

# **Mehrjährige Betriebserfahrungen mit einer pH-wertgesteuerten Prozeßwasserbehandlung auf der ARA Strass im Zillertal unter Nutzung von Rohschlamm als Kohlenstoffquelle**

---

Dipl.-HTL-Ing. Josef Dengg  
Geschäftsführer-Stlv.  
AIZ-Abwasserverband, A-6261 Strass im Zillertal, Österreich

---

## **I N H A L T S V E R Z E I C H N I S**

- 1. Einleitung und Veranlassung**
- 2. Interne und externe Ammoniumbelastung**
- 3. Verfahrensentwicklung**
- 4. Prozeßwasserbehandlung (Teilstrom)**
  - 4.1 Anlagenerrichtung, Errichtungskosten**
  - 4.2 Betriebsweise**
  - 4.3 Abbauleistungen**
- 5. Auswirkungen auf die Gesamtanlage (Hauptstrom)**
  - 5.1 Minderung der NH<sub>4</sub>-N Fracht**
  - 5.2 Elimination der Belastungsspitzen**
  - 5.3 Verbesserung des Wirkungsgrades der Gesamtanlage**
  - 5.4 Einfluß auf den Energiehaushalt**
  - 5.5 Betriebskosten der Teilstrombehandlung**
- 6. Zusammenfassung, Schlußfolgerungen, Ausblick**

# Mehrfährige Betriebserfahrungen mit einer pH-wertgesteuerten Prozeßwasserbehandlung auf der ARA Strass im Zillertal unter Nutzung von Rohschlamm als Kohlenstoffquelle

## 1. Einleitung und Veranlassung.

Die ARA Strass – die zentrale Abwasserreinigungsanlage des Abwasserverbandes Achenal-Inntal-Zillertal – wurde in den Jahren 1985/86 als zweistufige Anlage geplant, und im November 1989 in Betrieb genommen. Bedingt durch den hochentwickelten Tourismus im Einzugsgebiet des Verbandes erfolgte die ursprüngliche Auslegung auf eine fallweise maximale Tagesbelastung von 225.000 EW und – zum Planungszeitpunkt vorausschauend auf zukünftige Reinigungsanforderungen - als Nitrifikationsanlage bis zu einem maximalen Monatsmittel von 167.000 EW. Die Ausgangslage entspricht den besonderen Randbedingungen saisonal belasteter Kläranlagen [Rostek, 1995].

Infolge der Novellierung des österreichischen Wasserrechtsgesetzes 1990, und mit Inkrafttreten der Emissionsverordnung für kommunales Abwasser im Juni 1996 (Urfassung aus 1991), welche ab dem Jahr 2001 eine Stickstoffentfernung von mindestens 70 % – also Nitrifikation und Denitrifikation bei Temperaturen über 12 °C, und einen Grenzwert für Ammoniumstickstoff kleiner 5 mg/l im Ablauf bei Temperaturen über 8 °C fordert, galt die ARA Strass bereits zwei Jahre nach Inbetriebnahme als „Altanlage“, und war daher dem Stand der Technik anzupassen.

Es galt daher, neben den bereits im Urprojekt [Rostek, 1995] vorgesehenen Verfahrensmöglichkeiten den Kläranlagenbetrieb zu optimieren, so daß ohne größere bauliche Erweiterungen mit den gegebenen Beckenvolumina das Auslangen gefunden werden kann. Da bei der Stickstoffbilanz die Rückbelastungen aus den internen Prozessen nicht als Zulauf betrachtet werden dürfen, kommt diesem Einfluß, wie im Folgenden beschrieben, eine besondere Bedeutung zu.

## 2. Interne und externe Ammoniumstickstoffbelastungen

An der ARA Strass wird eine mesophile Schlammfäulung mit 5.000 m<sup>3</sup> Faulraumvolumen betrieben. Über die Schlammwässerung gelangt ca. die Hälfte des im Belebtschlamm inkorporierten Stickstoffes wieder zurück in die Abwasserlinie. Die Entwässerung erfolgt nur wochentags in Kammerfilterpressen mit einer Eisen-Kalk-Konditionierung mit der daraus resultierenden Charakteristik des Filtrates:

| pH-Wert: | Alkalinität:   | Temperatur: | NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> | CSB          |
|----------|----------------|-------------|----------------------------------|--------------|
| 12-12,5  | 100-150 mmol/l | 30°-34 °C   | 1500-1800 mg/l                   | 500-1000mg/l |

Tabelle 1: Prozeßwassercharakteristik an der ARA Strass

Die ARA Strass wird je nach der saisonalen Belastung einstufig oder zweistufig betrieben. Vergleichsmessungen des Filtrates zeigten keinen signifikanten Unterschied der Ammoniumkonzentrationen, welche bei einstufigem Betrieb im Mittel bei 1.650 mg/l und bei zweistufigem Betrieb bei 1.740 mg/l liegen. Bei einem Prozeßvorgang werden rd. 27 m<sup>3</sup> Filtratwasser freigesetzt, woraus eine Ammoniumfracht je Presse von etwa 45 kg NH<sub>4</sub>-N resultiert. An normalen Arbeitstagen (Montag bis Donnerstag) mit je 5-8 Pressen bedeutet dies eine Rückbelastung mit Ammoniumstickstoff von 225- 360 kg N/d.

Entsprechend dem schwankenden saisonalen Fremdenverkehrsaufkommen variiert die Ammoniumfracht im Zulauf zur ARA. In der folgenden Tabelle werden einige typische Wochenmittelwerte der Ammoniumfrachten (nicht Gesamtstickstoff !) des Jahres 1997 und der Weihnachtsspitze 1997/98 aus dem Kläranlagenzulauf und den Rückläufen aus den Kammerfilterpressen gegenübergestellt. Durch die Angabe der Wochenmittelwerte werden die tatsächlichen täglichen Prozesswasserspitzen nicht berücksichtigt, sondern wie durch ein idealisiertes Wochenspeicherbecken ausgeglichen:

| Kalender-woche | ARA Zulauf [kg NH <sub>4</sub> N/d] | Pressen [Anzahl/d] | Filtrat: [kg NH <sub>4</sub> N/d] | Fracht Filtrat: [in % d. Zulaufes] | Temperatur: ARA-Ablauf [°C] |
|----------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 01/97          | 903                                 | 3,1                | 141                               | 16                                 | 8,5                         |
| 03/97          | 545                                 | 4,3                | 193                               | 36                                 | 7,4                         |
| 09/97          | 736                                 | 4,0                | 180                               | 25                                 | 8,8                         |
| 32/97          | 582                                 | 5,4                | 243                               | 42                                 | 16,6                        |
| 46/97          | 380                                 | 2,7                | 120                               | 31                                 | 11,1                        |
| 01/98          | 1027                                | 4                  | 180                               | 18                                 | 10                          |

Tabelle 2: Wochenmittelwerte der Ammoniumfrachten aus Kläranlagenzulauf und Filtrat

|          |      |   |     |    |     |
|----------|------|---|-----|----|-----|
| 07.04.97 | 427  | 8 | 360 | 84 | 8,2 |
| 30.12.97 | 1010 | 6 | 270 | 27 | 9,8 |

Tabelle 3: Ammoniumfrachten für einzelne Spitzentage

Der Filtratanteil am Ammoniumzulauf zur Biologie hat einen überproportionalen Einfluß auf den Wirkungsgrad der Stickstoffelimination. Letztlich wird vor allem das Denitrifikationsvermögen der Kläranlage auf mehrfache Weise herabgesetzt:

- **Die Ammoniumfracht im Filtratwasser erfordert eine forcierte Nitrifikation in der Schwachlastbiologie auf Kosten des anoxen Reaktionsvolumens.**
- **Das C/N - Verhältnis im Zulauf zur Biologie wird durch die  $\text{NH}_4$ -Stoßbelastungen ungünstig beeinflusst.**
- **An die Intensivierung der Nitrifikation ist ein erhöhter aerober Kohlenstoffabbau gekoppelt, wodurch die Denitrifikationskapazität weiter vermindert wird.**

Zusätzlich werden die aufgezeigten Einflußfaktoren auf die Stickstoffelimination durch gedrosselte Umsatzraten bei niedrigeren Temperaturverhältnissen verstärkt. Da an der ARA Strass das Maximum der Belastung infolge des Winterfremdenverkehrs ausgerechnet in die kalte Jahreszeit mit den niedrigsten Abwassertemperaturen fällt (siehe Tabelle 2), ist ein „Ausschalten“ der internen Rückbelastung durch eine getrennte Behandlung der Filtratwässer auch aus diesem Grund von großer Bedeutung.

