

Stickstoffrückbelastung ■ Quellen ■ Relevanz ■ Lösungsansätze

Dieter Schreff, Ing.-Büro Dr.-Ing. Schreff, Irschenberg

1 „Einführung“ / Begriffsdefinition

Bei Systemen mit getrennter Schlammbehandlung ergeben sich signifikante Stickstoffrückbelastungen durch interne Prozessabwässer. Diese stammen aus dem anaeroben Abbau von organischen Stoffen in der Faulung. Der darin enthaltene Stickstoff und auch Phosphor, etc. werden wieder freigesetzt und gehen in Lösung. Bei der Entwässerung bleiben diese Stoffe in der wässrigen Phase (Zentrat oder Filtrat) und gehen wieder in den Kreislauf zurück.

Nährstoffe – Stickstoff und Phosphor - werden teilweise durch Schlammentnahme aus dem Abwasser entfernt (ca. 30-40 % des Stickstoffs im Zulauf). Einerseits direkt durch die Entnahme von partikulären Stoffen aus dem Abwasser (Primärschlamm). In deutlich höherem Maß durch die sog. Inkorporation bei der Überschussschlammproduktion (Einbau in die Zellen).

Je nach Abbau der organischen Stoffe in der Faulung (ca. 45 bis 55 %) liegt auch die interne Rückbelastung in dieser Größenordnung (JARDIN, 1996).

Die interne Rückbelastung durch die Schlammbehandlung beträgt somit

- zwischen 13 und 22 % bezogen auf den Zulauf beim Stickstoff; bei Annahme von Fremdschlämmen oder Co-Substraten kann dieser Faktor auf über 25 % ansteigen.
- Wobei die hydraulische Rückbelastung bei kommunalen Kläranlagen zu vernachlässigen ist

Die Rückbelastung interne Kreisläufe ist höher, wenn Kläranlagen

- zweistufige aufgebaut sind (erhöhte Schlammproduktion in der ersten Stufe)
- dauerhaft hoch belastet sind
- einen hohen oTR-Abbau in der Faulung aufweisen
- Fremdschlämme und/oder Co-Substrate mitbehandeln

Diese Abwässer führen daher zu einer ständigen, internen Grundbelastung der Kläranlage - insbesondere bei den Parametern Stickstoff und Phosphor. Beim Phosphor wird dieser Problematik oft durch eine überstöchiometrische Fällmitteldosierung begegnet. Beim Stickstoff können verschiedene andere Ansätze gewählt werden, wie dieser Beitrag zeigen soll.

In Kläranlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung tritt keine nennenswerte interne Rückbelastung auf. Hier führen nur die Trübwässer aus den Schlammspeichern zu einer geringen Kreislaufbelastung.

2 Charakteristik der internen Rückbelastung

2.1 Stickstoffbilanzen

Tabelle 1 zeigt die Stickstoffbilanzen für ein- und zweistufige Kläranlage im Vergleich. Bei der dargestellten Beispielrechnung macht die interne Rückbelastung folglich 16 bzw. 21 % der eigentlichen Zulaufkraft aus.

Tabelle 1: Vergleich der Stickstoffbilanzen (alle Werte in $g_N/EW \times d$) für ein- und mehrstufigen Kläranlagensysteme (SCHREFF & KAMMERER, 2000)

Stoffstrom	Index	System "Einstufige Belebung"	System "Hochlastbelebung / Tropfkörper"
Zulauf Kläranlage	N_0	10,0	10,0
Ablauf Vorklärung	$N_{e,VK}$	10,6	11,1
Primärschlamm	N_{PS}	1,0	1,0
Überschussschlamm (Biologie)	$N_{ÜS}$	2,2	2,9
Rückbelastung	N_{RB}	1,6	2,1
Denitrifikation	N_{DN}	5,7	5,5
Ablauf Kläranlage	N_e	2,7	2,7
Klärschlamm	N_{KS}	1,6	1,8

Der sedimentierbare, partikuläre Anteil des Stickstoffs wird in der Vorklärung mit dem Primärschlamm entnommen. Einen großen Einfluss übt hier das Verhältnis TKN_{part}/TKN_{ges} und der Anteil der absetzbaren Stoffe aus, welche vorwiegend vom vorhandenen Kanalnetz beeinflusst werden. Die entnommene Stickstofffracht kann über den Stickstoffanteil $i_{N,PS}$ bzw. $i_{N,ÜS}$ im organischen Anteil des Primär- bzw. Überschussschlammes bestimmt werden. Dieser liegt zwischen 0,03 und 0,09 g_N/g_{oTS} [4].

