

# SCHLAMMBETTREAKTOREN ZUR DENITRIFIKATION MIT ÜBERSCHUSSSCHLAMM AUF DER KA FLENSBURG: VERFAHRENSKONZEPT, BEMESSUNG BETRIEBSERGEBNISSE

S. Buß, J. Einfeldt, H.-O. Günter und I. Sekoulov

## **Abstract**

Schlammbedreaktoren sind zuerst für die Zurückhaltung von abfiltrierbaren Stoffen vorgesehen worden. Handelt es sich um Belebtschlammflocken, können aerobe, anoxische oder anaerobe Bioprozesse ablaufen. Ziel ist es, in Schlammbedreaktoren beide Reinigungsprozesse auszunutzen. Im Ausbaukonzept der Kläranlage Flensburg sind zwei Schlammbedreaktoren (SBtR) für die nachgeschaltete Denitrifikation vorgesehen. Alternativ zum Einsatz von Methanol oder anderen externen Substraten für hinreichende Denitrifikationsgeschwindigkeiten kann bei geeigneter Verfahrensführung auch das im Zulauf bereits vorhandene und in einer Hochlaststufe an den Belebtschlamm adsorbierte Substrat einer nachgeschalteten Denitrifikationsstufe zur Verfügung gestellt werden. Seit November 1999 wird die erste der beiden so geplanten Behandlungsstraßen im technischen Maßstab auf der Kläranlage Flensburg betrieben und wissenschaftlich begleitet. Verschiedene Varianten zur verfahrenstechnischen Integration des Schlammbedreaktors und die Auswirkung auf die anderen Stufen des Gesamtverfahrens wurden untersucht.

Die bisherigen Betriebsergebnisse haben für den praktischen Betrieb zu Bemessungsgrößen von  $0,6 \text{ g}(\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N})/(\text{kgTS}\cdot\text{h})$  bei 10 bis 12 °C ohne Substratzugabe geführt. Bei nächtlichen geringen Flächenbeschickungen  $< 1,7 \text{ m}^3/\text{h}$  kam es zu Rücklösungserscheinungen von  $\text{NH}_4\text{-N}$  und  $\text{PO}_4\text{-P}$ , was in Zukunft durch die Möglichkeit einer externen Rezirkulation vermieden wird.

Bei Einsatz von zusätzlichem externem Substrat (Reststoff einer Brauerei oder Methanol) konnte der Einfluß auf die Suspensagehalte im Ablauf des SBtR ermittelt werden. Hierbei ließ sich der Umsatz im SBtR auf mindestens  $1 \text{ g}(\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N})/(\text{kgTS}\cdot\text{h})$  bei 10 bis 12 °C steigern, ohne die vorgesehene nachgeschaltete 2-Stufen-Filtration zu überlasten.

Im Rahmen der Gesamtausbauplanung wird die Stickstoffelimination auf der KA Flensburg mit den Verfahrenselementen Tropfkörper / Schlammbedreaktor, separate Trübwassernitrifikation / vorgeschaltete Trübwasserdenitrifikation in der Belebung und eine simultane Nitrifikation / Denitrifikation im 25 %igen Teilstrom der Schwachlastbelebung realisiert. Zusätzlich besteht die Möglichkeit zur Restnitrifikation und Restdenitrifikation in den beiden Filterstufen.

## Schlagwörter

Schlammbedreaktor, nachgeschaltete Denitrifikation, Nitrifikations-Tropfkörper, mehrstufige Abwasserreinigung