### 3. Verfahrensentwicklung

Aufgrund der zweistraßigen Ausführung der Hochlastbiologie war es möglich, eine Straße für großtechnische Versuche zur getrennten biologischen Behandlung der Filtrate aus der Schlammmentwässerung heranzuziehen. Die Versuche wurden unter der wissenschaftlichen Leitung von Herrn Dr.-Ing. B. Wett von der TU Innsbruck, Institut für Umwelttechnik durchgeführt.

Das verwendete Hochlastbecken umfaßt ein Volumen von  $644 \text{ m}^3$ . Zusätzlich wurde ein  $50 \text{ m}^3$  Tank als unvollkommener Tagesausgleichsbehälter installiert. Ausgehend von der bestehenden Beckenkonfiguration wurde ein SBR-Betrieb für die Prozeßwasserbehandlung angestrebt. Eine diskontinuierliche Betriebsweise weist vor allem für das Versuchsstadium den entscheidenden Vorteil der erhöhten Flexibilität durch die zeitliche Steuerung auf. Im Laufe der Versuche stellte sich eine Anzahl von 3 Betriebszyklen pro Tag als geeignet heraus. Durch die Zeitsteuerung wird jeder Zyklus in eine Belüftungsphase (konstanter Prozeßwasserzulauf bei intermittierender Belüftung), eine Rührphase (konstante Rohschlammzugabe), eine Vorabsetzphase und eine Abziehphase unterteilt. Neben der Zeit verfügt die Prozeßsteuerung über zwei weitere Kontrollvariablen - den pH-Wert und die Sauerstoffkonzentration.

Die Sauerstoffversorgung des intensiven Oxidationsprozesses verfügte über eine Kapazität von  $2000 \text{ Nm}^3$  Luft /h und wurde über eine  $\text{O}_2$ -Sonde gesteuert.

Das Erfordernis einer pH-Wert-Kontrolle ist offensichtlich, wenn man den hohen Ausgangs-pH-Wert von mindestens 12, und den starken Alkalinitätsverlust bei der Nitrifikation bedenkt. Der pH-Wert im Becken wird durch zwei gegenläufige Einflußfaktoren bestimmt. Der Nitrifikationsprozeß setzt  $\text{H}^+$  Ionen frei und verbraucht damit Alkalinität, die durch Denitrifikation und den alkalischen Prozeßwasserzulauf wieder ersetzt wird. Um den pH-Wert in einem vorgegebenen Regelungsintervall zu halten, bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten an. Entweder erfolgt während der Belüftungsphase eine intermittierende, hohe Prozeßwasserbeschickung bei konstanter Belüftung, oder eine intermittierende Belüftung bei konstanter, niedriger Beschickung. Im gegenständlichen Fall hat sich die zweite Lösung als geeigneter erwiesen.

Die Abb.1 zeigt das Zusammenspiel der drei Kontrollvariablen - Zeit, pH-Wert und  $\text{O}_2$ -Gehalt - und der vier manipulierten Variablen – ein Ablaufschieber, zwei Zulaufpumpen und die Belüftungseinrichtung - anhand einer Simulationsrechnung an einem bestimmten Versuchstag. Die abgebildeten Tagesganglinien wurden unter dem Einfluß der sehr fallspezifischen Randbedingungen errechnet:

Der Ausgleich der Zulaufmengen erfolgte unzureichend. Aufgrund fehlender Prozeßwasserproduktion am Wochenende herrschte am Montag Morgen (Betriebszyklus1) anaerobes Milieu mit bereits eingesetzter Fermentation ( $\text{NH}_4$ -Anstieg). Während des Abendzyklus wird der Ausgleichstank vollständig geleert und damit der Zulauf gestoppt. Aufgrund der hohen Aktivität der Nitrifikanten kann der gesetzte Kontrollwert von  $2,0 \text{ mg O}_2 / \text{l}$  nicht erreicht werden, obwohl die Belüftungseinrichtung mit voller Leistung läuft (siehe Simulation auf Abb.1 und online-Messung auf Abb.2).

Der Anstieg des gemessenen Sauerstoffgehaltes während der Denitrifikation im Zeitraum zwischen 1100 und 1400 min (Abb.2) ist auf einer vielfach beobachteten Störung der Meßsonde infolge erhöhter  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen zurückzuführen.

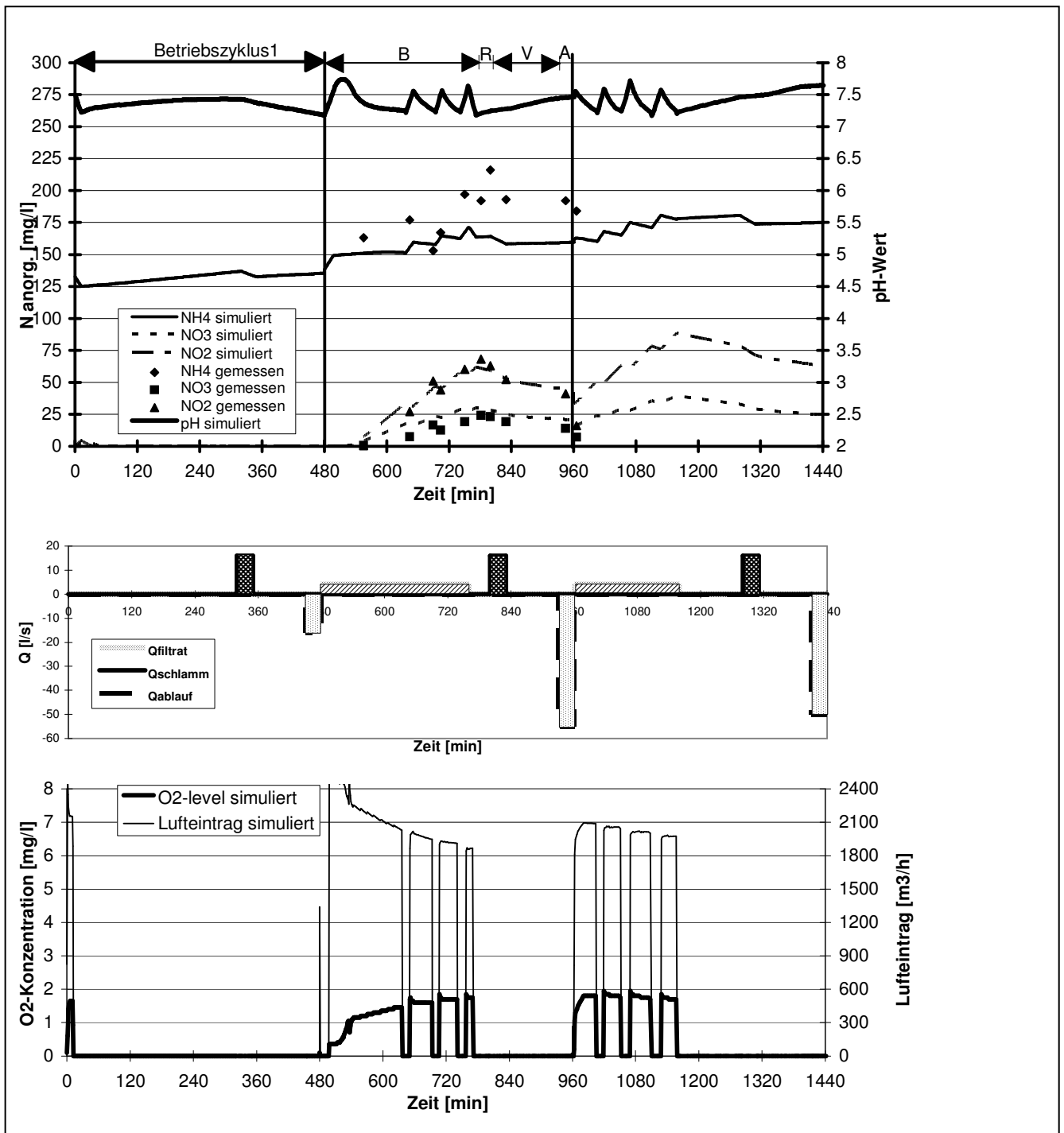
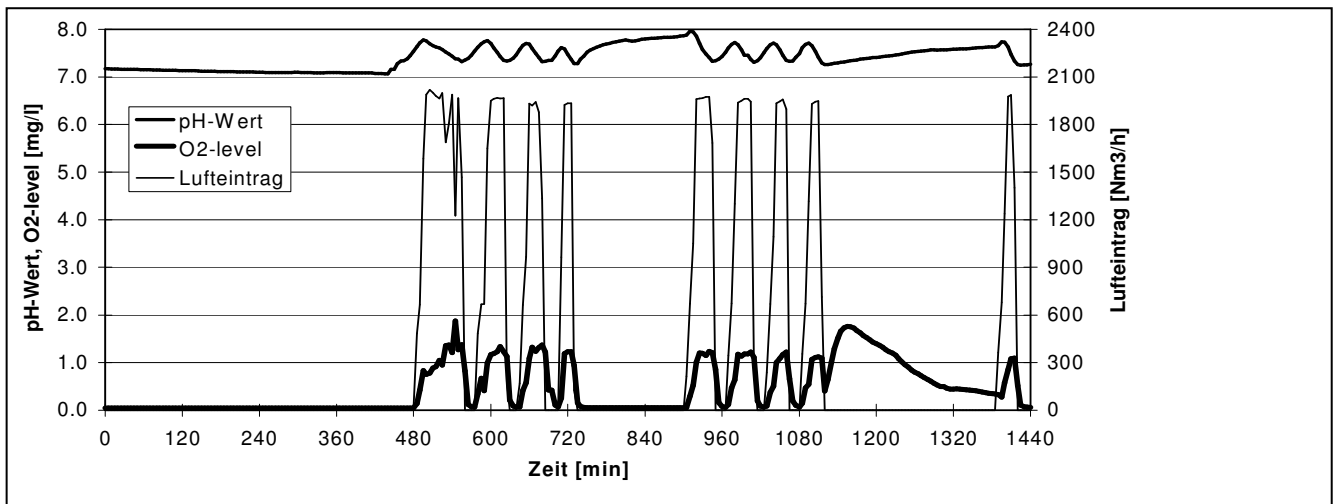


