

# AUSBAUBEGLEITENDE BETRIEBSOPTIMIERUNG DER KLÄRANLAGE FLENSBURG

J. Einfeldt, H.-O. Günter

## **Abstract**

Seit Oktober 2005 wird auf der Kläranlage Flensburg zur Einhaltung von Grenzwerten für den Gesamtstickstoff von  $10 \text{ mgN}_{\text{ges}}/\text{l}$  ein mehrstufiges Verfahren mit separaten Reaktoren für die Reinigungsschritte Kohlenstoff-Abbau in einer Hochlastbelebung, Nitrifikation in Tropfkörpern (TK), nachgeschalteter Denitrifikation in Schlammbettreaktoren (SBtR) und einer abschließenden zweistufigen Filtration zur Suspensaentnahme und Phosphorelimination mit der Möglichkeit der Restnitrifikation und Restdenitrifikation erfolgreich betrieben. Von der Verfahrensidee für den Ausbau der auf sehr beengten Platzverhältnissen am Ufer der Flensburger Förde gelegenen Kläranlage bis zum praktischen Betrieb verstrich ein Zeitraum von knapp 20 Jahren. Anpassungen der Verfahrenstechnik an die sich verändernde Indirekteinleiterstruktur, die Koordination von technischer Notwendigkeit und architektonischem Anspruch sowie die betriebspraktischen Erfahrungen aus dem stufenweisen Ausbau haben das heute vorhandene System geprägt.

Die wissenschaftliche Begleitung des Ausbaus erfolgte insbesondere für die neue Verfahrenstechnik der zweiten biologischen Reinigungsstufe mit Nitrifikationstropfkörpern und Schlammbettreaktoren. Über die Ergebnisse einer ersten Versuchsphase 1999 bis 2001 wurde im Rahmen der 15. Norddeutschen Tagung für Abwasserwirtschaft berichtet. In zwei weiteren Versuchsphasen in 2002/03 und in 2005/06 wurden die Einflüsse der einzelnen Verfahrensparameter der SBtR (z.B. Flächenbeschickungen und Rezirkulation, Schlammбетhöhe und -expansion) im großtechnischen Betrieb näher untersucht. Die Schnittstellen zur vorgelagerten Verfahrensstufe (Schlammbelastung der 1. biologischen Stufe) und nachgeschalteten Verfahrensstufe (Reststickstoffentfernung in der 2-Stufen-Filtration) wurden einbezogen. Laboruntersuchungen zur Nutzung und Kinetik interner und externer Substrate haben die großtechnischen Versuche zur Betriebsoptimierung ergänzt. Außerdem wurde aus dem praktischen Betrieb der Nitrifikationstropfkörper heraus ein Verfahren zur Entfernung von übermäßig auftretenden Tropfkörperschnecken entwickelt, zu dessen Anwendung und Wirkung mittlerweile umfangreiche Betriebserfahrungen vorliegen. Im Vortrag wird auf die Ergebnisse der labor- und großtechnischen Versuche sowie auf die praktischen Betriebserfahrungen und aktuellen Leistungsdaten der Gesamtanlage eingegangen.

## **Schlagwörter**

Mehrstufige Verfahren, Tropfkörper, Schnecken, Schlammбетreaktor, nachgeschaltete Denitrifikation, Substratdosierung

# 1 Einleitung

Mehrstufige Klärsysteme zur Nitrifikation und 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 Kohlenstoff-Abbau, Nitrifikation und nachgeschaltete Denitrifikation realisiert. Das vom Ingenieurbüro Buß und Hempel und Prof. Dr.-Ing. I. Sekoulov stammende Konzept setzte sich in einem 1984 durchgeführten Ingenieurwettbewerb durch. Die Basis für die Dimensionierung der großtechnischen Anlage bildeten halbtechnische Versuche aus den Jahren 1986/1987, halbtechnische Versuche auf der Kläranlage Nürnberg zur nachgeschalteten Denitrifikation [Malchow 1995], eine Überprüfung der Bemessungsgrundlagen 1996/1997 sowie die von 1999 bis 2006 durchgeführten großtechnischen Versuche auf der KA Flensburg [Buß et al. 2000]. Über das Verfahrenskonzept, die Bemessung der Kläranlage Flensburg und erste Betriebsergebnisse wurde bereits von Buß [Buß et al. 2001] berichtet. Mittlerweile liegen weitere Erkenntnisse zum Betriebsverhalten des Nitrifikations-Tropfkörpers und zur nachgeschalteten Denitrifikation in Schlammbedtreaktoren vor. Die verfahrenstechnisch dritte und letzte Reinigungsstufe, die 2-Stufen-Filtration, ist seit 2005 in Betrieb.

