

# Schlammwässer, Belastung , Behandlung

Christian Fimml, Abwasserverband Achantal-Inntal-Zillertal

## Einleitung

Die Stickstoff-Rückbelastung der Schlammwässer aus kommunalen Kläranlagen mit Schlammfäulung hat etwa einen Anteil von 15 bis 25%, bezogen auf die Gesamtstickstofffracht im Rohabwasser des Zulaufs zur Kläranlage.

Vorwiegend wird dieser zusätzliche Stickstoff aus der Schlammbehandlung in der normalen biologischen Stufe klassisch durch Nitrifikation und Denitrifikation abgebaut, was aber bei bereits stark ausgelasteten Kläranlagen, oder bei Kläranlagen mit saisonalen Belastungen, zu Problemen in der Einhaltung der Grenzwerte führen kann. Dabei kann entweder zu geringer Sauerstoffeintrag die Ursache bei der Nitrifikation sein, bei der Denitrifikation fehlt vielfach der Kohlenstoff oder das nötige Beckenvolumen.

Bevor hier zusätzliche Investitionen für den Ausbau in die bestehende biologische Stufe geplant werden, sollte in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auch die separate Behandlung dieser Schlammwässer mit einbezogen werden, da hier mittlerweile mehrere interessante Verfahren zur Auswahl stehen, die auch bereits in der Praxis mit Erfolg umgesetzt wurden.

## Definition der Schlammwässer

Die Schlammwässer aus unterschiedlichen Prozessen werden wie folgt bezeichnet:

<b>Fest-Flüssig –Trennung</b>	<b>Bezeichnung des Schlammwassers</b>
Statische Eindickung	Überstandswasser
Siebbandpressen, Kammerfilterpressen,	Filtratwasser
Zentrifuge, Schneckenpressen,	Zentrat / Dekantat
Schlammfäulung	Trübwasser
Vorversäuerung	Hydrolysat

## Menge:

Die Menge des anfallenden Schlammwassers hängt von der Menge des Dünnschlammes und der Aufkonzentrierung ab. Ist der Feststoffgehalt des Schlammwassers deutlich geringer als der Feststoffgehalt des Dickschlammes, kann die Schlammwassermenge mit folgender Formel berechnet werden:

$$Q_{SW} = Q_{DÜS} \cdot \left( 1 - \frac{TR_{DÜS}}{TR_{DS}} \right) [m^3/d]$$

Bei Anlagen, wo bereits die Rohschlämme entwässert werden, ist der Schlammwasseranfall entsprechend niedrig und kann mit 1-3 l/(EW.d) angenommen werden.

## Kohlenstoffrückbelastung:

In der Schlammfäulung werden bis zu 60% des organischen Materials abgebaut. Der dabei anfallende CSB im Filtratwasser liegt, je nach Anteil der Menge an

Primärschlamm oder Überschussschlamm bei ca. 400 – 800 mg/l. Da dieser größtenteils inerte CSB nur mehr zu einem geringen Teil biologisch abbaubar ist, wird letztlich die CSB-Konzentration im Ablauf ansteigen. Bei einem durchschnittlichen Mengenverhältnis des Schlammwassers zum Zulauf der Kläranlage von 1 zu 100 entsprechen 100mg/l CSB<sub>inert</sub> im Schlammwasser einer Konzentrationserhöhung im Ablauf von ca. 1mg/l. Die Rückbelastung des CSB hat ansonsten für die Abwasserreinigung keine weitere Bedeutung.

### **Phosphorrückbelastung:**

Bei der chemisch-physikalischen Phosphorelimination ist die P-Rückbelastung in der Regel vernachlässigbar gering. Bei der Bio-P wird das biologisch gebundene Phosphat im Faulbehälter wieder vollständig freigesetzt. Durch chemisch-physikalische Prozesse wie Adsorption und Fällung wird es aber wieder refixiert. Daher ist auch diese Rückbelastung nicht als problematisch anzusehen.