Abbildung 1: Simulierte Prozeßganglinien an einem Versuchstag (28.10.1996)

Als wichtiges Hilfsmittel für die Verfahrensentwicklung und -optimierung wurde ein dynamisches Simulationsmodell eingesetzt. Bei dem Modell handelt es sich um das vielfach bewährte **Activated Sludge Model No.1** (Henze et al., 1987), das von Dr.-Ing. Wett modifiziert und erweitert wurde. Vor allem der pH-Wert als die Schlüsselvariable der Verfahrensregelung bedarf einer hinreichend genauen Kalkulation über die Bilanz der maßgeblichen Ionen. Weiters ist es erforderlich, die Abbauschritte der Stickstoffelimination detailliert zu betrachten. So werden Nitritation, Nitratation und die Reduktion von Nitrit und Nitrat jeweils als einzelne Prozesse berechnet, um durch Implementierung entsprechender Ansätze verschiedene Inhibitionsmechanismen berücksichtigen zu können. Zur Berechnung von Strippeffekten und von energetischen Optimierungen wurde der Lufteintrag in die Modellrechnung aufgenommen. In Abb.1 und Abb.2 werden die Simulationsergebnisse für die letzten 3 Betriebszyklen einer 8-tägigen dynamischen Berechnung den tatsächlichen Meßwerten gegenüber gestellt. Die Anzahl und die Länge der einzelnen Belüftungsstöße ergeben sich, wie bereits beschrieben, aus den Alkalinitätsverschiebungen im Reaktor und sind das Resultat einer längeren Schlammgeschichte. Die Eigendynamik der Alkalinitätsverhältnisse wird über die pH-Wert-Steuerung auf die Belüftungseinrichtung übertragen.



**Abb.2: Online-Meßwerte am in Abb.1 betrachteten Versuchstag**

In der Literatur wurden mehrfach Pilotversuche dokumentiert, die sich mit den Möglichkeiten einer biologischen Teilstrombehandlung von Filtratwasser befassen [Winter u. Krauth, 1996; Kolisch, 1996; Teichgräber, 1993; Schmidt und Kolisch, 1997; Cybulski et al., 1997]. In den meisten dieser Arbeiten wird auf die stark hemmende Wirkung von Ammoniak und salpetriger Säure hingewiesen. Das sind Stickstoffverbindungen die bei der Teilstrombehandlung in relativ hohen Konzentrationen auftreten, und deren Einfluß an anderer Stelle grundlegend untersucht wurde [Anthonisen et al., 1976; Abeling, 1994].

Im Fall der Kläranlage Strass kam es jedoch zur überraschenden Erkenntnis, daß der Haupteinfluß auf die Prozeßkinetik von einer Limitierung an anorganischen Kohlenstoff ausgeht. Dies ist insofern eine interessante Feststellung, als  $\text{CO}_2$  als anorganisches Abbauprodukt bei der Dissimilation im Überfluß entsteht. Bei der Teilstrombehandlung ist allerdings das Verhältnis zwischen  $\text{CO}_2$ -Produktion heterotropher Organismen und  $\text{CO}_2$ -Konsumation autotropher Organismen gegenüber der Hauptstrombehandlung stark verschoben.

Vor allem die Stripptwirkung infolge der intensiven Belüftung vermindert die Konzentration an anorganischen Kohlenstoff. Der Strippeffekt kann durch die Wahl des pH-Wertes beeinflusst werden:

Ein erhöhter pH-Wert verstärkt die Dissoziation der Kohlensäure und verschiebt damit den vorhandenen anorganischen Kohlenstoff von der strippbaren Erscheinungsform ( $\text{CO}_2$ ) zu nicht strippbaren Fraktionen Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3$ ) und Karbonat ( $\text{CO}_3$ ).

Die Hauptaufgabe der Verfahrensentwicklung lag daher darin, den pH-Wert im Becken derart zu regeln, daß zum einen der Einfluß unerwünschter Inhibitionen und Limitierungen minimiert wird, zum anderen die im Zulauf vorhandene Alkalinität bestmöglich für die Nitrifikation ausgenutzt wird [Wett et al., 1998].

Ein weiteres Verfahrensziel ist die Minimierung des erforderlichen Energieaufwandes. Eine wichtige Energiesparmaßnahme ist die Unterbrechung der Nitrifikation nach der Bildung des Nitrits. Durch eine vollständige Hemmung der Nitrifikation durch hohe Ammoniakkonzentrationen wird der Sauerstoffbedarf um 25 % und der Kohlenstoffbedarf der Denitrifikation um 40 % verringert. Das bedeutet, die Zudosierung von externem Kohlenstoff (Rohschlamm) sollte nur im unbedingt notwendigen Maße erfolgen.

Die überzeugenden Ergebnisse der Versuchsphase vom Sept. 1995 bis zum Februar 1997 führten schließlich zu einem endgültigen Umbau einer Straße der Hochlastbiologie zu einem Prozeßwasserbehandlungsbecken.

## **4. Die Prozeßwasserbehandlung (Teilstrom)**

### **4.1 Anlagenerrichtung, Errichtungskosten**

Die Entscheidung, eine Straße der Hochlastbiologie aufzulassen, konnte aufgrund der vorliegenden mehrjährigen Betriebsdaten der ARA Strass mit den tatsächlich gemessenen und der zukünftig zu erwartenden organischen Belastung (Stagnation bzw. Rückgang im Tourismuswachstum) gefällt werden. Im Lichte der zukünftigen Reinigungsanforderungen und der beträchtlichen Rückbelastung aus dem Filtratwasser ist für die Gesamtreinigungsleistung der ARA eine getrennte Prozeßwasserbehandlung von größerer Bedeutung, als über den größten Teil des Jahres (lange Tourismus-Zwischensaisonen) eine zu diesen Zeiten überdimensionierte Hochlastbiologie vorzuhalten.