## 1 Einleitung

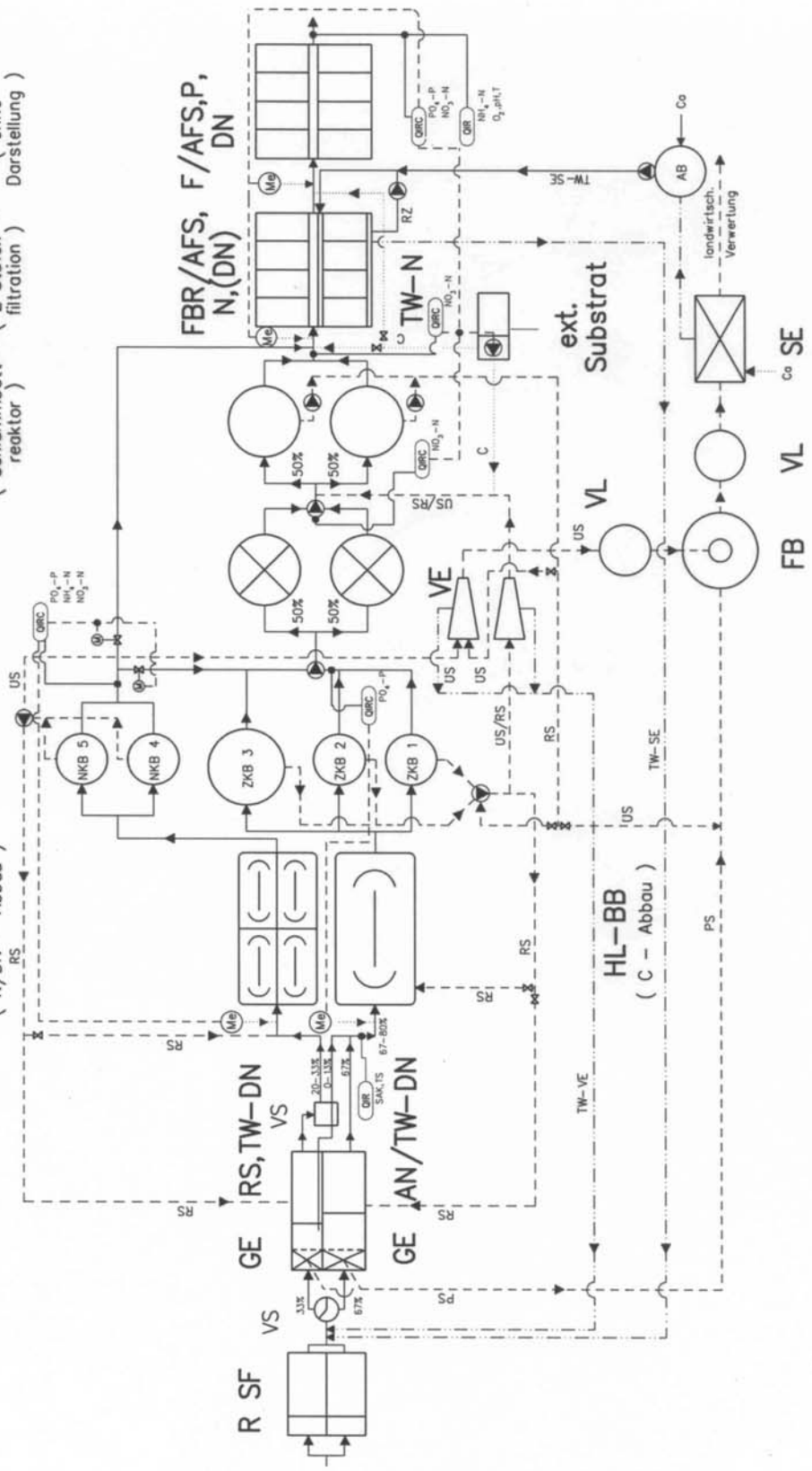
Mehrstufige Klärsysteme zur Nitrifikation / Denitrifikation bieten besondere Vorteile, wenn sehr niedrige Ablaufwerte für den Gesamtstickstoff gefordert sind und beengte Platzverhältnisse für den Ausbau einer Kläranlage vorliegen. Auf der Kläranlage Flensburg wurde bei Grenzwerten für den Gesamtstickstoff von  $10 \text{ mgN}_{\text{ges}}/\text{l}$  ein dreistufiges Klärsystem mit separaten Reaktoren für die Reinigungsschritte BSB-Abbau, Nitrifikation und nachgeschaltete Denitrifikation geplant. Dabei werden die Verfahren der Nitrifikation in einem Tropfkörper und der nachgeschalteten Denitrifikation im Schlammbedreaktor als kostengünstige Variante zur Stickstoffentfernung zum Einsatz kommen: Aus einer hochbelasteten ersten Belebungsstufe wird ständig Belebtschlamm mit gebundenen Kohlenstoffverbindungen als Überschussschlamm entnommen, und der nachgeschalteten Denitrifikation (3. Stufe) als Substratschlamm zugeführt. In der dritten Stufe stellen die zur Denitrifikation befähigten zugeführten Organismen unter Abwesenheit von gelöstem Sauerstoff ihren Stoffwechsel auf die anoxische Atmung um und denitrifizieren die oxidierten N-Verbindungen aus dem Ablauf des Nitrifikations-Tropfkörpers unter Nutzung der an die Belebtschlammflocke gebundenen Substrate, interner Reservestoffe oder zusätzlicher externer Substrate als Elektronendonator. Nach Durchlauf der dritten Stufe wird der zugeführte Schlamm in den Faulbehälter gefördert.