Bei heute üblichen Phosphorgehalten im Überschussschlamm von etwa 2,5 % ist eine P-Rückbelastung von selten mehr als 5 %, bezogen auf die Rohabwasserfracht, zu erwarten.

### **Stickstoffrückbelastung:**

Die Stickstoffrückbelastung aus der Schlammmentwässerung hat für die Stickstoffelimination in der biologischen Stufe, sowohl für die Nitrifikation, als auch für die Denitrifikation eine Auswirkung. Die Stickstoff-Rückbelastung aus dem Filtratwasser kann dabei mit etwa 1,5 g N / (EW.d) angenommen werden.

Bei der ARA Strass liegt der Jahresmittelwert der Rückbelastung aus der Schlammmentwässerung bei ca. 240 kg NH<sub>4</sub>-N/Tag, was umgerechnet 1,7 g N / (EW.d) entspricht. Der spezifisch höhere Wert ist auf die zweistufige Belebung zurückzuführen, da hier generell mehr Überschussschlamm in die Schlammfäulung eingebracht wird.

Bei der Nitrifikation ist zu unterscheiden, ob die Rückführung der Filtratwässer kontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgt. Bei kontinuierlicher Dosierung wird die mittlere Stickstofffracht im Zulauf zur Belebung erhöht, dabei werden auch die Nitrifikanten im Belebtschlamm ansteigen, wodurch keine Erhöhung der Ablaufkonzentration auftreten sollte.

Beim diskontinuierlichen Betrieb kann kurzfristig eine Erhöhung der Ablaufkonzentration auftreten, was besonders auf kleinen und mittleren Anlagen zutrifft, wenn nur an bestimmten Tagen entwässert wird.

Bei der Denitrifikation wird durch die N-Rückführung mehr Volumen für die Deni-Zone benötigt, falls nicht durch Zugabe von internen oder externen Kohlenstoff das Kohlenstoffdefizit ausgeglichen wird.

Energetisch betrachtet ist bei der Stickstoffrückbelastung in jedem Fall der zusätzliche Sauerstoffbedarf von 4,3kg O<sub>2</sub>/kg NH<sub>4</sub>-N zu berücksichtigen.

### **Mögliche Verfahren zur getrennten Filtratwasserbehandlung**

Es sind mehrere Verfahren zur getrennten Filtratwasserbehandlung in der Praxis erprobt, die sich in zwei Gruppen teilen:

#### **Biologische Verfahren**

Nitrifikation / Denitrifikation  
Nitritation / Denitritation  
Deammonifikation

#### **Chemisch/physikalische Verfahren**

Ammoniakstrippung  
Struvitfällung

Im Weiteren werden nur die **biologischen Verfahren** näher beschrieben.

## Nitrifikation / Denitrifikation

Hier wird mit Hilfe spezialisierter Bakterien Ammonium in Nitrit und Nitrit in Nitrat umgesetzt, mit dem Nachteil, dass hier auf Grund des ungünstigen C/N Verhältnisses im Filtratwasser eine zusätzliche Kohlenstoffquelle notwendig ist, die entweder intern mittels Primärschlamm oder extern aus Methanol stammen könnte.

Weiters wird auch durch die Nitrifikation viel Sauerstoff, und somit Energie verbraucht. Der spezifische Energieverbrauch liegt hier bei 3,5-5,7 kWh/kg N.