Vereinfacht besteht der biologische Teil des Klärsystems aus 2 Belebungsbecken (Hochlast und Schwachlast), zwei Nitrifikations-Tropfkörpern mit nachgeschalteter Denitrifikation und einer 2-Stufen-Filtration, vgl. Abbildung 1.

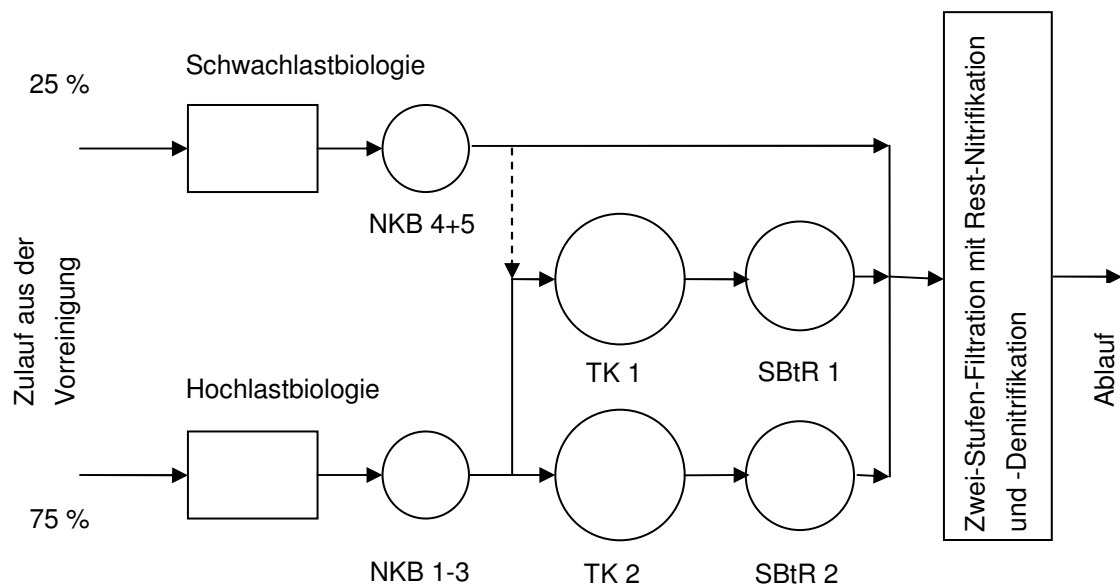


Abb. 1: Vereinfachtes Verfahrensschema der Kläranlage Flensburg mit Hochlaststufe, Tropfkörper (TK 1+2), nachgeschalteter Denitrifikation in Schlammbedtreaktoren (SBtR 1+2) und Filtration

## 2 Betriebserfahrungen Nitrifikationstropfkörper

Es handelt sich um zwangsbelüftete Tropfkörper mit Füllkörpern aus Kunststoff, Cross-Flow-Blockmaterial, mit einer spezifischen Oberfläche von  $240 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (Herstellerangabe), einer Füllkörperhöhe von 7 m und einem Füllkörpervolumen von jeweils  $4.880 \text{ m}^3$ . Die Flächenbeschickung kann durch Rezirkulation auch bei geringen Zuflüssen bis auf  $2,3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  angehoben werden. Die durchschnittliche  $\text{BSB}_5$ -Belastung beträgt  $0,02$  bis  $0,06 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ . Für Nitrifikationstropfkörper nach weitgehendem Kohlenstoffabbau in einer ersten Stufe mit Zwischenklärung können nach dem ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 281 [ATV 2001] Belastungswerte bis zu  $0,200 \text{ kgN}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  angesetzt werden, die Bemessung erfolgte für max.  $0,144 \text{ kgN}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ .

Der Nitrifikationstropfkörper TK 1 ist seit Oktober 1999 in Betrieb. In 2001 kam es zu einem massiven Leistungsabfall des TK 1, der auf einen Befall mit Schnecken zurückzuführen war. Die Schnecken wurden als Blasenschnecke *Physella heterostropha* identifiziert. In den Monaten darauf wurde ein Verfahren zur Schneckenbekämpfung entwickelt [Einfeldt et al. 2004]. Schnecken-tötend wirkt das in diesem Verfahren durch pH-Verschiebung aus Ammonium entstehende Ammoniak.