Auch der Stickstoff im Ablauf stellt eine maßgebende Senke in der Gesamtbilanz dar, auch wenn dieser Wert i.d.R. deutlich kleiner als der vorgegebene Überwachungswert ist. Bei einer Eliminationsleistung von etwa 75 % beträgt dieser Wert etwa 2,7 g_N/EW .

Zweite maßgebende Stickstoffsene ist der im Klärschlamm enthaltene Anteil N_{KS} , wobei die Menge und Zusammensetzung des anfallenden Schlammes von der Art der Schlammbehandlung bestimmt wird. Der Stickstoff-Anteil, der mit dem Klärschlamm aus dem Gesamtsystem "Kläranlage" ausgeschleust wird (= Nettoentnahme), schwankt normalerweise zwischen 11 und 22 %.

Bei mehrstufigen Systemen wird ein erhöhter Anteil an Stickstoff mit dem Überschussschlamm entnommen. Entsprechend größer ist bei diesen Anlagen auch die interne Rückbelastung.

2.2 Maßgebende Teilströme

2.2.1 Schlammeindickung

Die Rückläufe aus der Schlammeindickung (statisch oder maschinell) sind gewöhnlich nur gering mit Stickstoff belastet ($< 100 \text{ mg/l TKN}$), auch wenn dieser Teilstrom den größten Anteil an der hydraulischer Rückbelastung aller Prozesswässer ausmacht.

Allerdings kann bei Anlagen mit gezielter „bio-P“ und statischer Voreidickung bereits hier eine erhöhte Phosphor-Rückbelastung entstehen.

2.2.2 Trübwasser aus Faulung

Dieser Teilstrom sollte beim Betrieb einer Kläranlage heutzutage nicht mehr relevant sein, da eine kontinuierliche Betriebsweise bzw. Durchmischung üblich ist.

Die Belastung im Trübwasser liegt höher als im Zentrat, da neben den gelösten Anteilen (Ammonium), auch ungelöste (partikuläre) Stickstoffanteile enthalten sind.

2.2.3 Zentrat/Filtrat aus Schlammmentwässerung

Über die Herkunft und die Einflußgrößen des Stickstoffanteils in diesen Teilströmen wurde bereits in den vorangegangenen Kapitels eingegangen. Die sog. Rückbelastung wird vorwiegend von diesen Teilströmen bewirkt.

Die Stickstoffkonzentration sind hoch ($600 - 1.500 \text{ mg/l}$), und hängen zwangsläufig vom TR der Faulung sowie vom organischen Abbaugrad ab.

Zentrat enthält kaum CSB, die vorhandenen Anteile gelten als schwer abbaubar.

Bei verkürzten Entwässerungszeiten (z.B. nur während der Regelarbeitszeit) ist dieser teilstrom oft von unregelmäßigem Anfall geprägt.

2.2.4 Brüdenkondensat aus der Schlamm Trocknung

Bei Kondensation von heißen Abluftströmen einer Schlamm Trocknung mit hoher Wasserdampfbeladung entstehen Brüden, die mit Ammonium und flüchtigen organischen Stoffen belastet sind.

Dieser Teilstrom entfällt bei Niedertemperaturtrocknungssystemen ohne Kondensation.

2.3 Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

2.3.1 Nitrifikation

Bei der Bemessung des Belebungsbeckens (Nitrifikationsvolumen) fließt eine erhöhte N-Gesamtfracht nicht direkt volumenvergrößernd ein. Zu berücksichtigen sind hier nur die Stoßbelastungen (maximale/mittlere Fracht) in Form des Sicherheitsfaktors bei der Ermittlung des erforderlichen Schlammalters, d.h. rechnerisch müsste mehr Beckenvolumen geschaffen werden.