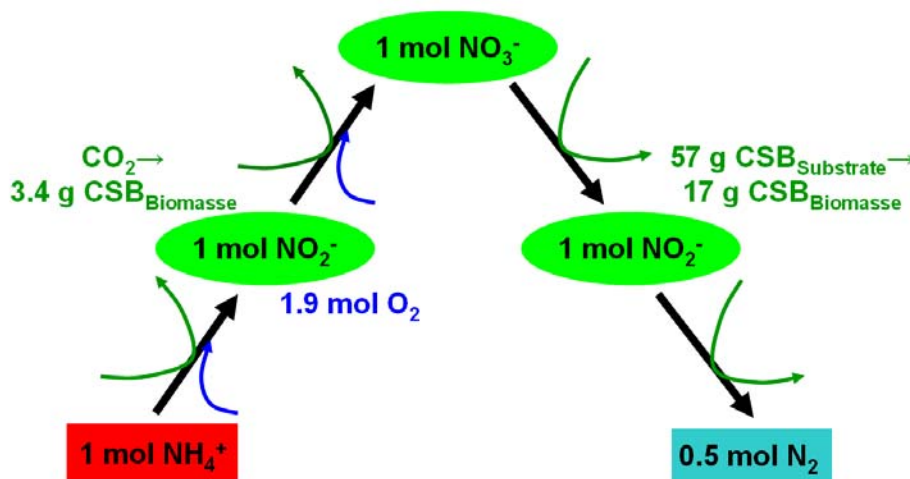


Abbildung 1

Auf der ARA Strass war vor der Umstellung auf die separate Filtratwasserbehandlung eine diskontinuierliche Zugabe in die Schwachlastbiologie durch die Entwässerung mit Kammerfilterpressen gegeben.

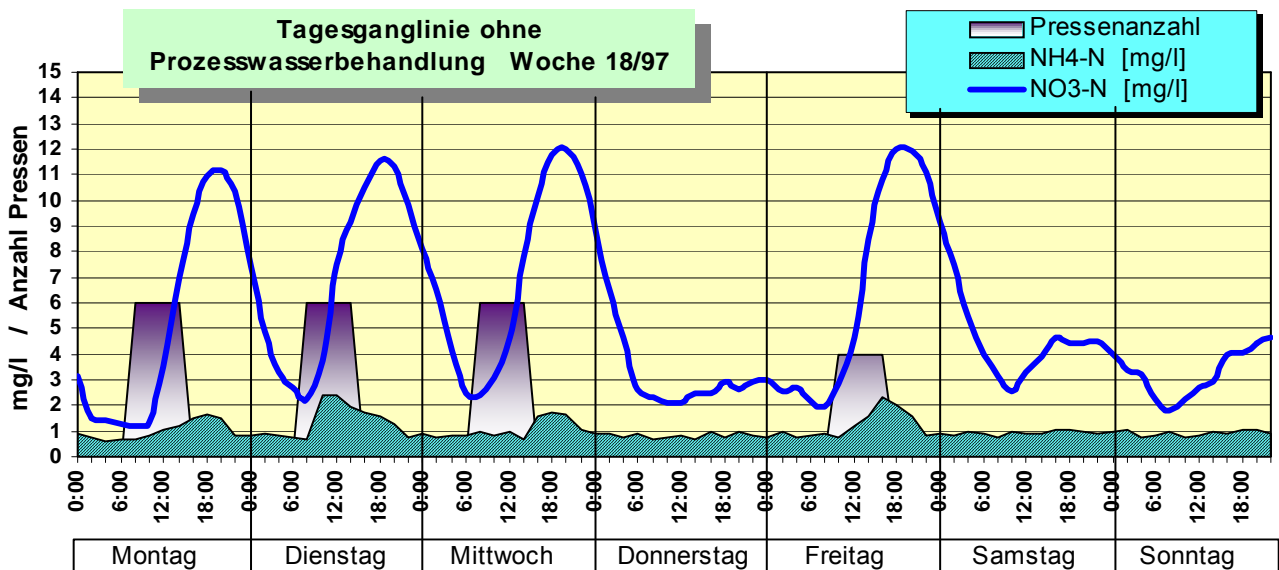


Abbildung 2

In Abbildung 2 ist der nitrifizierte NH<sub>4</sub>-N Stickstoff von 6 Pressen (ca. 180kg NH<sub>4</sub>-N) deutlich in der erhöhten Nitrat-Stickstoff Konzentration, gegenüber den Tagen ohne Pressen, zu erkennen.

## Nitritation / Denitritation

Bei der Nitritation / Denitritation wird die Ammoniumoxydation nur bis zur Stufe des Nitrit geführt. Das Nitrit wird im zweiten Schritt, der Denitritation, zu molekularem Stickstoff reduziert.