Die Anlage ist in einer 1. Straße für Tropfkörper und Schlammbedreaktor bereits großtechnisch errichtet, mit dieser Anlage wurden seit Ende 1999 Versuche zum Betriebsverhalten und zur Ermittlung von Bemessungsparametern durchgeführt. Die Verfahrensführung zum Versuchsbetrieb und der Aufbau des Schlammbedreaktors ist Buß et al. (2000) zu entnehmen. Auf Basis der Versuchsergebnisse erfolgte im März 2001 die Planung der 2. Straße, die sich derzeit im Ausschreibungsstadium befindet. Abb. 1 zeigt das mit den nunmehr vorliegenden Bemessungsparametern geplante Ausbaukonzept.

Stadt Flensburg : Erweiterung des Zentralkläranwerks Kielseng

Verfahrensschema zum Endausbau mit Trübwasserbehandlung im Nebenstrom mit den On-Line-Messungen zur Steuerung und Regelung

**SL-BB** ( N/DN - Abbau )  
**ZKB**  
**TK-N**  
**SBtR-DN** ( Schlammbelebungsreaktor )  
**FBR/F**  
**UV** ( ohne Darstellung )



Abfrage: 97-15-21-V-Schne.doc

Abb. 1: Fließschema KA Flensburg für das Ausbaukonzept

## 2 Verfahrenskonzept und Bemessung der Kläranlage Flensburg

Die Kläranlage Kielseng der Stadt Flensburg befindet sich in zentraler Lage am Südostufer der Flensburger Förde. Das Grundstück ist begrenzt durch die Uferlinie der Förde, eine vierspurige innerstädtische Straße, ein Gewerbegebiet und ein ehemaliges Bundeswehrgelände. Es gibt Erweiterungsflächen geringen Umfangs in Richtung des ehemaligen Bundeswehrgeländes.

Das Ausbaukonzept für die Kläranlage Flensburg hatte die innerstädtische Lage mit diesen beengten Platzverhältnissen zu berücksichtigen. Ziel war die Erweiterung der Kläranlage zur Stickstoff- und Phosphorelimination gemäß des Dringlichkeitsprogrammes des Landes-Schleswig-Holstein für eine Ausbaugröße von 224.000 EW<sub>B60</sub>.

Nach einem Ideenwettbewerb aus dem Jahre 1984 wurden in den Jahren 1986/87 Versuche im halbtechnischen Maßstab durchgeführt, die den Vergleich eines dreistufigen Konzeptes mit einer vorgeschalteten Denitrifikation in Kaskadenbauweise vorsahen. Nach dem Planfeststellungsbeschuß aus dem Jahre 1996 wurden in 1996/97 die Bemessungsdaten überprüft und die Verfahrenstechnik an veränderte Randbedingungen (insbesondere bei einzelnen Indirekteinleitern) angepaßt. Nach Baubeginn 1997 kam es zu einer weiteren gutachterlichen Verfahrensüberprüfung in 1998. Ende 1999 begann der Versuchsbetrieb mit der fertiggestellten ersten Straße für Tropfkörper und Schlammbettreaktor, mit den gewonnenen Daten wurde das bereits vorliegende Planungskonzept Anfang 2001 im Detail überarbeitet. Nachfolgend werden die einzelnen biologischen Reinigungsstufen des Verfahrenskonzeptes nach der vorhandenen mechanischen Vorreinigung beschrieben.

### 2.1 Erste biologische Reinigungsstufe: Schwachlast- und Hochlastbelebung

Nach der vorhandenen mechanischen Vorreinigung durch Rechen und Sandfang wird das Abwasser in zwei Teilströme aufgeteilt, vgl. Abb. 1: Etwa ein Viertel bis ein Drittel der Zulaufmenge gelangt in die Schwachlastbelebung (SL-BB), zwei Drittel bis drei Viertel gelangen in die Hochlastbelebung (HL-BB). Diese Aufteilung ergab sich aus den zur Verfügung stehenden alten Belebungsbecken und deren Volumenverhältnis. In der Hochlaststraße erfolgt bei geringem Schlammalter lediglich ein Kohlenstoffabbau ( $B_{TS}$  ca. 0,5 bis 0,9 kgBSB<sub>5</sub>/(kgTS\*d)), in der Schwachlaststraße kann für den kleineren Teilstrom bei höherem Schlammalter zumindest eine ganzjährige Nitrifikation sichergestellt werden.

