:  
Ingenieurbüro Buß und Hempel, Botterstieg 3, 23611 Bad Schwartau
- G. Eckerbusch:  
Fa. Wolff & Olsen, Sachsenwaldstraße 70, 21493 Möhnsen
- Dipl.-Ing. J. Einfeldt, Dr.-Ing. H.-O. Günter  
Privatinstitut für Klärtechnik, Botterstieg 1, 23611 Bad Schwartau