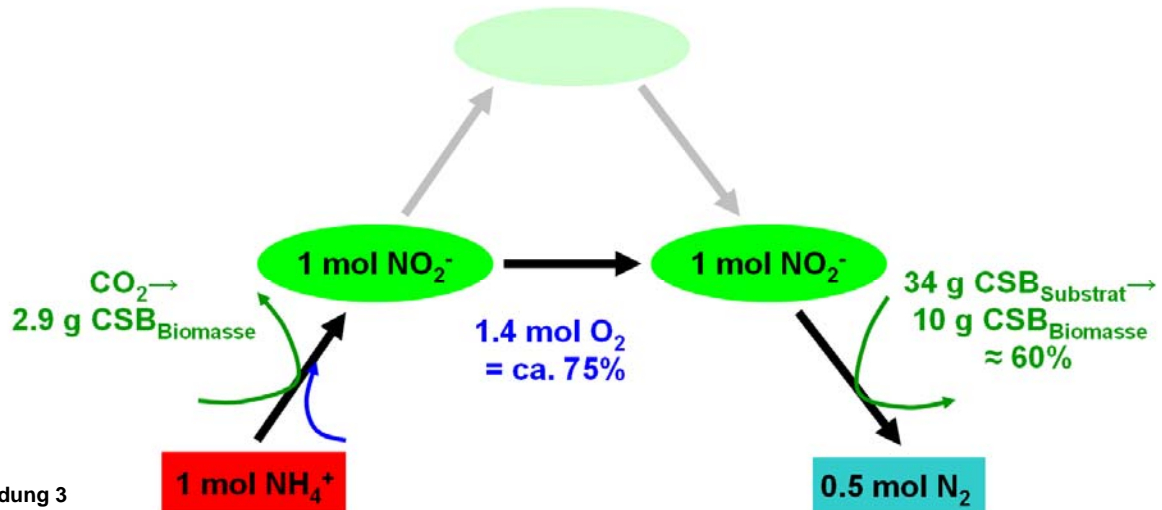


Abbildung 3

Bei diesem Verfahren werden ca. 25% des Sauerstoffbedarfs und ca. 40% des Kohlenstoffbedarfs im Vergleich zur Nitrifikation / Denitrifikation eingespart.

Der spezifische Energieverbrauch liegt somit bei 2,5 – 3,0 kWh/kg N.

Durch die unvollständige Oxydation des Stickstoffs werden erhöhte Nitritgehalte im Ablauf der Reinigungsstufe auftreten, die aber in der Regel in der normalen biologischen Stufe der Kläranlage vollständig abgebaut werden.

Dieses Verfahren wurde auf der ARA Strass 1997 in Betrieb genommen und war bis August 2004 ohne nennenswerte Probleme in Betrieb.