Im Kläranlagenbetrieb wirken sich kurzfristige Frachtspitzen dann sichtbar aus, d.h. erhöhte Ablaufkonzentrationen, wenn das Puffervermögen einer Anlage zu gering ist.

Für die Auslegung von Tropfkörpern zur Nitrifikation (vergl. zweistufige Kläranlagen) ist eine erhöhte Fracht jedoch direkt in der Bemessung (z.B. TKN-Flächenbelastung) zu berücksichtigen.

Zu berücksichtigen sind diese Spitzen aber besonders bei der Ermittlung des Sauerstoffbedarfs (Menge pro Stunde) bzw. bei der Auslegung und Konzeption der Gebläse- und Belüftungseinrichtungen.

Eine Möglichkeit zur Dämpfung dieser Frachtspitzen ist die Bewirtschaftung (Mengenausgleich) durch (a) Verlängerung der Entwässerungszeiten oder (b) den Bau und den Betrieb eines Prozesswasserspeichers (vergl. Kap. 3.1).

2.3.2 Denitrifikation

Hier führt eine erhöhte N-Gesamtfracht i.d.R. zu einer Vergrößerung des Belebungsbeckens (Denitrifikationsvolumen), um dem ungünstigeren N/BSB₅-Verhältnis gerecht zu werden. Stoßbelastungen wirken sich nicht aus.

Bei vorgeschalteter Denitrifikation muss außerdem ein erhöhtes Rezirkulationsverhältnis angesetzt werden, um erhöhten Nitrat-Ablaufkonzentrationen zu begegnen.

Diesbezüglich ist oft eine Teilstrombehandlung sinnvoll, um den Hauptstrom effektiv zu entlasten (vergl. Kap. 4.2) Alternativ könnte auch eine externe Kohlenstoffquelle in den Hauptstrom dosiert werden.

3 Lösungsansätze

3.1 Bewirtschaftung / Speicherung

Durch die gezielte Zugabe der Prozessabwässer kann in vielen Fällen eine Verbesserung der Situation hinsichtlich einer weitergehenden Stickstoffelimination (Nitrifikation) erreicht werden. Eine gleichmäßige, über den Tag verteilte Zugabe dämpft die Stoßbelastungen (**Bild 1**). Die manchmal praktizierte Variante der Zudosierung in den Nachtstunden erfordert eine genaue Kenntnis der Zulaufdynamik (u.a. N/BSB₅-Verhältnis), andernfalls kann dies kontraproduktiv sein.