Die vier vorhandenen alten Vorklärbecken werden in Grobentschlammungsbecken (GE, Bemessung 0,5 h) und unbelüftete Belebungsbecken umgebaut. Diese dienen in der Hochlaststraße als Anaerobbecken für die vermehrte biologische Phosphorelimination im Hauptstromverfahren und zur Denitrifikation des behandelten Trübwassers (AN/TW-DN, vgl. Abschnitt 2.3), letzteres ist die verfahrenstechnisch überwiegende Funktion des Beckens. In der Schwachlaststraße werden sie ebenfalls zur Trübwasser-Denitrifikation sowie zusätzlich zur Rücklaufschlamm-Denitrifikation (RS, TW-DN) eingesetzt.

Der HL-BB wurden die drei vorhandenen Nachklärbecken als Zwischenklärbecken zugeordnet (ZKB 1-3). Für diese vorhandenen Becken ergab sich gegenüber ATV A131 eine um 30 % erhöhte Schlammvolumenbeschickung von rd. 580 l/(m<sup>2</sup>\*h). Ein

Schlammübertreiben von 40 bis 60 mg/l hat sich im bisherigen Versuchsbetrieb als unschädlich erwiesen, da es sich um Überschussschlamm handelt, der die Tropfkörper ohne Störung mit dem Abwasser durchläuft. In den nachfolgenden SBtR wird er wie der DN-Schlamm zurückgehalten.

Für die SL-BB werden 2 neue Nachklärbecken (NKB 4 und 5) gebaut, in Abhängigkeit des Reinigungsgrades und der Zulaufmengen wird der Ablauf aus der SL-BB anteilig über TK / SBtR oder direkt zur Filtration geleitet. Für den Bemessungszufluß von 25 % der Abwassermenge sind Rücklaufverhältnisse von bis zu  $RV = 1,4$  möglich, um eine weitergehende Rücklaufschlamm-Denitrifikation und eine Umgehung der TK/SBtR-Stufe zu ermöglichen.

## **2.2 Zweite biologische Reinigungsstufe: Tropfkörper und Schlammbettreaktoren**

Die zweite Reinigungsstufe dient insbesondere der Nitrifikation und Denitrifikation des biologisch vorgereinigten Abwassers aus der Hochlastbelebung (das Abwasser aus der Schwachlaststraße kann bis zu gewissen hydraulischen Grenzen ebenfalls über diese Stufe geleitet werden). Für die Nitrifikation sind zunächst zwei baugleiche Tropfkörper vorgesehen, eine Reservefläche für einen ggf. dritten Tropfkörper wird vorgehalten (vgl. Abschnitt 2.3 und 3). Als Bemessungsgröße wurden  $20 \text{ mgNH}_4\text{-N}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  bei  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  angesetzt.

Die Denitrifikation erfolgt nachgeschaltet in zwei Schlammbettreaktoren. Als Substrat wird das in der Hochlaststufe an den Belebtschlamm adsorbierte Substrat genutzt, ergänzend können aber auch externe Substrate zur Verfügung gestellt werden. Durch die Schlammbeschickung mit maschinell voreingedicktem Hochlast-Überschussschlamm können hydraulische Belastungen bis zu  $2,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  realisiert werden.

## **2.3 Dritte Reinigungsstufe: Festbettreaktoren und Filtration**

Im Verfahrenskonzept ist als dritte Reinigungsstufe eine zweistufige Filtration bestehend aus einer Festbettreaktor-Stufe (FBR) und einer Flockungs-Filtrations-Stufe (FF) vorgesehen.

Die belüftbaren Festbettreaktoren wurden bemessen für den Rückhalt von abfiltrierbaren Stoffen von bis zu 100 mg/l aus dem Ablauf SBtR sowie für eine Restnitrifikation der aus TK/SBtR verbliebenen Ammoniumkonzentrationen bis zu rd. 5 mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Im Zulauf zur zweiten Filterstufe sollen die abfiltrierbaren Stoffe bis auf rd. 30 mg/l reduziert sein.

Bei Bedarf kann durch eine zusätzliche Substratdosierstelle im Zulauf FBR anstelle einer Nitrifikation auch eine Rest-Denitrifikation durchgeführt werden.