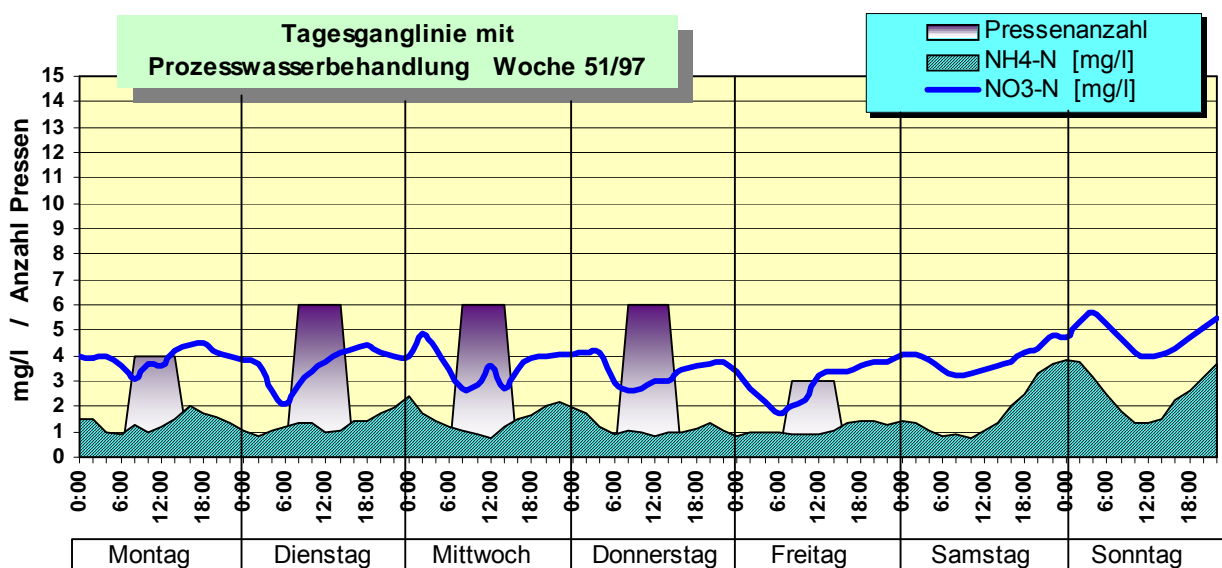


Abbildung 4

Durch die separate Filtratwasserbehandlung hatte die Stickstoff-Rückbelastung praktisch keinen nennenswerten Einfluss mehr auf die Schwachlastbiologie.



Besonders die Startphasen nach der jeweiligen Reaktorinbetriebnahme erwiesen sich als sehr instabil mit kaum messbaren Stoffumsätzen und Sauerstoffzehrungsraten und infolgedessen mit unerwünschtem Sauerstoffeintrag über die Wasseroberfläche.

### pH-gesteuerte Deammonifikation (DEMON)

Im Juli 2004 wurde dann der SB-Reaktor zur Prozesswasserbehandlung (500 m<sup>3</sup>) angeimpft und die Steuerung umgestellt (Abb.6). Um einerseits eine schnelle Nitritanreicherung zu verhindern und andererseits den zweiten Oxidationsschritt vom Nitrit zum Nitrat zu limitieren, wurde ein niedriger Sollwert von ca. 0.3 mg/l für die Sauerstoffkonzentration gewählt. Während der ca. 6 Stunden dauernden Belüftungsphase werden beide Deammonifikationsprozesse – Nitritation und anaerobe Ammoniumoxidation – betrieben, die gegenläufige Auswirkungen auf den pH-Wert aufweisen.