Die Nitrifikationsleistung des TK 1 lag im Januar 2004 im Bemessungsbereich. Im Mai 2004 wurde der Nitrifikationstropfkörper 2 (TK 2) in Betrieb genommen. Ab Juli 2004 haben TK 1 und TK 2 annähernd gleiche Beschickungsmengen und Ammoniumfrachten aus der gemeinsamen Pumpenvorlage erhalten. Trotz Abwassertemperaturen im Bereich  $15$  bis  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  blieb die Nitrifikationsleistung des TK 2 bis Oktober 2004 unterhalb von  $0,030 \text{ kgN}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ . Auch TK 1 arbeitete inzwischen nur noch mit verminderter Leistung in Höhe von rd.  $0,110 \text{ kgN}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ . Tropfkörperbegehungen ergaben, dass das Tropfkörpermaterial des TK 1 im oberen Bereich Schnecken, Laich und einen geringen Biofilmbewuchs aufwies. Auf dem Füllmaterial des TK 2 waren wenig Schnecken und Laich sowie fast kein Biomassebewuchs festzustellen, vgl. die Abbildungen 2a und 2b.

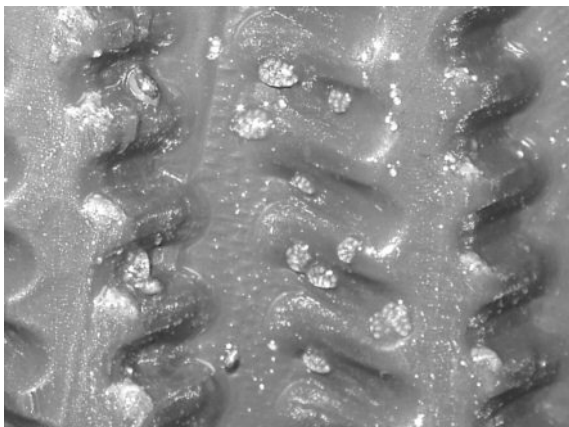


Abb. 2a: Tropfkörpermaterial TK 1 im oberen Bereich mit Schnecken, Laich und geringem Biofilmbewuchs

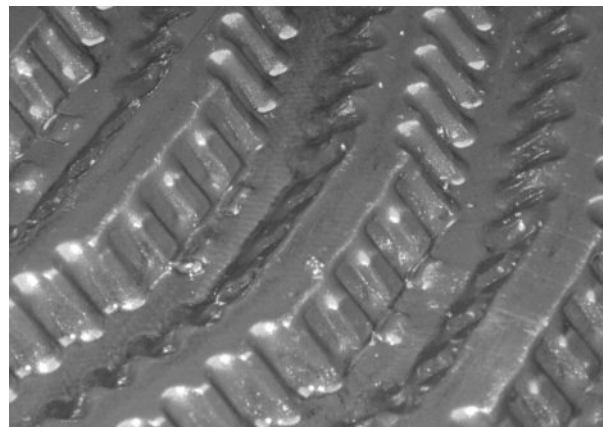


Abb. 2b: Tropfkörpermaterial TK 2 im oberen Bereich mit wenigen Schnecken und Laich, fast kein Biofilmbewuchs vorhanden

Über eine gemeinsame Kreislaufwasserführung konnte TK 2 offenbar von Betriebsbeginn an mit Schnecken besiedelt werden, und die sich entwickelnde Schneckenpopulation beeinträchtigte die Bildung eines ausreichenden Biofilmes für die Nitrifikation.

Im Dezember 2004 wurde schließlich bei beiden Tropfkörpern eine Schneckenentfernung gemäß Einfeldt [Einfeldt et al. 2004] durchgeführt. Um den Chemikalieneinsatz möglichst gering zu halten, wurde das Verfahren direkt nacheinander auf TK 1 und TK 2 angewendet, d.h. die im Kreislauf von TK 1 verwendeten Mengen an Natronlauge und Methanol wurden für den TK-2-Kreislauf wieder verwendet. Die Ammonium-Konzentration wurde durch weitere Trübwasserzugabe aufgestockt. Während die im TK 1 berechneten  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen wie bei vorhergehenden Versuchen im Bereich 60 – 80 mgN/l lagen, wurden im TK 2 Konzentrationen von rd. 100 mgN/l erreicht. Die Einwirkzeit in TK 2 wurde von 6 auf 4 Stunden verkürzt. Spätere Tropfkörperbegehungen ergaben eine vollständige Abtötung der Schneckenpopulation. Erste Schnecken waren ab Anfang Mai wieder in beiden Tropfkörpern zu beobachten.