Die FBR-Stufe ist gegliedert in 8 einzelne Reaktoren. Davon sind bis zu 4 FBR für eine Trübwasser-Nitrifikation im Nebenstrom nutzbar. Bei maximaler hydraulischer Belastung (an wenigen Tagen im Jahr) werden bis zu 6 FBR für die Restnitrifikation und Suspensaentnahme genutzt. Die erforderliche Flexibilität bei der Trübwasserbehandlung wird durch ein ausreichend dimensioniertes Trübwasser-Ausgleichsbecken geschaffen. Die Trübwasserdennitrifikation erfolgt im Hauptstrom, vgl. Abschnitt 2.1. Sollte sich diese Umsetzung der Trübwassernitrifikation für den Ausbauzustand als nicht ausreichend

erweisen, besteht weiterhin die Möglichkeit, die Trübwassernitrifikation außerhalb der FBR-Stufe zu erweitern oder den dritten Nitrifikationstropfkörper zu bauen.

### 3 Betriebsergebnisse

Für den Versuchsbetrieb im großtechnischen Maßstab wurden die Belastungsverhältnisse der Hochlastbelebungsstufe so eingestellt, wie sie für den späteren Betrieb erwartet werden. Da die bereits fertiggestellte erste Straße von TK / SBtR die Hälfte der im Ausbauzustand zulaufenden Abwassermengen für die zweite Reinigungsstufe erhält, wurde die Hälfte des Grobentschlammungs- sowie des AN/TW-DN-Volumens außer Betrieb genommen. Der Trockensubstanzgehalt in der HL-BB wurde auf die Hälfte des späteren Betriebes reduziert. Die Schlammbelastung während des Versuchsbetriebs schwankte im Bereich 0,4 bis 1,3 , im Mittel 0,8 kgBSB<sub>5</sub>/(kgTS\*h). Die Zwischenklärung erfolgte über die vorhandenen ZKB 1 und 2, die NKB 4 und 5 sind derzeit (Oktober 2001) im Bau.

Die übrigen zulaufenden Abwassermengen werden während des Versuchsbetriebs in der Schwachlastbelebungsstufe gereinigt und über ZKB 3 abgeleitet, dabei kommt es aufgrund der erhöhten Zulaufmengen bislang nur im Sommer zu einem geringen Nitrifikationsanteil. Die Schlammkreisläufe von HL-BB und SL-BB sind seit August 2000 voneinander getrennt.

#### 3.1 Ergebnisse Tropfkörperbetrieb

Die Auswertung der Nitrat-Online-Messungen des Tropfkörpers im Herbst 2000 (nach rd. einjährigem Betrieb) ergab eine gegenüber der ursprünglichen Bemessung immer noch reduzierte Abbauleistung, die in der Größenordnung einer Nitrifikation von 13 mgNO<sub>3</sub>-N/(m<sup>2</sup>\*h) bei 13 bis 14°C lag. Bei der Überprüfung möglicher Einflußparameter wurde Wasser in den Leitungen der Zwangsbelüftung gefunden sowie eine ungleichmäßige Benetzung der TK-Oberfläche vermutet. Der bereits 8-armige Drehsprenger wurde daraufhin mit zusätzlichen Leitblechen für das zu verteilende Abwasser versehen.

Weitere Beprobungen im Februar 2001 und Juli 2001 (2-Std.-Mischproben) ergaben die Ergebnisse in Tabelle 1.

<b>Zeitraum der Beprobung</b>	<b>Temperaturbereich [°C]</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N Abbau [mgNH<sub>4</sub>-N/(m<sup>2</sup>*h)]</b>	<b>NO<sub>3</sub>-N Bildung [mgNH<sub>4</sub>-N/(m<sup>2</sup>*h)]</b>
<b>12. bis 15.02.01</b>	10,5 bis 11,9	13 bis 26	13 bis 15
<b>09. bis 12.07.01</b>	16,5 bis 18,4	13 bis 28	13 bis 20

Tabelle 1: Ammoniumabbau und Nitratbildung von TK 1 der KA Flensburg

Der Anstieg der Nitrifikation bei der Intensivbeprobung im Juli 2001 fiel gegenüber Februar 2001 geringer aus als erwartet. Ab Ende Juli wurde ein massiver Rückgang der Nitrat-Ablaufkonzentrationen des Tropfkörpers beobachtet, vgl. Abb. 2.