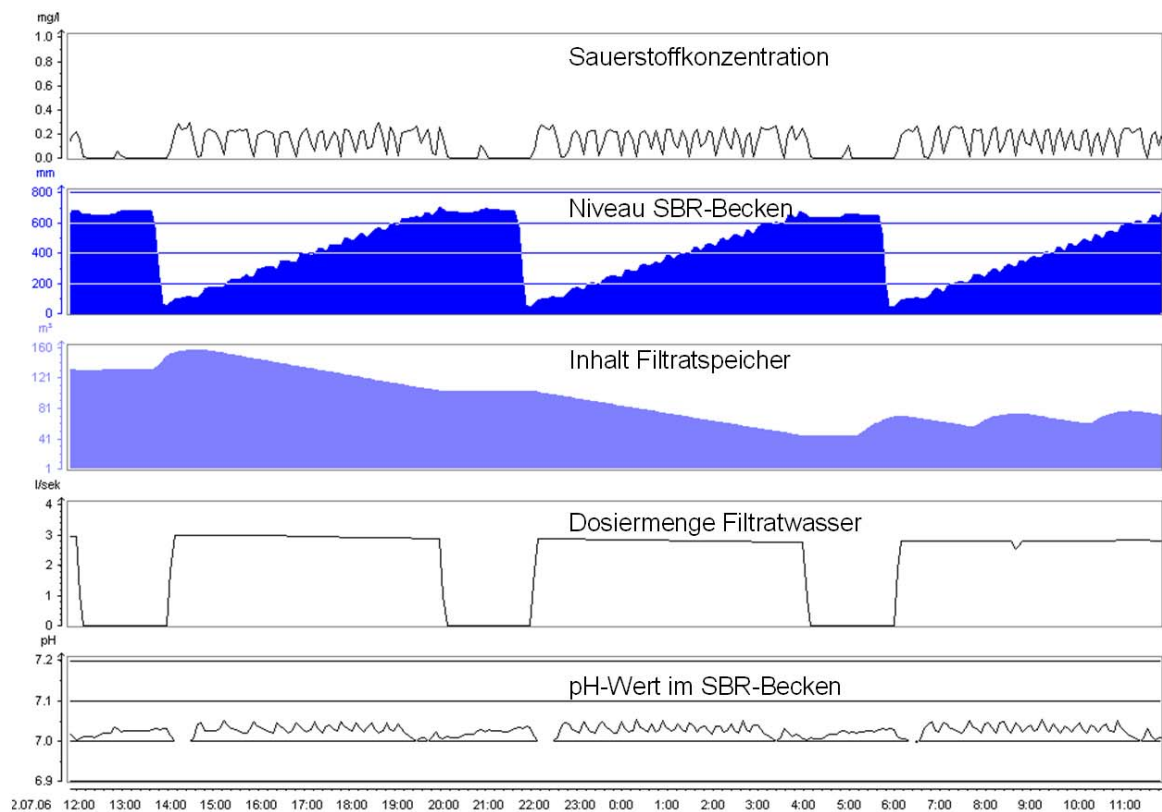


Abbildung 6

Der Lufteintrag erfolgt nur innerhalb eines sehr engen pH-Intervalls von 0,01. Das heißt, infolge des Sauerstoffeintrags dominiert die Nitritation über die anaerobe Ammoniumoxidation und der pH-Wert fällt ab, bis der untere Schwellenwert der Prozesssteuerung erreicht wird und die Belüftung abgestellt wird. Die Sauerstoffkonzentration sinkt gegen null, und das während des Belüftungsintervalls gebildete Nitrit wird zur Oxidation des Ammoniums aufgebraucht. Infolge dieses Prozesses und der kontinuierlichen Zugabe des alkalischen Prozesswassers steigt der pH-Wert bis zum oberen Schwellenwert an, und die Belüftung setzt wieder ein.

Bei der Inbetriebnahme des SBR zeigten sich Skalierungsprobleme, da Lufteintrag und Abzugseinrichtungen an die anfangs stark limitierten Beschickungsmengen angepasst werden mussten. Um Überschreitungen des geringen Sauerstoffsollwertes zu

verhindern, wurde das Gebläse gedrosselt und mit Fortdauer der Inbetriebnahmephase der Leistungsbereich wieder erhöht.

Die Schlamm Trockensubstanz hat während der Startphase von über 6 g/l kontinuierlich auf unter 3 g/l abgenommen und konnte erst mit voller Beschickung wieder gesteigert werden. Mittels Massenbilanz der produzierten Biomasse konnte die Dominanz der autotrophen Aktivitäten gezeigt werden (Wett, 2005). D.h. im Ablauf der Prozesswasserbehandlung, einschließlich Schlammaustrag, findet sich infolge der autotrophen C-Fixierung mehr organischer Kohlenstoff als im Prozesswasserzulauf – ein für Abwasserreinigungsanlagen unübliches Muster.

Der Schlammvolumenindex verschlechterte sich während der Inbetriebnahmephase mit einem Schlammalter von über 100 Tagen und der Umstellung der Biozönose auf über 150 ml/g stabilisierte sich dann aber auf einen robusten Bereich um ca. 75 ml/g. Rückschläge in der Inbetriebnahmephase ergaben sich durch Biomasseverluste bei Umstellung der Abzugseinrichtung und infolge Schaumproblemen. Die Schaumentwicklung konnte durch die Installation einer Ringleitung entlang des Beckenrandes, über die der Prozesswasserzulauf auf die Oberfläche gesprüht wird, beherrscht werden. Mit Jahresende 2004 wurde die erforderliche Anlagenkapazität von 250 kg NH<sub>4</sub>-N/d erreicht.