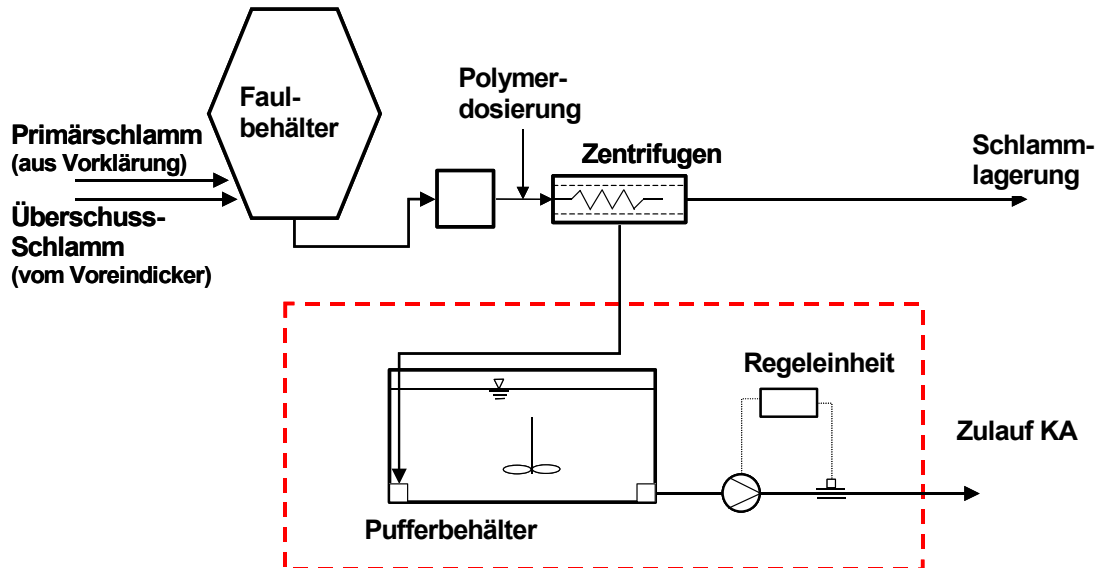


Bild 1: Schematische Darstellung zur Einbindung eines Pufferbehälters für die Prozesswasserbewirtschaftung

Neben einer reinen Bewirtschaftung, kann ein Pufferbehälter mit Belüftung auch als Durchlaufreaktor (ohne Feststoffrückhaltung) zum Teilabbau durch Nitritation (= unvollständige Nitrifikation) genutzt werden.

4.2 Behandlungsverfahren

4.2.1. Übersicht

Eine signifikante Reduzierung der Hauptstrombelastung kann jedoch nur durch eine separate Teilstrombehandlung mit Stickstoffelimination erreicht werden. Die Effizienz und Wirtschaftlichkeit einer derartigen Maßnahme ist insbesondere dann gegeben, wenn die Hauptstromkapazität nur aufwendig erweitert werden kann bzw. die Zusammensetzung des Abwasser sehr ungünstig (z.B. N/CSB > 0,12) ist.

Aus der Vielzahl der möglichen Verfahren zur Stickstoffelimination aus Prozessabwasser haben sich bisher einige biologische Verfahren und das Strippverfahren großtechnisch bewährt. Bei den biologischen Verfahren können sowohl das Belebtschlamm- als auch das Biofilmverfahren eingesetzt werden. Im

größtechnischen Einsatz haben sich vorwiegend Belebtschlammssysteme, meist mit diskontinuierlicher Verfahrensweise (SBR-Verfahren) durchgesetzt.

Bei der Planung und beim Betrieb einer biologischen Behandlungsanlage für Prozessabwasser sind folgende Randbedingungen von Bedeutung [1]:

- hohes Niveau an Stickstoffkonzentrationen (600 bis 1500 mg/l)
- erhöhte und ausgeglichene Temperaturen
- geringer Volumenstrom mit schwankendem Anfall
- ungünstiges Nährstoffverhältnis

Diese Voraussetzungen führen wiederum zu signifikanten Rückschlüssen auf die Konzeption von Anlagen zur biologischen Behandlung von Prozessabwässern aus der Schlammbehandlung:

- Die hydraulische Situation ist von untergeordneter Bedeutung (geringer Volumenstrom).
- Unter Beachtung von Hemmeffekten können günstige reaktionskinetische Voraussetzungen im Reaktor geschaffen werden (hohes Schmutzfracht- und Temperaturniveau).
- Die Dosierung von Chemikalien zur pH-Wert-Stützung (theoretisch) und/oder von externem Kohlenstoff zur Denitrifikation ist erforderlich.
- Die Anforderungen an die Abwasserqualität (Zulauf) bezüglich Feststoffen sind hoch.
- Die Anforderungen an die Ablaufqualität bezüglich Suspensa (bzw. CSB und P) ist von untergeordneter Bedeutung.