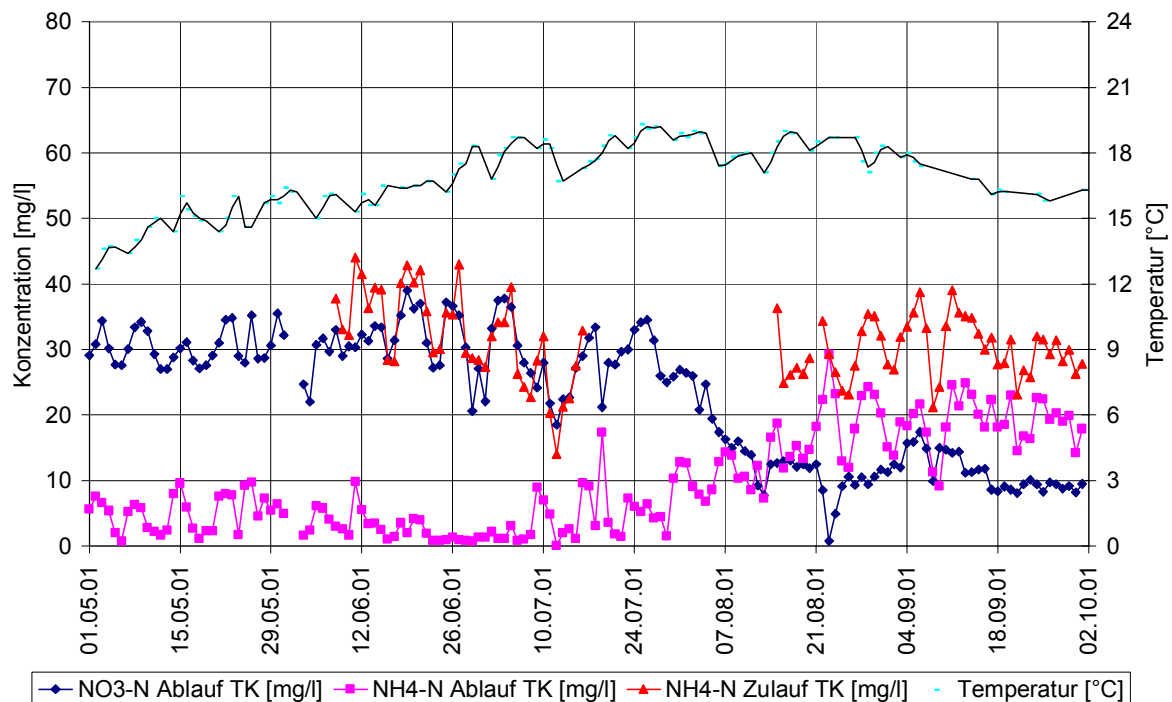


Abb. 2: Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen TK 1 der KA Flensburg aus der Tagesmischprobe

Der Rückgang der Nitrifikation fällt zeitlich zusammen mit dem jahreszeitlich bedingten Temperaturanstieg auf oberhalb 16°C und einem erheblichen Schneckenbefall des Tropfkörpers. Die Schnecken wurden identifiziert als Blasenschnecke *Physella heterostropha*. Diese Art ist in Deutschland nicht heimisch und wahrscheinlich über Aquarienwasser eingeschleppt worden. Sie bevorzugt nährstoffreiche, warme (auch künstlich erwärmte) Gewässer. *Physella* erträgt leichtes Brackwasser, und schnecken-tötende Pflanzenschutzmittel (Molluskizide) in den erforderlichen Konzentrationen sind wahrscheinlich auch für die Nitrifikanten des TK toxisch (Wiese, 2001). Die Bekämpfungsmaßnahmen aus ATV (1997) wie Aufstau oder Abkühlung und Austrocknung sind in Flensburg nicht möglich. Ein Bekämpfungsversuch mit Eisenphosphat, wie es auch als Wirksubstanz in Schneckenkorn angewendet wird, durch Umstellung von Simultanfällung des Phosphates auf eine Nachfällung im Zulauf Tropfkörper zeigte nach 14-tägigem Betrieb noch keine signifikante Wirkung. Nach dem heutigen Wissensstand werden 2 Bekämpfungsvarianten als praktikabel angesehen:

- a) Eine pH-Wert-Erhöhung in den Bereich 9,5 bis 9,8 für ca. 4 Stunden hat nach Albertson (2001) bei Tropfkörperanlagen in den USA Abhilfe geschaffen. Unterhalb pH 10 bleiben die Nitrifikanten erhalten. Wirksam ist das durch die pH-Verschiebung aus dem Ammonium entstehende Ammoniak, welches in der Größenordnung 5-10 mgNH<sub>3</sub>/l

toxisch sein soll. Der Versuch muß zwei bis dreimal wiederholt werden, da der Laich der Schnecken durch diese Maßnahme nicht erfaßt wird.