Besonders auffällig wirkt sich die Umstellung auf das DEMON-Verfahren auf den Energieverbrauch der Anlage aus. Bezogen auf die abgebaute Ammoniumfracht sinkt der spezifische Energiebedarf vom Bereich zwischen 2 und 3 kWh/kg N auf ca. 1 kWh/kg N ab. Diese Einsparung übertrifft die Erwartungen aus der Stöchiometrie und lässt sich vor allem durch die verbesserte Sauerstoffeintragungseffizienz ( $\alpha$ -Wert) bei geringerem TS-Gehalt und durch stark verminderte heterotrophe Sauerstoffzehrung begründen. Durch den Verzicht auf die Kohlenstoffdosierung in Form von A-Schlamm entfällt nicht nur der Sauerstoffverbrauch für die teilweise aerobe Stabilisierung, sondern es erhöht sich zudem das Biogaspotential beim anaeroben Abbau im Faultrum.

## Betriebsergebnisse

In Abbildung 7 ist das Betriebsergebnis der letzten 5 Jahre dargestellt, wobei ab der Umstellung auf die Deammonifikation im August 2004 bereits der verbesserte spezifische Stickstoffabbau zu erkennen ist.

JAHR	AbgebauteFracht kg/d		kWh / kg NH <sub>4</sub> -N		Stickstoffabbau in %	
	SB-Biologie	SBR	SB-Biologie	SBR	SB-Biologie	SBR
2003	546	171	6,9	2,9	88	91
2004	595	221	6,5	2,1	87	88
2005	528	195	6,4	1,1	87	90
2006	558	181	5,4	1,6	86	86
2007	557	216	5,7	1,3	87	91

Abbildung 7

## Betriebskosten

Aufgrund der Adaptierung des zweiten Beckens der Hochlastbiologie beliefen sich die Gesamtinvestitionskosten der SBR Anlage auf nur 220.000 €, wobei die gesamte MSR-Technik vom Kläranlagenpersonal in Eigenregie installiert bzw. umgesetzt wurde.

Bei Planung einer vergleichbaren Prozesswasserbehandlung, wie die der ARA Strass muss man mit den doppelten Investitionskosten rechnen. Das entspricht bei einem Reaktorvolumen von 500 m<sup>3</sup> und einem Speichervolumen von 160 m<sup>3</sup> einem Preis von ca. 670 €/m<sup>3</sup> Volumen.

Der Betriebsaufwand für 2007 stellt sich wie folgt zusammen:

Energieaufwand:	268 kWh/d entspricht 1,3 kWh/kg N mit 0,12 €/kWh
Analytik:	3 Messungen täglich (Ammonium, Nitrit u.Nitrat)
Arbeitsaufwand:	die Reinigung des Beckens und die Analytik nimmt täglich ca. 0,5 Stunden in Anspruch. Weiters wird in einem 2-monatigen Rhythmus die Beschickungsleitung mit den Düsen und der Filtratwasserspeicher gereinigt, sowie die O <sub>2</sub> - und pH-Sonden kalibriert. Daraus resultiert ein Arbeitsaufwand von etwa 1 Stunde pro Tag.

Betriebskosten für die Filtratwasserbehandlung	Jahreskosten [ € / a ]	N-spezifische Kosten [ € / kg N ]
Investition: 15 jährige Abschreibung (220.000€)	14.670	0,19
Betrieb:		
Personal	10.950	0,14
Energie	9.410	0,12
Betriebsmittel:		
Analytik	2.077	0,03
externe Kohlenstoffzugabe	0	0
<b>Summe</b>	<b>37.100</b>	<b>0,48</b>

Abbildung 8

## Energieüberschuss

Durch die weitere Energieoptimierung seit Inbetriebnahme des DEMON-Verfahrens wurde erstmals im Jahr 2005 um 8 Prozent mehr Energie erzeugt als für die gesamte ARA notwendig war. (Abb. 9)