Die ARA-Strass wird daher zukünftig mit einer Hochlastbiologie mit  $644 \text{ m}^3$  Beckeninhalte betrieben. Das Fließschema im Bereich der Hochlastbiologie und der Prozeßwasserbehandlung ist in Abb.3 dargestellt.

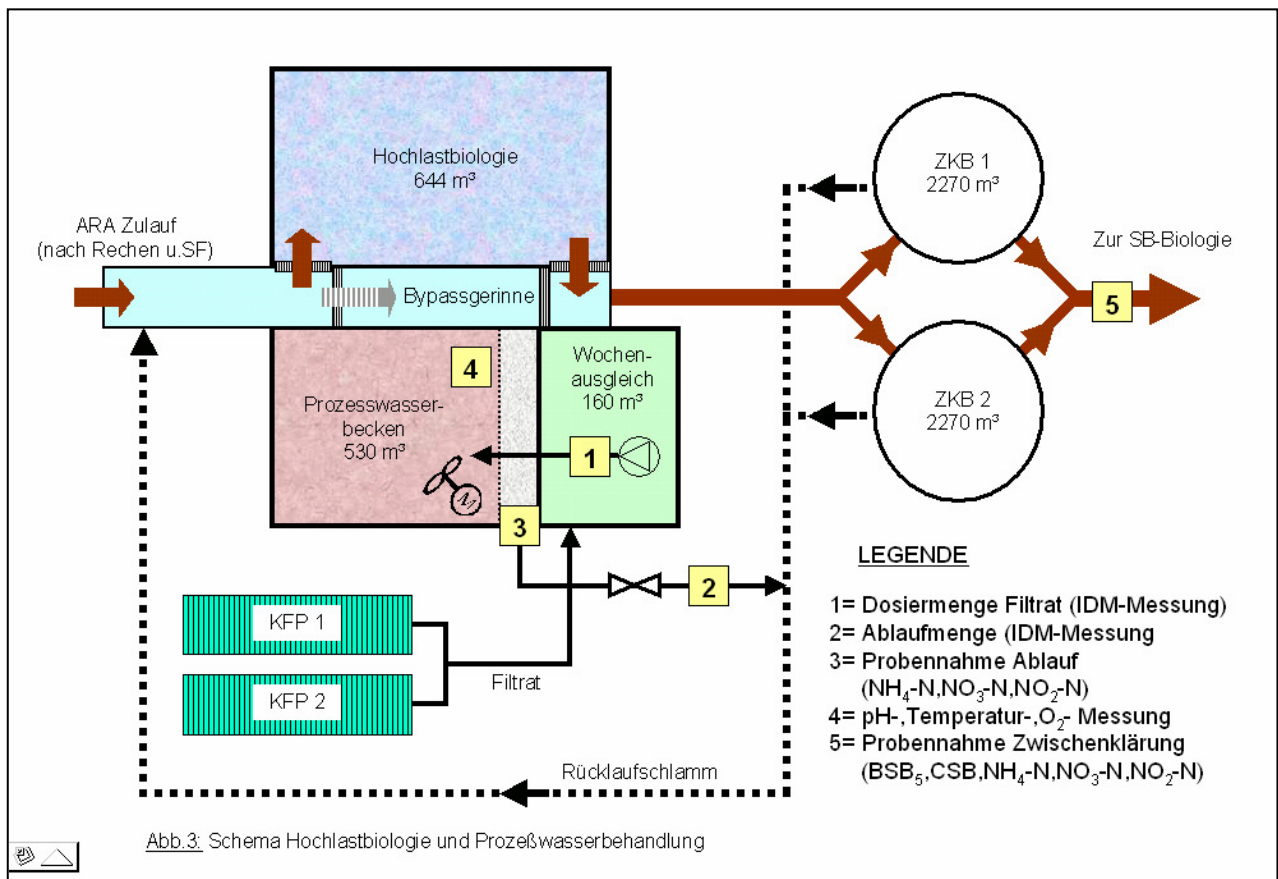


Abbildung 3: Schema Hochlastbiologie und Prozeßwasserbehandlung.

Infolge der günstigen baulichen Gegebenheiten konnten die Herstellungskosten gering gehalten werden. Die Baumeisterarbeiten für den Umbau eines Hochlastbeckens in das Reaktionsbecken mit Wochenausgleichsspeicher, Beschichtung des Wochenausgleichsspeichers, Ablaufkanal etc. betragen 2.500.000,- ATS (180.000,- Euro). Für die maschinelle, elektrotechnische und steuerungstechnische Ausrüstung wurden 550.000,- ATS (40.000,- Euro) aufgewendet. Da die gesamte maschinelle und elektrotechnische Installation, die Prozeßleittechnik usw. vom Kläranlagenpersonal vorgenommen wurde, konnte mit einem Gesamtaufwand von 3.050.000,- ATS (220.000,- Euro) das Auslangen gefunden werden.

#### 4.2 Betriebsweise der SBR-Anlage

Im Wochendurchschnitt werden an den 5 Arbeitstagen Montag bis Freitag 24 Pressen abgepreßt, was einer Filtratmenge von wöchentlich etwa 640 m<sup>3</sup> entspricht. Ein Wochenausgleichsspeicher von 160 m<sup>3</sup> wurde eingerichtet, um auch an den Wochenenden einen entsprechenden Batch-Betrieb aufrecht erhalten zu können.

Der Batch-Betrieb erfolgt täglich in drei Zyklen zu je acht Stunden, mit folgendem Ablauf:

|                   |                    |  |
|-------------------|--------------------|--|
| <b>Belüften:</b>  | <b>310 Minuten</b> | <b>alternierend innerhalb bestimmter pH-Wertgrenzen mit durchlaufender konstanter Zudosierung des Prozeßwassers</b>  |
| <b>Rühren:</b>    | <b>75 Minuten</b>  | <b>mit Zugabe von etwa 30 m<sup>3</sup> Rücklaufschlamm (ca. 3,0 gTS/l; CSB ca. 5000 mg/l) aus der Hochlaststufe als Kohlenstoffquelle für die Denitrifikation</b> |
| <b>Absetzen:</b>  | <b>65 Minuten</b>  | <b>(Denitrifikation)</b>   |
| <b>Entleeren:</b> | <b>30 Minuten</b>  | <b>Abzug von rd. 80-90 m<sup>3</sup> Reaktorvolumen</b>  |

Der Ablauf der 3 Zyklen ist im folgenden Prozeßbild dargestellt. Es sind der Reihen nach die Beschickungsmenge, der Sauerstoffgehalt, die ph-Wert Regelung, die Höhenstandsmessung im Becken und die aktuelle Menge des Filtrates im Wochenausgleichsspeicher angegeben.

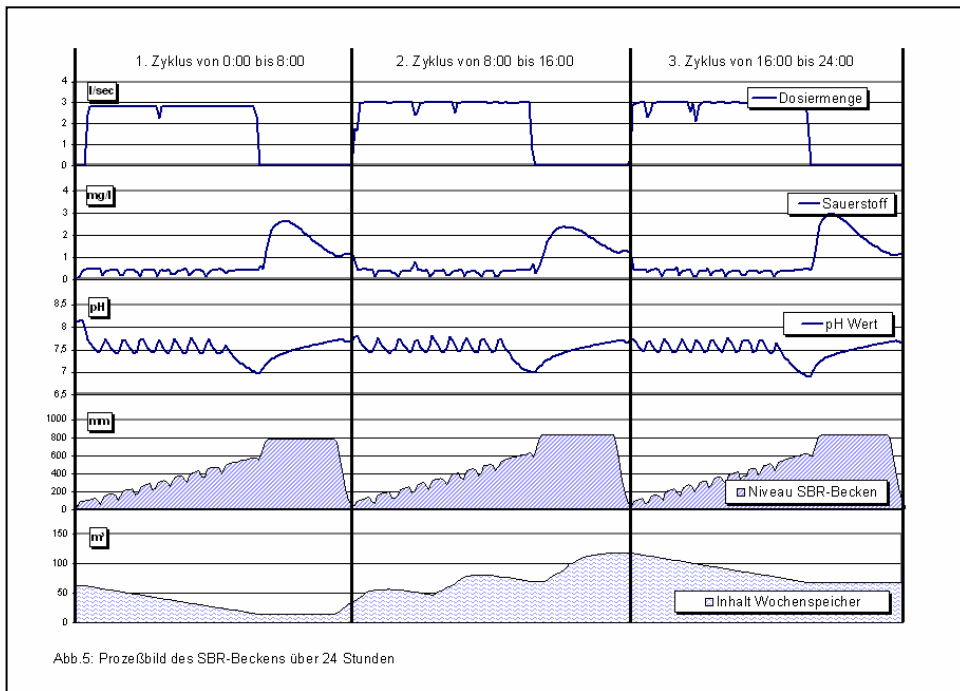


Abbildung 5: Prozeßbild des SBR-Beckens über 24 Stunden.