Da für Kläranlage Flensburg ab Oktober 2005 die o.g. Stickstoff-Überwachungswerte einzuhalten waren, wurde vorsorglich im September 2005 eine weitere Schneckenentfernung für beide Tropfkörper durchgeführt. Dabei hat sich der Einsatz von Entschäumungsmitteln im Tropfkörperablauf zur Eindämmung der auftretenden Schaumentwicklung bewährt.

Weiterer Untersuchungsbedarf besteht hinsichtlich des Zusammenhanges von angewendeten Methanol- und Ammoniak-Konzentrationen und der Wiederherstellung der vollen Nitrifikationskapazität nach einer Schneckenentfernung. In 2006 wurde noch keine Schneckenentfernung durchgeführt. Im derzeitigen Betrieb und unter Berücksichtigung der Nitrifikationskapazität der nachgeschalteten Filtration scheint eine gewisse Leistungsminderung der Tropfkörper tolerierbar.

### **3 Betriebserfahrungen Schlammbedreaktoren**

Die Schlammbedreaktoren zur Denitrifikation (SBtR 1 und SBtR 2) sind den Nitrifikationstropfkörpern nachgeschaltet. Die Versorgung mit dem für die Denitrifikation benötigten Substrat erfolgt

- a) über den zugegebenen Überschussschlamm aus der Hochlastbiologie der ersten Reinigungsstufe unter Nutzung der an die Belebtschlammflocke gebundenen Substrate und internen Reservestoffe und
- b) über eine Dosierstation für Methanol-Ethanol-Gemische.

#### **3.1 Aufbau der Schlammbedreaktoren**

Der Schlammbedreaktor wird über einen zylindrischen Mitteldom mit Abwasser und Überschussschlamm aus der Hochlastbiologie der ersten Reinigungsstufe beschickt, vgl. Abbildung 3. Danach strömt das Abwasser-Belebtschlammgemisch durch Schlitz-Öffnungen in der Mitteldomwand und dort anliegende Leitbleche in den Außenring des SBtR. Ziel ist ein möglichst flächiges Einströmen in Bodennähe, damit das gebildete Schlammbed gleichmäßig ohne große Toträume durchflossen wird. Das Wasser fließt durch getauchte

Ablaufrohre und die Ablaufrinne aus dem SBtR ab. Der Schlammabzug erfolgt über eine um den Mitteldom verlaufende Schlammabzugsrinne. Der SBtR ist mit einer drehbaren Brücke ausgerüstet, an der eine Schwimmschlammräumung, eine Reinigungsbürste für die Ablaufrohre, 4 langsam laufende Rührwerke für die Umwälzung und Entgasung des Schlammbettes sowie ein Räumchild für die Schlammabzugsrinne des SBtR befestigt sind.