Tabelle 2: Verfahrensübersicht zur Prozesswasserbehandlung

Biologische Verfahren	Physikalische Verfahren
<p>Ziel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • N-Elimination (N/DN) • Nitrifikation (nur N) • Nitritation/Denitritation (Sharon) • Deammonifikation <p>Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Belebtschlamm (Belebung, SBR, Chemostat) • Biofilm (Tropfkörper, Wirbelbett) 	<p>Ziel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • N-Elimination mit Wertstoffrückgewinnung <p>Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Luftstrippung mit saurer Wäsche • Dampfstrippung • MAP-Fällung • (pH-Wert-Verschiebung)

4.2.2 Luftstrippung mit saurer Wäsche

Die chemisch-physikalische Entnahme des Stickstoffs aus Prozessabwasser erfolgt über Stripppverfahren bei denen eine Verschiebung des Dissoziationsgleichgewichts von gelöstem Ammonium (NH_4) zu flüchtigem Ammoniak (NH_3) erfolgt. Durch anschließende saure Wäsche mit Schwefelsäure bzw. Rektifikation wird Ammoniakwasser (Ammoniumsulfat) ausgeschleust und kann als Wertstoff (Dünger) eingesetzt werden. Charakteristisch sind hier der Wärme- und Laugebedarf (NaOH) sowie der Säurebedarf [2]. Die kurzfristige In- und Außerbetriebnahme dieser Systeme ist möglich.

4.2.3 Biologische Verfahren

Bisher am weitesten verbreitet ist die konventionelle „Nitrifikation / Denitrifikation“ mit Dosierung einer externen Kohlenstoff-Quelle im SBR-Verfahren (**Bild 2**). Hier erfolgt der Abbau des Ammoniums zu Nitrat (Nitrifikation/N) und vom Nitrat zu molekularem Stickstoff (Denitrifikation/DN).

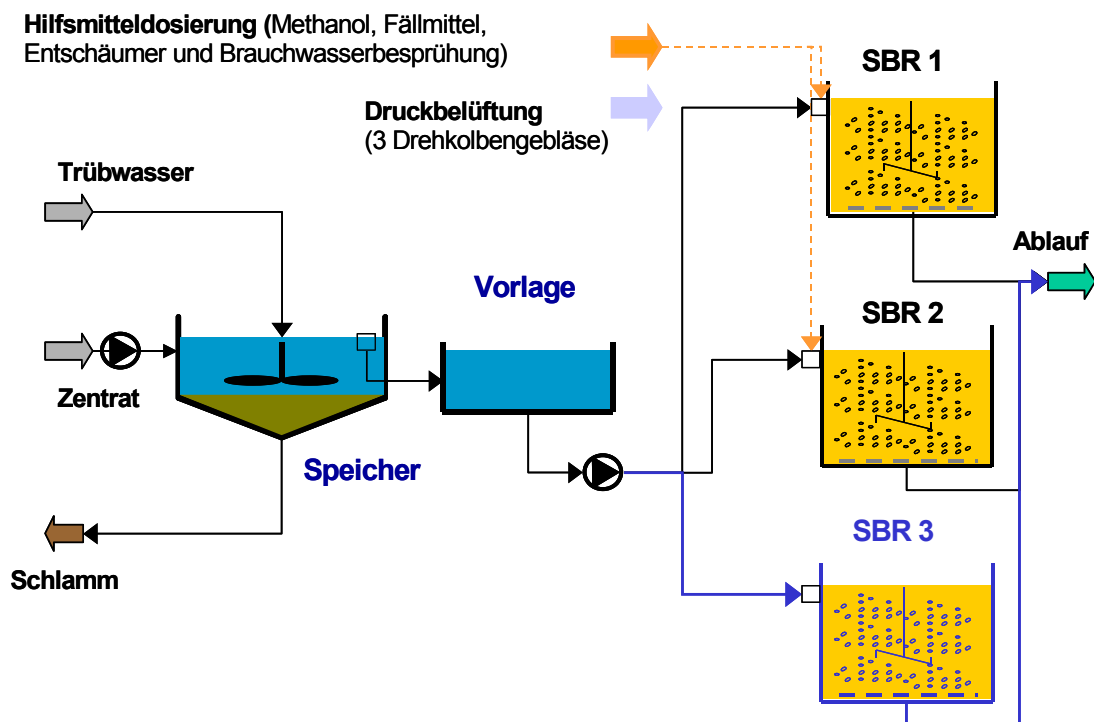


Bild 2: Schematische Darstellung einer biologischen Prozesswasserbehandlungsanlage im SBR-Verfahren

Dieses aus der kommunalen und industriellen Abwasserbehandlung bereits seit langem bekannte Verfahren bietet im Hinblick auf die biologische Behandlung von Prozessabwässern aus der Schlammbehandlung eine Reihe von Vorteilen [5]:

- Die SBR-Technik benötigt relativ geringe Flächen, da nur ein Behälter für die biologischen Prozesse und die Schlammabtrennung erforderlich ist.