### 4.3 Abbauleistung

In Tabelle 4 sind die  $\text{NH}_4\text{-N}$  Abbauleistungen des Prozeßwasserbeckens als Monatsmittelwerte bzw. Wochenmittelwerte einiger signifikanter Zeiträume seit der Inbetriebnahme der separaten Prozeßwasserbehandlung zusammengestellt. Die Tagesfrachten erreichen je nach Preßbetrieb bis zu 360 kg  $\text{NH}_4\text{-N}$  pro Tag, wobei ein Teil im Ausgleichsspeicher zurückgehalten wird.

| Zeitraum:      | Zulauf [kg $\text{NH}_4\text{-N/d}$ ] | Ablauf [kg $\text{NH}_4\text{-N/d}$ ] | Abbau [kg $\text{NH}_4\text{-N/d}$ ] | Abbau [%] |
|----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| August 1997    | 141                                   | 33                                    | 107                                  | 76        |
| September 1997 | 180                                   | 27                                    | 153                                  | 85        |
| Oktober 1997   | 146                                   | 21                                    | 125                                  | 86        |
| Woche 10/1998  | 191                                   | 29                                    | 162                                  | 85        |
| Jänner 1999    | 139                                   | 6                                     | 133                                  | 96        |
| März 1999      | 164                                   | 7                                     | 157                                  | 96        |
| Juli 1999      | 137                                   | 10                                    | 127                                  | 93        |
| Dezember 1999  | 107                                   | 8                                     | 99                                   | 93        |
| Jänner 2000    | 161                                   | 16                                    | 145                                  | 90        |

Tabelle 4: Durchschnittliche Abbauleistungen SBR-Becken.

Da der Ablauf des Prozeßwasserbeckens über den Rücklaufschlamm der Hochlastbiologie in die nachgeschaltete Zwischenklärung mit hervorragenden Denitrifikationseigenschaften mündet, werden auch hohe Konzentrationen an Nitrit und Nitrat im Ablauf des SBR-Beckens in der Zwischenklärung praktisch zur Gänze abgebaut. Zur Information sind beispielhaft die entsprechenden Konzentrationen der anorganischen Stickstoffverbindungen in der Tabelle 5 angegeben.

| Zeitraum       | $\text{NH}_4\text{-N}$ SBR zu | $\text{NH}_4\text{-N}$ SBR ab | $\text{NO}_2\text{-N}$ SBR ab | $\text{NO}_3\text{-N}$ SBR ab | $\text{NO}_2\text{-N}$ ZKB ab | $\text{NO}_3\text{-N}$ ZKB ab |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| August 1997    | 1788                          | 193                           | 163                           | 59                            | 0,20                          | 0,60                          |
| September 1997 | 1718                          | 144                           | 142                           | 50                            | 0,15                          | 0,62                          |
| Oktober 1997   | 1651                          | 114                           | 129                           | 48                            | 0,20                          | 0,60                          |
| Woche 10/1998  | 1711                          | 170                           | 279                           | 78                            | 0,20                          | 0,44                          |
| Woche 11/1998  | 1737                          | 129                           | 254                           | 69                            | 0,20                          | 0,36                          |
| Woche 01/2000  | 1818                          | 89                            | 122                           | 33                            | 0,10                          | 0,25                          |

Tabelle 5: Monats- bzw. Wochenmittelwerte der Konzentrationen im SBR-Becken und im Zwischenklärbecken (ZKB) in mg/l



## 5. Auswirkungen auf die Gesamtanlage

### 5.1 Minderung der $\text{NH}_4\text{-N}$ Fracht

Die Abbauleistung im Prozeßwasserbehandlungsbecken wird nach Mengen online und nach Konzentrationen über die Analyse der Mischproben ermittelt. Da der Ablauf des Beckens in die Rücklaufschlammleitung der Hochlastbiologie mündet, besteht zusätzlich die Möglichkeit, anhand des Ablaufes der Zwischenklärbecken die Abbauleistung zu überprüfen. Da in der Hochlastbiologie kaum Ammoniumstickstoff umgesetzt wird, ist die Differenz der Ammoniumkonzentrationen aus dem Kläranlagenzulauf und dem Ablauf der Zwischenklärung ein geeigneter Wert zur Kontrolle der Abbauleistungen des SBR-Beckens.

In Abbildung 6 sind die Wochenmittelwerte der Ammoniumkonzentrationen des ARA Zulaufes und des Zwischenklärbeckenablaufes des Jahres 1997 dargestellt. Ohne Prozeßwasserbehandlung liegen infolge des Durchschlagens der Ammoniumspitzen aus dem Filtrat die Konzentrationen im Zwischenklärbeckenablauf deutlich über der ARA-Zulaufkonzentration.

Diese Differenz kann je nach Anzahl der Pressen bis zu 15 mg/l im Tagesmittelwert erreichen. Nach Inbetriebnahme der Prozeßwasserbehandlung ab Woche 33 gehen die Differenzen gegen null, was bedeutet, daß die nachgeschaltete Schwachlastbiologie nur mehr durch eine geringe Restfracht aus der Schlammmentwässerung belastet wird.

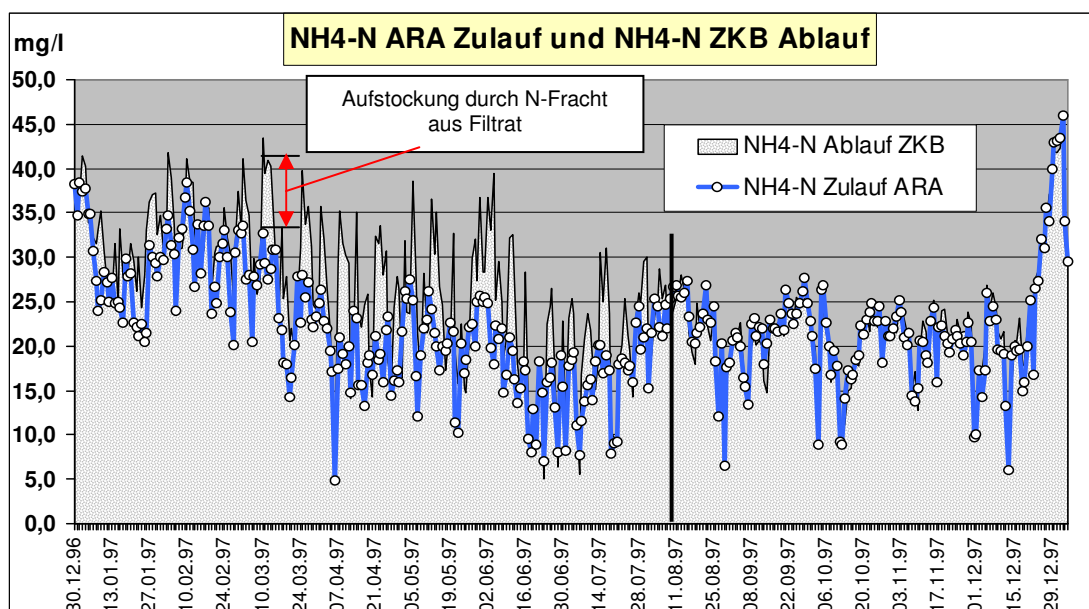


Abbildung 6: Vergleich der Ammoniumkonzentrationen im ARA-Zulauf und ZKB-Ablauf (SBR-Betrieb ab KW33 = Anfang August 1997)

### 5.2 Minderung der Belastungsspitzen

Für die Schwachlastbiologie bedeutet die Elimination der Filtratwässer – neben der erheblichen Stickstoffentlastung - auch mehrere betriebliche Vorteile. Die Abb.7 zeigt typische tägliche online-Ganglinien des Ammonium- und Nitratstickstoffes ohne und mit Prozeßwasserbehandlung.