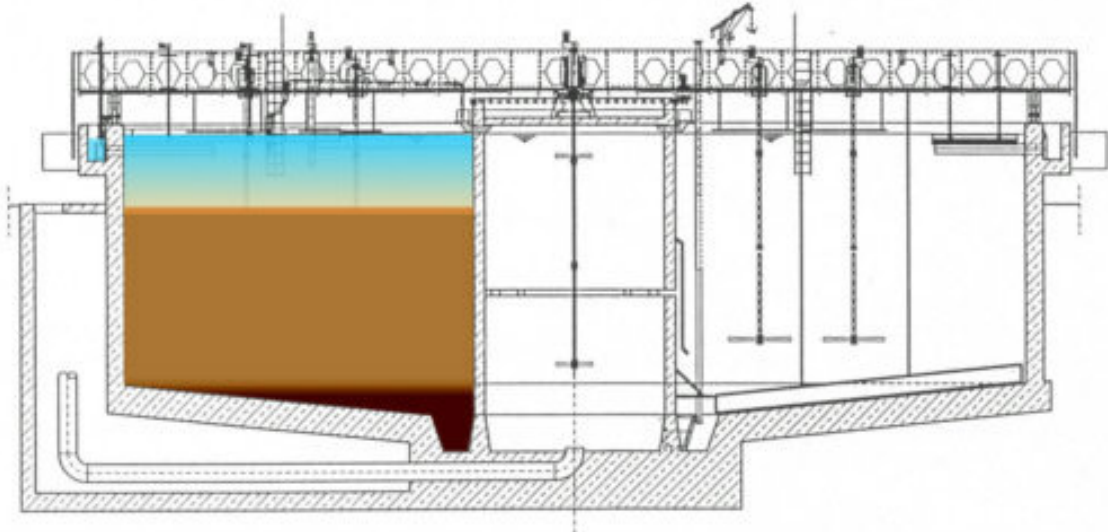


Abb. 3: Aufbau der Schlammbettreaktoren der KA Flensburg

Die mit dem Schlammbettreaktor 1 (SBtR 1) der Kläranlage Flensburg erzielbaren Denitrifikationsleistungen wurden in großtechnischen Versuchen 2001 ermittelt und bildeten die Grundlage für die Ausführungsplanung der zweiten Straße bestehend aus TK 2 und SBtR 2 [vgl. Buß et al. 2001].

### 3.2 Hydraulische Untersuchungen 2002 ohne Substratdosierung

Im Zeitraum September bis Oktober 2002 wurden mit dem SBtR 1 der Kläranlage Flensburg Versuche zum hydraulischen Verhalten der Schlammbettreaktoren durchgeführt. Dabei wurde das Expansionsverhalten des Schlammbettes ohne Substratdosierung und bei unterschiedlichen hydraulischen Bedingungen untersucht [vgl. auch Einfeldt et al. 2002]. Als wesentliche Erkenntnisse ergaben sich:

- Im Bereich von Flächenbeschickungen der Größenordnung 1,3 bis 2,7  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  ist das Absinken des Schlammspiegels bei Rücknahme der Beschickungsmenge ein reversibler Prozess.
- Die Zeit für das Absinken und Expandieren hängt auch von der Rührwerksdrehzahl ab.
- Rührwerksdrehzahlen um  $450 \text{ h}^{-1}$  erwiesen sich als guter Kompromiss zwischen Schlammбетthomogenität und -stabilität.

### 3.3 Hydraulische Untersuchungen 2005 mit Substratdosierung

In weiteren Versuchen mit Substratdosierung sollte in 2005 geklärt werden, inwieweit

- die Substratdosierung und die erhöhte Bildung von Stickstoffgas das Expansionsverhalten verändert,
  - das Zusammensinken und Expandieren des Schlammбетtes die Nitrat-Abbauleistung beeinflusst und
  - sich der Austrag abfiltrierbarer Stoffe bei wechselnden Beschickungsmengen verändert.
- Außerdem wurde ein großtechnischer Tracerversuch mit Kochsalzlösung durchgeführt, der Aufschluss über das Verweilzeitverhalten der Wasserphase im SBtR gab.

Die Untersuchungen erfolgten von Mai bis September 2005. Als Substrat wurde ein Gemisch aus Methanol (techn.) und Ethanol (Reststoff einer örtlichen Brauerei) mit einem CSB von rd. 200 g/l eingesetzt. Zusammenfassend ergaben sich folgende wichtige Feststellungen zum Betriebsverhalten der Schlammбетtreaktoren:

- Das Expansionsverhalten des Schlammбетtreaktors wird durch die Substratdosierung im untersuchten Bereich nur wenig beeinflusst. Im Wesentlichen hängt die Schlammspiegelschwankung von der Beschickungsmenge, von der Ausgangshöhe des Schlammбетtes und möglicherweise auch von der längerfristigen Vorbelastung ab.
- Beim Absenken der Flächenbeschickung ausgehend von  $2,7 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  ergab sich ein Zusammenfallen in der Größenordnung von 4 bis 5 % je  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ . Beim Anheben der Beschickungsmenge ausgehend von  $1,9 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  ergab sich eine Expansion in der Größenordnung von 4,6 % je  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ . Für einen Betriebsbereich zwischen  $1,7$  und rd.  $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  mit Substratdosierung kann bei diesen Substratmengen ein reversibles Expansionsverhalten von i.M. 4,5 % je  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  angesetzt werden.
- Die Erschließung des Schlammбетtes ist von der hydraulischen Verweilzeit und vom Schlammgehalt im SBtR abhängig. Nach den Hydraulikversuchen in Verbindung mit den Ergebnissen des Tracerversuches ist davon auszugehen, dass eine Reduzierung der Flächenbeschickung auf bis zu  $1,7 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  nicht zu Umsatzrückgängen im SBtR aus hydraulischen Gründen führt, solange ausreichend Substrat dosiert wird. Wird die Substratdosierung nach der Zulaufkraft geregelt, so sind Ablaufwert-Schwankungen aus hydraulischen Gründen unwahrscheinlich.
- Das Betriebsverhalten des SBtR hinsichtlich Schlammбетtestabilität und Trübstoffen im Ablauf wird im Prinzip unterhalb einer Flächenbeschickung von  $2,1 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  schlechter, dies vermutlich umso mehr bei zunehmenden Feststoffgehalten, die wiederum für einen sparsamen Einsatz von Substrat angestrebt werden sollten.
- Eine Erhöhung der Flächenbeschickung auf bis zu  $3,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  ausgehend von  $1,9 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  kann bei ausreichend niedrigem Ausgangs-Schlamm Spiegel zumindest bis zu einer Zeitdauer von 4 Stunden toleriert werden.