- Die hydraulische Situation ist von untergeordneter Bedeutung, da nur ein geringer Volumenstrom anfällt, der zudem sinnvollerweise durch einen Vorspeicher vollkommen ausgeglichen werden kann.
- Durch geeignete Füllstrategien können günstige reaktionskinetische Voraussetzungen im Reaktor geschaffen werden, da ein hohes Schmutzfrachtniveau vorherrscht. Allerdings sind Hemmeffekte zu beachten.
- Die Betriebsstrategie kann durch Variation der Austauschraten, der Füllstrategie, und der Zyklusdauer entsprechend den betrieblichen Erfahrungen relativ einfach angepasst werden.
- Aufgrund des in der Praxis oft beobachteten Prozessverlaufs („Nitritbildung dominiert Nitratbildung“) kann der Einsatz von Chemikalien zur pH-Wert-Stützung und die Zugabe von externen Kohlenstoff zur Denitrifikation gegenüber den theoretischen Erwartungswerten meist reduziert werden.

Bei der Konzeption von SBR-Anlagen zur biologischen Prozessabwasserbehandlung ist zu prüfen, ob eine Vorbehandlung notwendig ist. Dies hängt im Wesentlichen von den zu behandelnden Abwasserströmen ab. Erhöhte Feststoffkonzentrationen (z.B. aus Trübwasser) müssen vorher durch entsprechende Sedimentationsbecken abgetrennt werden.

Zwischen der Vorreinigungsstufe und der eigentlichen SBR-Stufe sollte ein Vorlagespeicher angeordnet werden. Ist ein Vorspeicher vorhanden, kann die SBR-Stufe gezielt befüllt werden. Die Bemessung des erforderlichen Speichervolumens richtet sich nach der Zuflusssdynamik sowie der Anzahl der vorhandenen Reaktoren und der Beschickungsstrategie. Um Ablagerungen im Vorspeicher zu vermeiden, ist ein Rührwerk in den Behälter einzubauen.

Die Bemessung der Behältervolumina kann nicht nur über das erforderliche Schlammalter erfolgen, sondern muss auch die zu erwartenden Umsatzraten miteinbeziehen. Eine wesentliche Funktion kommt hier außerdem den Gebläsen und dem Belüftungssystem zu, da der Sauerstoffbedarf hoch ist.

Als externe Kohlenstoffquelle wird meist Methanol eingesetzt, um eine weitgehende Denitrifikation zu erzielen. Gleichzeitig wird dadurch der pH-wert stabilisiert, der durch die Nitrifikation stark sinken kann. Die Leistungsfähigkeit dieser Lösung ist vielfach bewährt; eine Stickstoffelimination bis zu 95 % ist realisierbar.

Alternativ zu den bisher bekannten konventionellen Stoffwechselfaden (N/DN) wurden bei verschiedenen Untersuchungen mit Abwässern, die extrem hohe Ammoniumkonzentrationen (> 500 mg/l) aufweisen, jedoch auch unspezifische Stickstoffverluste in der Bilanzierung beobachtet. Diese konnten nicht der Denitrifikation zugeschrieben werden, da sie bei sehr geringen CSB/N-Verhältnissen (ohne Kohlenstoffdosierung) gemacht wurden.

4 Zusammenfassung und Fazit

Die sog. „interne Rückbelastung“ stammt aus unterschiedlichen Quellen des Schlammpfads, vorwiegend aus der Schlammentwässerung. Sie wurde und wird bei der Anlagenkonzeption oft unterschätzt oder vergessen.

Kritisch ist die interne Rückbelastung nur bei Kläranlagen mit getrennter, anaerober Schlammstabilisierung.