Mittels der online-Regelung der Belüftung der Schwachlastbiologie wird der Ammoniumgehalt im Kläranlagenablauf zwischen 1 –2 mg/l gehalten. Deutlich ist aber je nach Anzahl der Pressen (Woche 18/1997 Do, Sa und So keine Pressen) der Anstieg des Nitratgehaltes infolge der längeren erforderlichen Nitrifikationszeit zu erkennen.

In Woche 51/1997 mit Prozeßwasserbehandlung ist der Einfluß der Prozeßwässer nicht mehr zu erkennen. Die Nitratganglinie entspricht jener an Tagen ohne Pressen. Mit dem Wegfall der früheren beträchtlichen täglichen – ja stündlichen – Ammoniumspitzen stellt sich nunmehr ein wesentlich ausgeglichener Betrieb der Belüftungsanlagen der Schwachlastbiologie ein, was für den maschinenbaulichen Teil (Motor-Generatorbetrieb, Zuschalten von Gasmotoren usw.) von erheblichem Vorteil ist.



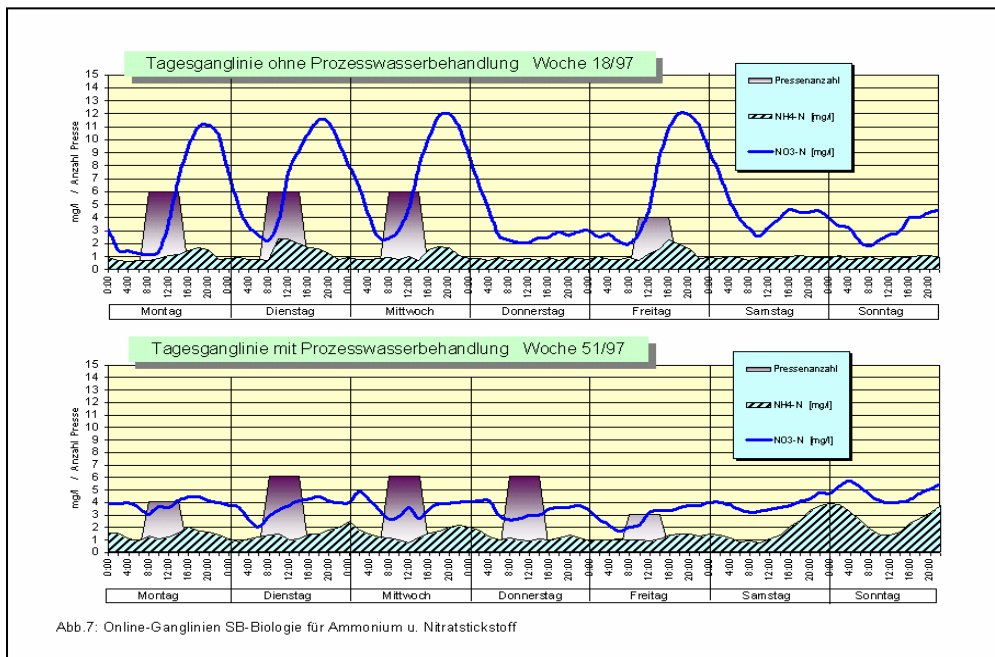


Abb.7: Online-Ganglinien SB-Biologie für Ammonium u. Nitratstickstoff

### 5.3 Verbesserung des Wirkungsgrades der Stickstoffelimination

Erwartungsgemäß hat sich die Vorreinigung der Filtratwässer auf den Wirkungsgrad der Stickstoffentfernung der Gesamtanlage sehr positiv ausgewirkt, da nun die bestehende Schwachlastbiologie mit 10.400 m<sup>3</sup> Belebungsbecken – abgesehen von der geringen Restfracht - nur mehr mit den Stickstofffrachten aus dem Kläranlagenlauf belastet wird.

Durch die Prozesswasserbehandlung wurde nicht nur eine wesentlich höhere Reinigungsleistung erzielt, sondern gewissermaßen auch eine Reserve für zukünftige Frachterhöhungen aus dem Verbandsgebiet von etwa 20.000 EW (bei 10 g N/EW\*d) geschaffen. Ein Vergleich der Monate Jänner-Februar 1997 und 1998, also der Zeit der Hochbelastung der ARA Strass aus dem Wintertourismus bei geringen Abwassertemperaturen, zeigt eine Steigerung der Stickstoffelimination von etwa 11%, und dies obwohl im Vergleichszeitraum Jän/Febr 1998 etwa 13.000 EW mehr an die ARA angeschlossen waren als 1997! Ein Vergleich der 11. und 12. Woche im März 1997/98 ergibt sogar eine Steigerung bei gleicher Belastung im Mittel von 15 %!

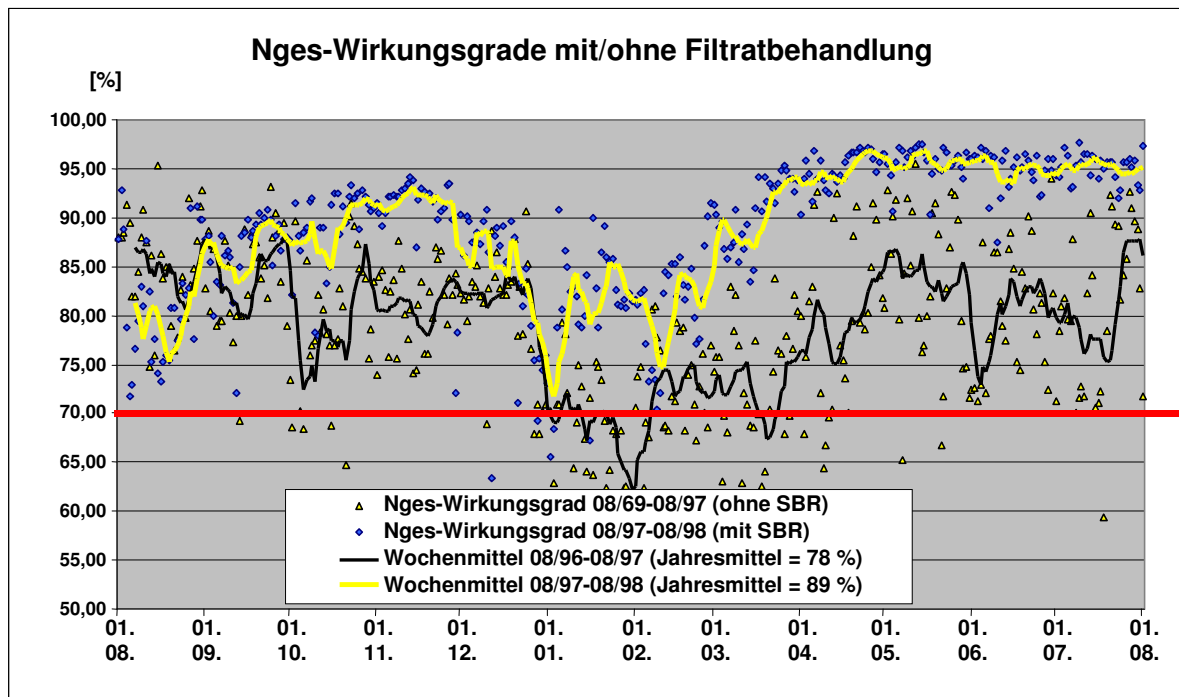


Abbildung 8: Nges-Wirkungsgrad an der ARA-Strass mit und ohne separate Filtratbehandlung

| Zeitraum                | EW <sub>60</sub> | Nges-Abbau [%] | Abwassertemperatur [°C] |
|-------------------------|------------------|----------------|-------------------------|
| Jän/Feb 1997            | 112.500          | 71             | 8,3                     |
| <b>Jän/Feb 1998</b>     | <b>120.000</b>   | <b>81</b>      | <b>9,3</b>              |
| Woche 10/11 1997        | 110.000          | 73             | 9,9                     |
| <b>Woche 10/11 1998</b> | <b>110.000</b>   | <b>88</b>      | <b>10,2</b>             |
| Jahr 1996               | 90.200           | 78             | 12,2                    |
| <b>Jahr 1999</b>        | <b>103.401</b>   | <b>89</b>      | <b>11,7</b>             |

Tab.6: Gesamtstickstoffentfernung ohne und mit Prozeßwasserbehandlung, (fettgedruckte bzw. hinterlegte Zeiträume mit separater Filtratbehandlung)

#### 5.4 Einfluß auf den Energiehaushalt

Abgesehen von den Verbesserungen im Betrieb bzw. in der Eliminationsleistung von Stickstoff, stellt sich bei der betriebswirtschaftlichen Betrachtung der separaten Filtratwasserbehandlungsanlage die Frage der Kosten für diese betrieblichen Vorteile.