- Der durch die Tracermessung bei einer Flächenbeschickung von  $1,9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  ermittelte ausgenutzte Volumenanteil von 89 % ist bereits so hoch, dass auf eine weitere Tracermessung bei höherer Flächenbeschickung verzichtet wurde. Da die Durchströmung des SBtR vom Gesamt-Feststoffgehalt und der Schlamm-dichte im Schlamm-bett abhängig sein kann, wäre für einen Betriebszustand mit deutlich erhöhtem Feststoffgehalt ggf. eine zusätzliche Tracermessung sinnvoll.

### 3.4 Substratdosierung und Nitratatmung

Der durch technisches Substrat entfernte Nitratanteil in den Schlamm-bettreaktoren befand sich ab 2005 auf einem hohen Niveau. Über die zu erzielenden Denitrifikationsraten bei der Dosierung technischer Substrate wie Ethanol oder Methanol sind in der Literatur Daten aus Kurzzeitatmungsversuchen zu finden.

Betriebserfahrungen aus 2001/2002 ließen erwarten, dass durch Änderungen in der SBtR-Betriebsweise niedrigere Methanol-Ethanol-Verbräuche möglich sind. Hierfür wäre eine erhöhte Grundatmung des SBtR-Schlammes erforderlich, die ggf. durch

- a) Umstellungen der SBtR-Betriebsweise oder
- b) Veränderung der Betriebsweise der Hochlastbelegung oder Variation der Schlamm-entnahme-Strategie

erreicht werden kann. Bereits früher hatten Malchow [Malchow 1995] und Stübner [Stübner 1993] eine Korrelation zwischen Schlamm-belastung in der Hochlaststufe und den Denitrifikationsraten in der nachgeschalteten Denitrifikation gefunden. Malchow [Malchow 1995] hatte u.a. Langzeit-Batchversuche über 4 – 5 Tage durchgeführt, dabei war die Abnahme des Trockensubstanzgehaltes im Laufe des Versuches nicht mehr vernachlässigbar. Schreff [Schreff 2000] berichtet, dass die Biomasse in der nachgeschalteten Denitrifikation erst bei längeren Schlammverweilzeiten von über 6 Tagen „zerfällt“. Für die Schlamm-bettreaktoren der Kläranlage Flensburg waren für die Betriebsweise seit April 2005 Verweilzeiten von über 8 Tagen anzusetzen.

Im Labor der Kläranlage Flensburg wurden mehrere Versuche zur Ermittlung der im Schlamm-bettreaktor durch Schlammzugabe erreichbaren Nitratumsätze durchgeführt. Zur Bestimmung der substratspezifischen Denitrifikationsraten dienten anoxische Batchversuche, in denen über einen längeren Zeitraum die Verläufe des Nitratgehaltes und des organischen Trockensubstanzgehaltes (oTS) beobachtet wurden. Da es hierzu keine standardisierten Versuche gibt, mussten in einigen Vorversuchen der Versuchsaufbau und die -durchführung getestet sowie an die Fragestellung angepasst werden. Bei einer Versuchsdauer von jeweils bis zu 15 Tagen ist bei der Auswertung von einer signifikanten oTS-Abnahme auszugehen, was auch die in der Vergangenheit durchgeführten Trockensubstanz-Messungen von zugegebenem Schlamm und aus dem SBtR abgezogenem Schlamm belegen. Mit den Versuchen sollte u.a. geprüft werden, inwieweit die verschiedenen Schlämme aus Schwachlaststufe und Hochlaststufe tatsächlich unterschiedliche Denitrifikationsraten ergeben, und welchen Anteil die Überschussschlamm-Zugabe in die Schlamm-bettreaktoren am Gesamtumsatz hat.