- b) Denkbar ist die Abtötung mit im Kreislauf gefahrener 10 %-iger Ethanol-/Methanol-Mischung (als Substrat auf der Kläranlage vorhanden). Dies hat sich im Laborversuch als wirksam erwiesen, unklar ist die mindestens erforderliche Zeitdauer der Einwirkung im Tropfkörper (größer als bei Variante a)) und der Umfang der sehr wahrscheinlichen Schädigung der Nitrifikanten. Vorteilhaft ist, daß die Maßnahme auch auf den Laich der Schnecken wirkt.

Ein erster Versuch zu Variante a) hat Ende September 2001 stattgefunden und eine Abtötung in der Größenordnung 50 % bewirkt. Bei den Folgeversuchen soll die Ammoniumkonzentration im Zulauf des TK mit Trübwasser aus der Schlammwässerung aufgestockt werden.

### **3.2 Ergebnisse Schlammbettreaktorbetrieb**

Der Schlammbettreaktor ist im Sommer 2000 nachgerüstet worden mit einem Bodenschlamm-Umwälzräumer, der Änderung der Leitbleche und der Rezirkulationsöffnungen im Mitteldom. Die Beschickung des SBtR erfolgt seitdem ausschließlich mit auf 5 - 7% voreingedicktem Überschußschlamm, die Schlammspiegelhöhe wird über den Schlammabzug gesteuert. Dabei ergeben sich für den Bodenschlamm des SBtR nunmehr ca. 25 bis 40 gTS/l, während der Feststoffgehalt in der darüberliegenden Schlammsschichtung zwischen 5 und 15 gTS/l liegt. Die im SBtR gehaltene Schlammmenge konnte gegenüber der Beschickung mit nicht eingedicktem Überschußschlamm um den Faktor 3 bis 4 erhöht werden, dabei kann eine Klarwasserzone von ca. 2 bis 3 m eingestellt werden. Das Schlammbett ist stabil, es gibt keinen anfaulenden Bodenschlamm mehr. Die Beschickungsmengen schwanken im Tagesverlauf zwischen 1,2 und 2 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h), das Expansionsverhalten des Schlammbettes ist dabei vernachlässigbar.

Um die Leistungsgrenzen des SBtR unter diesen Randbedingungen festzustellen und um die für eine Bemessung des noch zu bauenden zweiten Schlammbettreaktors zusätzliche Bemessungsdaten zu gewinnen, wurde im Februar 2001 ein weiterer Belastungsversuch durchgeführt. Dabei wurde der Zulauf des Tropfkörpers mit einer Nitratlösung bis auf Werte um 58 mgNO<sub>3</sub>-N/l aufgestockt (die Anzeige der Online-Messung wies dabei lediglich den Zielwert von 45 mgNO<sub>x</sub>-N/l auf). Als Substrat wurde ein ethanolhaltiger Reststoff einer Brauerei eingesetzt. Es zeigte sich, daß bei Flächenbeschickungen von mehr als 2 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h) und Nitratzulaufkonzentrationen bis 35 mg/l ein Nitratlaufwert von 5 mg/l sicher eingehalten wurde. Die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) im Ablauf des SBtR lagen dann im Bereich von 40 bis 80 mgAFS/l. Auch die ungewollte Nitrat Spitze von 58 mg/l führte nicht zu einer Überschreitung des Nitrat-Ablaufwertes, allerdings kam es währenddessen zu sehr hohen Suspensionsgehalten im Ablauf des SBtR. Das Schlammbett selbst blieb in seiner Struktur erhalten, nach Ende der Nitratdosierung und Drosselung der Substratzugabe war das Schlammbett hinsichtlich der Ablaufeigenschaften wieder stabil.

Im Juli 2001 wurde unter Verwendung von Methanol als Substrat und bei höheren Wassertemperaturen ein weiterer Belastungsversuch durchgeführt. Es ergaben sich folgende wesentliche Erkenntnisse:

- Im Vergleich zur Mindestbeschickung des SBtR von rd. 600 m<sup>3</sup>/h konnte bei Erhöhung auf rd. 1.100 m<sup>3</sup>/h eine Schlammbettexpansion um ca. 1,5 m innerhalb von 4 bis 6 Stunden beobachtet werden, die in den folgenden 3 bis 5 Stunden nicht weiter zunahm und stabil blieb.
- Die Umsatzraten betragen bei einer hydraulischen Beschickung von 1.100 - 1.250 m<sup>3</sup>/h bzw.  $q_A = \text{rd. } 2,5 \text{ m/h}$ , Temperaturen zwischen 17,2 und 19,0 °C und Zulaufkonzentrationen 27 - 30 mgNO<sub>2/3</sub>-N/l rd. 25 - 29 kgNO<sub>2/3</sub>-N/h. Mit einem SBtR-Volumen von 3.300 m<sup>3</sup> und einem Reaktionsvolumen von rd. 1.500 bis 2.200 m<sup>3</sup> (Schlamm Spiegel i.M. 3,75 bis 2,25 m unter Wsp.) ergeben sich