Da für die SBR-Anlage keine externen Betriebsmittel zugekauft werden und auch keine Personalaufstockung erforderlich ist, beschränkt sich die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf den Energieeintrag in Form von Belüftung, Pumpen und Umwälzung, sowie den Energiegewinn in Form von Faulgas.

Grundsätzlich ist der Sauerstoffbedarf für die Nitrifikation durch die Stöchiometrie bestimmt und damit unabhängig davon, ob die NH<sub>4</sub>-N-Fracht im Haupt- oder Nebenstrom oxidiert wird. Eine Energieeinsparung bei der Nitrifikation ergibt sich jedoch, wenn der 2. Schritt – **die Nitratation** (über Nitrobacter)– gehemmt ist und damit die Stickstoffoxidation nur über dem ersten Schritt – **die Nitritation** (über Nitrosomonas)- erfolgt.

Diese Inhibition der Nitratation wird auf der ARA-Strass durch erhöhte Konzentrationen an Ammonium im SBR-Reaktor erreicht. In Abbildung 9 wird die weitgehende Hemmung der Nitratbildung eindeutig mit einem Verhältnis NO<sub>2</sub>-N: NO<sub>3</sub>-N = 75% : 25% dokumentiert.

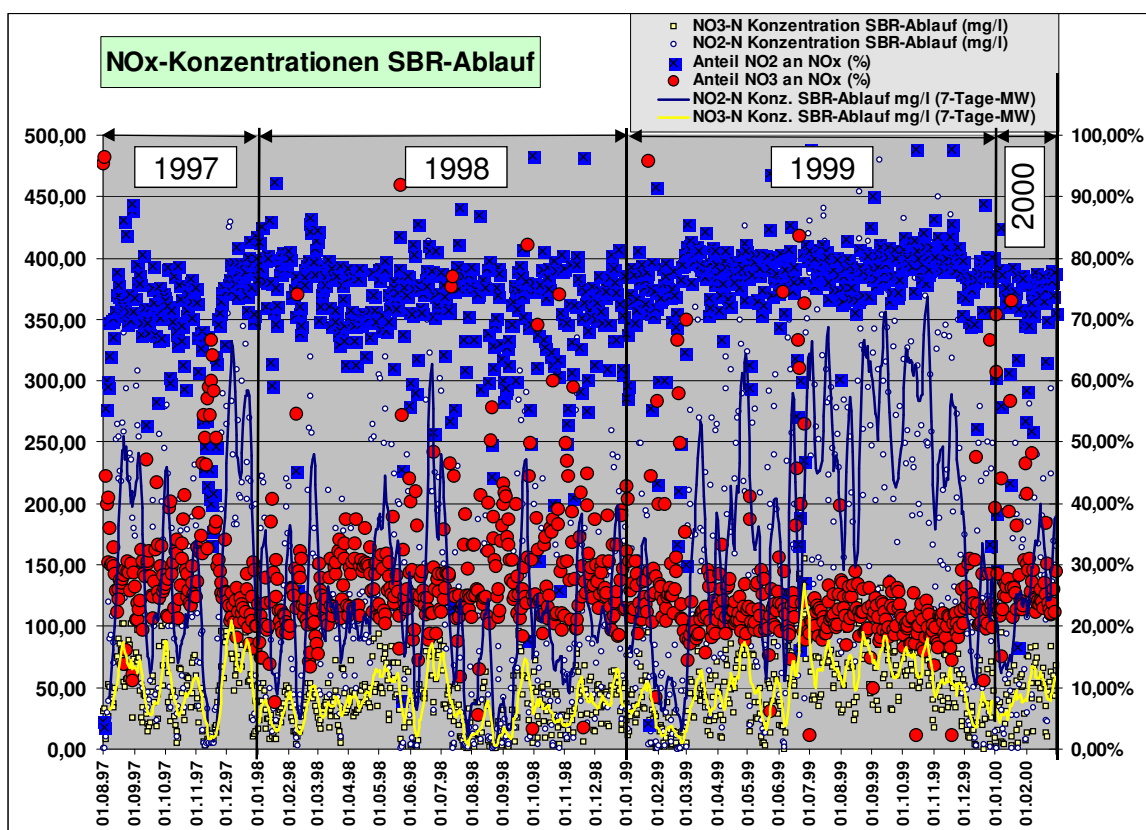


Abbildung 9: Anteile von Nitrit (NO<sub>2</sub>-N) bzw. Nitrat (NO<sub>3</sub>-N) an der Stickstoffoxidation im SBR-Reaktor

Zugleich mit der Nitrifikation erfolgt der aerobe Kohlenstoffabbau. Die gelösten, organischen C-Verbindungen werden in nitrifizierenden Belebtschlammssystemen in jedem Fall weitestgehend oxidiert. Das heißt der Sauerstoffbedarf für die Elimination gelöster organischer Stoffe im Kläranlagenzulauf ist unabhängig vom Betrieb einer Teilstrombehandlung. Der Sauerstoffbedarf für den Abbau organischer Feststoffe und damit der Grad der aeroben Schlammstabilisierung hängt hingegen direkt von der Belüftungsdauer ab.

Das bedeutet wiederum, je mehr heterotrophe Biomasse bei der Nitrifikation einer Ammoniumfracht „mitbelüftet“ wird um so größer ist der zusätzliche Energiebedarf.

In der Hauptstrombiologie wäre also ein größerer Aufwand an Belüftungsenergie für die Oxidation einer Ammoniumfracht erforderlich, als in der auf Nitrifikation spezialisierten Biologie der Separatbehandlung.

Durch die Zugabe von Rohschlamm (A-Schlamm) in der Teilstrombehandlung wird zusätzliche Belüftungsenergie im SBR-Reaktor verbraucht, gleichzeitig wird in der Hauptstrombiologie durch verkürzte Nitrifikationszeiten, der Belüftungsbedarf für den daran gekoppelten C-Abbau vermindert. Die Belüftungsenergie, die für die Prozeßwasserbehandlung aufgewendet wird, kann in etwa im doppeltem Maße in der Hauptstrombiologie eingespart werden.

Abbildung 10 zeigt die Auswirkungen auf die spezifische Belüftungsenergie in Summation von B-Biologie und SBR-Reaktor, wobei in der Teilstrombehandlung der Energiebedarf für Belüftung, Pumpen und Umwälzung inkludiert ist. Der Energieeinsatz konnte von 24,9 kWh/1000 EW\*d (1996 – ohne SBR-Anlage) auf 20,2 kWh/1000EW\*d (1999) gesenkt werden.

Aus dieser Betrachtung leitet sich für die ARA-Strass, bei einer mittleren Jahresauslastung der Anlage von rd. 100.000 EW<sub>60</sub> eine Energieeinsparung von rd. 180.000 kWh pro Jahr ab.