Die Auswertung der Versuche erfolgte mit einem am Privatinstitut für Klärtechnik GmbH, Bad Schwartau (PIK), entwickelten Berechnungsverfahren. Als Ergebnis der Versuche erhält man Parametersätze zur Charakterisierung der Überschussschlamm-Eigenschaften hinsichtlich ihrer Wirkung als Substrat in den Schlammbettreaktoren. Diese Parametersätze wiederum dienen als Ausgangsgröße für die Berechnung unterschiedlicher betrieblicher Szenarien. Möglich sind z.B.

- die Berechnung des Methanolbedarfes in Abhängigkeit von der Substratschlamm-Qualität und -Menge, Trockensubstanzgehalt im SBtR, Temperatur, Nitratlaufkonzentration usw.,
- die Bestimmung eines optimalen Betriebspunktes,
- die Anpassung der Regelungsfaktoren, um manuelle Eingriffe des Betriebspersonals in die Regelungsautomatik zu minimieren, sowie
- die zukünftige Verknüpfung mit Leistungsdaten der Filtration, um die übergreifende Gesamtoptimierung hinsichtlich des Substratbedarfes zu erreichen.

Auf Grundlage der bislang vorliegenden Messergebnisse zur Nitratatmung ist es denkbar, dass bestimmte Betriebszustände, die von der Betriebsweise 2005 stärker abweichen, ungenau wiedergegeben werden. Weitere Aufschlüsse zum Anwendungsbereich dieses vereinfachten Modells soll ein gemeinsames Projekt der PIK GmbH und der TU Hamburg-Harburg, Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz, zur Reaktormodellierung nach dem komplexeren Modell ASM 3 [Gujer et al., 1999] ergeben.

## 4 Zusammenwirken der biologischen Verfahrensstufen

Die Stickstoffelimination verteilt sich auf der Kläranlage Flensburg derzeit auf folgende Behandlungsstufen:

- 1. Stufe, Schwachlastbiologie: Ca. 25 % des Kläranlagenzulaufes werden vollständig nitrifiziert und zu 50 - 80 % denitrifiziert.
- 1. Stufe, Hochlastbiologie: Ca. 75 % des Kläranlagenzulaufes werden weder nitrifiziert noch denitrifiziert.
- 2. Stufe, Tropfkörper: weitgehende Nitrifikation, < 1 mgN/l. Nur bei ausgeprägtem Mischwasserzufluss erhöhte Ablaufwerte aus der Tropfkörperstufe bis 10 mgNH<sub>4</sub>-N/l.
- 2. Stufe, Schlammbettreaktoren: Denitrifikation bis zu einer Regelgröße von ca. 5 – 6 mgNO<sub>3</sub>-N/l.
- 3. Stufe, Filtration: Restnitrifikation auf < 1 mgNH<sub>4</sub>-N/l und Restdenitrifikation auf < 8 mgNO<sub>3</sub>-N/l.

Im Bereich der Filtration ist planerisch außerdem die Möglichkeit der Nutzung einzelner Festbettreaktoren (FBR) für eine Trübwassernitrifikation vorgesehen worden. Bei Vorversuchen im Labormaßstab wurden in 2005 unterschiedliche Chemikalien zur Anhebung der Säurekapazität des Trübwassers untersucht. Außerdem wurden die ohne Chemikaliengabe erreichbaren Ablaufwerte und pH-Absenkungen ermittelt. Der Ablauf der Trübwasserbehandlung wird in den Kläranlagenzulauf zurückgeführt und im Bereich der ersten biologischen Stufe denitrifiziert.

Seit Anfang 2006 wird ein FBR an 5 Tagen pro Woche großtechnisch ohne Säurekapazitätsaufstockung zur Trübwassernitrifikation verwendet. Dabei wurden die im Versuchsreaktor erzielten Raumumsatzleistungen von ca. 60 - 70 gN/(m<sup>3</sup>·h) noch überschritten, allerdings erfolgt die NH<sub>4</sub>-N-Umwandlung zu rd. 80 % nur bis zum Nitrit. Nach Fertigstellung des Trübwasserausgleichbeckens kann die Trübwassernitrifikation weiter optimiert werden.

## 5 Ausblick

Seit Oktober 2005 gelten für die Kläranlage Flensburg die verschärften Anforderungen des Dringlichkeitsprogrammes des Landes Schleswig-Holstein aus dem Jahre 1989. In den sechseinhalb Jahren der ausbaubegleitenden Betriebsoptimierung von 1999 bis 2006 konnte das Verfahren der nachgeschalteten Denitrifikation mit Schlammbedtreaktoren erfolgreich in die Praxis übertragen und in das Gesamtverfahren integriert werden. Die Überwachungswerte werden jederzeit eingehalten trotz reduzierter Leistungsfähigkeit der beiden Nitrifikationstropfkörper durch die aktuelle Schneckenbesiedelung.