$$\begin{aligned} &\text{rd. } 8 \text{ g NO}_{2/3}\text{-N}/(\text{m}^3_{\text{SBtR}} \cdot \text{h}) && \text{bzw.} \\ &\text{rd. } 13 \text{ bis } 17 \text{ g NO}_{2/3}\text{-N}/(\text{m}^3_{\text{Reaktionsvolumen}} \cdot \text{h}). \end{aligned}$$

Die spezifischen Umsatzraten lagen mit 1,2 - 1,6 gNO<sub>2/3</sub>/(kgTS·h) oberhalb der vergangenen Intensivbeprobungen. Im Bereich von Zulaufkonzentrationen bis 30 mgNO<sub>2/3</sub>-N/l wurde ein Nitratblaufwert von 5 mg/l eingehalten.

Bei der Auswertung dieser Meßreihe zeigte sich deutlich der große Einfluß der stark schwankenden Tages- und Nacht-Flächenbeschickungen auf die AFS. Das nächtliche Komprimieren und anschließende Expandieren des Schlammbettes setzt kurzzeitig vermehrt AFS in der Größenordnung 180 bis 260 mgAFS/l frei. Dies konnte insbesondere ab einer Expansion um mehr als 1,0 m beobachtet werden.

#### **4 Ausblick**

Die Schneckenbekämpfung im Tropfkörper TK 1 der Kläranlage Flensburg war bei Drucklegung des Manuskriptes noch nicht abgeschlossen, hierzu werden im Vortrag ergänzende Angaben gemacht.

Nach Realisierung der externen Rezirkulationsleitung für SBtR 1 und TK 1 sind weitere Versuche, insbesondere zum möglichen hydraulischen Betriebsbereich, geplant. Für den zukünftigen Betrieb mit dieser externen Rezirkulation muß das Expansionsverhalten in Abhängigkeit der Flächenbeschickung noch näher bestimmt werden, um Stoßbelastungen durch freigesetzte AFS zu begrenzen und Aussagen zum optimalen Betriebspunkt der Flächenbeschickung zu treffen. Erst dann können Angaben zu den im optimierten Betrieb erzielbaren Umsatzraten des SBtR gemacht werden.

## **Danksagung**

Dank gebührt der Betriebsleitung und dem Betriebspersonal der KA Flensburg für die sehr engagierte Durchführung und gemeinsame Betreuung der Versuche, insbesondere Herrn Drews und Herrn Thomsen sowie der Laborleitung Frau Wüstenhagen.

## **QUELLENVERZEICHNIS**

Albertson, Orris (2001): Persönliche Mitteilungen

ATV (1997): ATV-Handbuch „Biologische und weitergehende Abwasserreinigung“, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn Berlin, S. 181-182

Buß S., Einfeldt J., Günter H., Sekoulov I. (2000): Nachgeschaltete Denitrifikation in Schlammbedreaktoren, 13. Fachtagung „Weitergehende Abwasserreinigung als Beitrag zum Schutz von Nord- und Ostsee“, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Band 31, S.235-242

Ing.-Büro Buß und Hempel (2001): Ausbau des Zentralkläwerks Kielseng der Stadt Flensburg, Ausführungsentwurf 2001, unveröffentlicht

Malchow, Thorsten (1995): Beitrag zur nachgeschalteten Denitrifikation mit Belebtschlamm als H-Donator: Auslegungsmethoden, Betriebsstrategien und Optimierung des Verfahrens, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Band 16

Wiese, Vollrath (2001): Persönliche Mitteilungen

## **ANSCHRIFT DER AUTOREN**

- Dipl.-Ing. S. Buß  
Ingenieurbüro Buß und Hempel, Botterstieg 3, 23611 Bad Schwartau
- Dipl.-Ing. J. Einfeldt, Dr.-Ing. H.-O. Günter  
Privatinstitut für Klärtechnik, Botterstieg 1, 23611 Bad Schwartau
- Prof.-Dr.-Ing. I. Sekoulov  
Sekoulov, Rohbrecht + Partner, Nartenstraße 4a, 21039 Hamburg