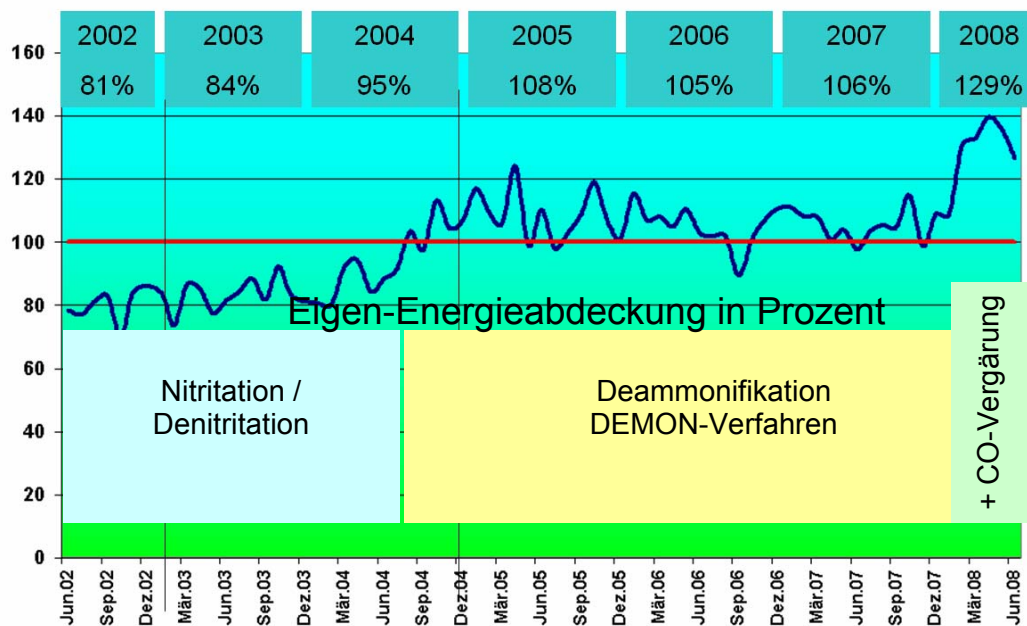


Abbildung 9

### Zusammenfassung:

In kommunalen Abwasserreinigungsanlagen werden die stickstoffbelasteten Schlammwässer üblicherweise im Hauptstrom durch Nitrifikation / Denitrifikation abgebaut. Dabei kann die Reinigungsleistung in der biologischen Stufe durch Stoßbelastung oder ungünstige Nährstoffverhältnisse stark beeinträchtigt werden. Werden die Stickstoff-Rückläufe über eine separate Schlammwasserbehandlung abgebaut, kann die normale biologische Stufe entlastet werden, wodurch einerseits Anlagenkapazität frei wird, und andererseits durch den optimierten Stickstoffabbau Betriebskosten gespart werden. Dabei hat sich das biologische Verfahren mit dem Deammonifikationsprozess bereits im 3-jährigen Betrieb auf der ARA Strass positiv bewährt. Die Abbildung 9 zeigt, dass hier Betriebskosten von ca. 0,5 €/kg abgebauten Stickstoff möglich sind.

### Literatur:

Arbeitsbericht der ATV-DVWK-Arbeitsgruppe AK-1.3

„Rückbelastung aus der Schlammbehandlung - Menge und Beschaffenheit der Rückläufe“  
aus Korrespondenz Abwasser 2000 Nr.8

-

Arbeitsbericht der ATV-DVWK-Arbeitsgruppe AK-1.3

„Rückbelastung aus der Schlammbehandlung – Verfahren zur Schlammwasserbehandlung“

-

B.Wett, M.Hell

„Betriebserfahrungen mit dem DEMON-Verfahren zur Deammonifikation von Prozesswasser“  
aus Korrespondenz Abwasser 2008 Nr.3

M.Beier, M.Sander, Y.Schneider, KH Rosenwinkel

„Energieeffiziente Stickstoffelimination“  
aus Korrespondenz Abwasser 2008 Nr.6

### Verfasser:

Christian Fimml

Betriebsleiter

Abwasserverband Achenal-Inntal-Zillertal

A-6261 Strass i.Z

Tel.: 05244 65118-11

E-Mail: [fimml@aiz.at](mailto:fimml@aiz.at)