Für zukünftige Schneckenentfernungen ist zu berücksichtigen, dass im Falle einer Durchführung außerhalb der kalten Jahreszeit während der Versuche und an den Tagen danach eine betriebsstabile Einhaltung der Stickstoffüberwachungswerte zu gewährleisten ist. Nach den Untersuchungen in 2004/2005 ist mit mindestens 1 bis 2 Wochen bis zur Wiederherstellung der vollen Leistungsfähigkeit zu rechnen. Unter Umständen hat dies zur Folge, dass bei Abwassertemperaturen > 12 °C zur Einhaltung des Stickstoffüberwachungswertes nur 1 Tropfkörper je Woche behandelt werden kann. Dabei müssen Randbedingungen, wie z.B. der Gesamtzulauf zur Kläranlage und die Abstimmung der Eliminationsleistungen von Schwachlastbelegung und Filtration, berücksichtigt werden. Noch nicht geklärt ist, inwieweit eine „schonendere Schneckenentfernung“ durch geringere Methanolkonzentrationen und geringere Ammoniumkonzentrationen diesen Zeitraum verkürzen kann. Bei Ammoniakkonzentrationen unterhalb von 15-20 mgNH<sub>3</sub>/l könnte die Schneckenentfernung unvollständig werden, aber dennoch ausreichend für die Wiederherstellung einer befriedigenden Leistungsfähigkeit der Tropfkörperstufe sein.

Um Versuchs-Eingriffe in den Normalbetrieb der Kläranlage gering zu halten, wird derzeit geprüft, mit welcher Zuverlässigkeit auf Basis von verschiedenen computergestützten Berechnungsmodellen das Betriebsverhalten der Schlammbedtreaktoren nachgebildet werden kann. Zur Parameterfestlegung und Erhöhung der Modellgenauigkeit sollten ergänzende Laboruntersuchungen mit SBtR-Schlamm und Hochlastschlamm der Kläranlage Flensburg durchgeführt werden. Ziel ist die Minimierung des Einsatzes externer technischer Substrate.

## Danksagung

Die Autoren danken der Betriebsleitung und dem Betriebspersonal der KA Flensburg für die sehr engagierte Durchführung und gemeinsame Betreuung der ausbaubegleitenden Betriebsoptimierung.

## QUELLENVERZEICHNIS

**ATV (2001):** Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 281 Bemessung von Tropfkörpern und Rotationstauchkörpern, September 2001

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

**Buß S., Einfeldt J., Günter H.-O., Sekoulov I. (2001):** Schlammbettreaktoren zur Denitrifikation mit Überschussschlamm auf der KA Flensburg: Verfahrenskonzept, Bemessung, Betriebsergebnisse; 14. Fachtagung „Weitergehende Abwasserreinigung als Beitrag zum Schutz von Nord- und Ostsee“, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Band 33, S.99-108

**Einfeldt J., Günter H.-O., Dorias B., Drews D. (2004):** Schneckenbefall bei Nitrifikationstropfkörpern; KA - Abwasser, Abfall 2004 (51) Nr.1, S. 44-47

**Einfeldt J., Günter H.-O., Sekoulov I. (2002):** Verfahrensoptimierung mehrstufiger Abwasserreinigungssysteme am Beispiel der Kläranlage Flensburg, 15. Fachtagung „Norddeutsche Tagung für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz“, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Band 40, S. 193-200

**Gujer W., Henze M., Mino T. und van Loosdrecht M. (1999):** Activated Sludge Model No. 3, Wat.Sci.Tech. Vol. 39 (1999), No. 1, pp183-193

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

**Schreff, D. (2000):** Nutzung interner Kohlenstoffquellen bei der Stickstoffelimination in mehrstufigen Kläranlagen, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft Band 155, TU München 2000

**Stübner, E. (1993):** Untersuchungen zur Denitrifikation mit hochbelastetem Belebtschlamm als H-Donator, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 10, 1993

## ANSCHRIFT DER AUTOREN

- Dipl.-Ing. J. Einfeldt  
Privatinstitut für Klärtechnik GmbH, Botterstieg 1, 23611 Bad Schwartau  
mailbox@pik-net.de
- Dr.-Ing. H.-O. Günter  
Ingenieurbüro Buß-Hempel-Günter GmbH, Botterstieg 3, 23611 Bad Schwartau  
mailbox@b-h-g.eu