Vorwiegend wirkt sich die interne Rückbelastung beim Stickstoff (10 – 25 % der Zulaufbelastung), teilweise aber auch beim Phosphor (insbesondere bei bio-P-Anlagen) aus.

Eine erste Verbesserung kann in vielen Fällen bereits durch verlängerte Entwässerungszeiten und/oder durch Bewirtschaftung der Prozesswässer erzielt werden.

Die Teilstrombehandlung von Prozessabwässern führt meist zu einer signifikanten Entlastung der Stickstoffbelastung für den Hauptstrom. Dies kann sowohl für die Erweiterung als auch zur Leistungsverbesserung von Kläranlagen genutzt werden.

Eine Teilstrombehandlung ist aber nur sinnvoll, wenn

- eine hohe bzw. schwankende interne Rückbelastung vorhanden ist,
- signifikanter Kohlenstoffmangel im Hauptstrom besteht (d.h. erhöhtes N/BSB₅-Verhältnis)
- dadurch umfangreiche Ausbaumaßnahmen im Hauptstrom zu vermeiden sind.

Konventionelle-biologische Verfahren zur Teilstrombehandlung (z.B. N/DN) laufen nach den bisherigen Betriebserfahrungen auch ohne großen MSR-Aufwand stabil; allerdings mit hohen Betriebskosten durch Strom- und Kohlenstoffbedarf. Eine mögliche, in der Praxis bereits mehrfach eingesetzte, biologische Behandlungsvariante ist das SBR-Verfahren.

„Moderne“ - biologische Verfahren (über Nitritbildung bzw. Deammonifikation) weisen deutliche Vorteile hinsichtlich der Betriebskosten auf. Hier besteht allerdings ein erhöhter MSR-Aufwand sowie aktueller Forschungsbedarf.

Chemisch-physikalische Verfahren (Luftstrippung mit saurer Wäsche) weisen ebenfalls hohe Betriebskosten (Chemikalien) auf. Allerdings ist hier ein Kostenausgleich durch Wertstoffgewinnung (Dünger) möglich. Darüber hinaus sind kurzfristige In- und Außerbetriebnahmen möglich.

Die Notwendigkeit und Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Bewirtschaftung bzw. Behandlung des Prozessabwassers muss für jede Kläranlage im Einzelfall untersucht und bewertet werden, wobei i.d.R. eine Mindestgröße für die jeweilige Anlage sinnvoll ist.

5 Literatur

- [1] Böhm, B., Arnold, E., Wilderer, P.A. (1999) Separate Behandlung von Prozessabwässern aus der Schlammbehandlung. Pre-Prints, Band 2, 4. GVC-Abwasser-Kongress 1999, Bremen
- [2] Grömping (Hrsg.) Stickstoffrückbelastung – Stand der Technik 2009 (ATEMIS GmbH), Tagungsband zur 7. Aachener Tagung, Hannover (2009)
- [3] DWA-Arbeitsgruppe AK-1.3 (2005) „Rückbelastung aus der Schlammbehandlung“, Arbeitsbericht
- [4] Jardin, N. (1996) Menge und Beschaffenheit der Prozeßabwässer aus der Schlammbehandlung. in: Stickstoffrückbelastung – Stand der Technik 1996/97 – Neue Entwicklungen. Enviro Consult GmbH, TK Verlag, 1996
- [5] Schreff (2007) Prozesswasserbehandlung mit dem SBR-Verfahren - Betriebserfahrungen auf der Zentralkläranlage Ingolstadt, VDMA 4. Abwasser-Tagung, Frankfurt/Main,
- [6] Wett, B., Ingerle, K., Rostek, R. (1999) Erfahrungen mit der biologischen Separatbehandlung von Prozeßabwässern. Korrespondenz Abwasser 1999 (46) Nr. 3, S.371-381

Kontakt:

Dieter Schreff

Dr.-Ing. Schreff – Ingenieurbüro für Wasser, Abwasser und Energie (www.ib-schreff.de)

Am Buchhölzl 11, 83737 Irschenberg

Telefon : 08062 72 98 011

e-Mail: kontakt@ib-schreff.de