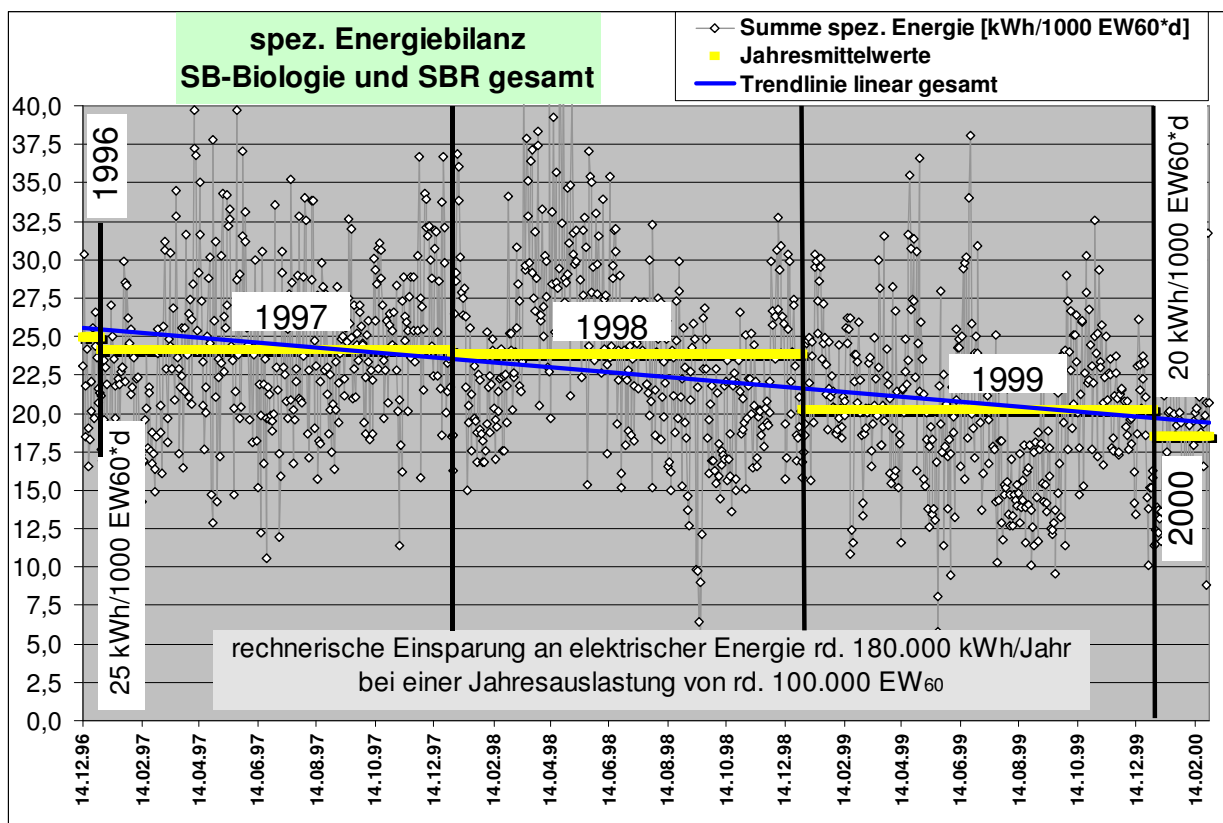
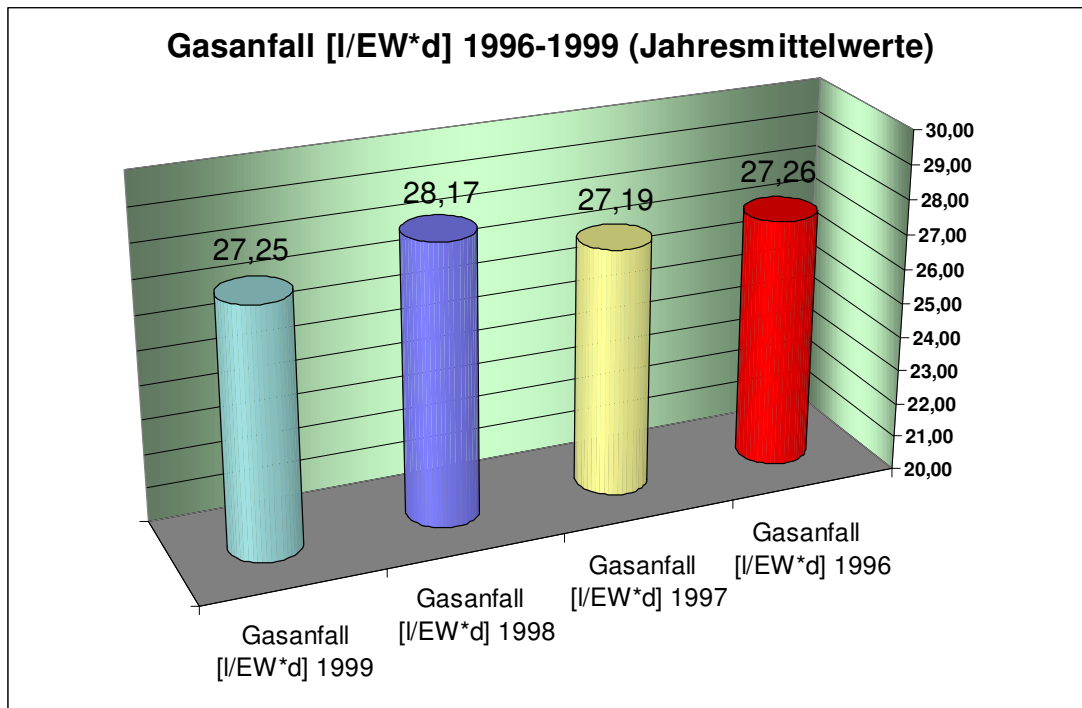


Abbildung 10 : Spezifische Belüftungsenergie in Summation für B-Biologie und SBR-Reaktor

Dem mehrfach diskutierten Gasverlust, welcher sich durch den Einsatz von A-Schlamm als C-Quelle (für die Denitrifikation) im SBR-Reaktor „rein rechnerisch“ ergeben sollte, kann mit der gleichen Argumentation wie in der zuvor aufgeworfenen „Belüftungsfrage“ begegnet werden.

Der organische Anteil im zugegebenen Rohschlamm wird bei der intensiven Belüftung im Prozeßwasserbecken stark vermindert bzw. als Substrat bei der Denitrifikation veratmet und damit der Energienutzung in der Faulung entzogen. Dieser Energieverlust wird aber durch eine verminderte Belüftung (Reduzierung der Nitrifikationszeiten) und somit durch eine verminderte aerobe Schlammstabilisierung in der Hauptstrombiologie kompensiert.

Der Verlauf des spezifischen Gasanfalles zeigt, daß sich der Energieinhalt des gesamten anfallenden und der Faulung zugeführten Schlammes, seit der Inbetriebnahme der Prozeßwasserbehandlung, nicht geändert hat (siehe Abbildung 11).



**Abbildung 11: Spezifischer Gasfall 1996-1999 (1996- ohne Filtratwasserbehandlung, 1997- Filtratwasserbehandlung ab August)**

### **5.5 Betriebskosten der separaten Prozeßwasserbehandlungsanlage**

Die Betriebskosten sind für den Anlagenbetreiber in der Beurteilung eines Systems ein wesentlicher Bestandteil des Gesamtkonzeptes. Die Kosten der Teilstrombehandlung setzen sich aus mehreren Komponenten zusammen, wobei ein wesentlicher Teil auf die Input-Output-Analysen entfällt. Nur durch die ständige Kenntnis aller wichtigen Parameter ist es möglich die Teilstrombehandlungsanlage einem Monitoring und somit einem Controlling zu unterwerfen.

Für die entsprechende analytische Betreuung werden auf der ARA-Strass ca. 1/3 der gesamten auf die Anlage entfallenden Betriebskosten aufgewendet. Der restliche Teil gliedert sich in Energiekosten (Anteil ebenfalls ca. 1/3), sowie den Kosten für die laufende Wartung und einer 1/2-jährlichen Räumung des Wochenspeichers.

Diese Räumung ist erforderlich um den Speicherboden von einem feinen Kalk-Schlamm-Sediment zu reinigen, welches mit dem Kammerfilterpressen-Filtrat in den Speicher gepumpt wird und sich dort absetzt. Im Zuge dieser Speicherreinigung werden auch die Rohrleitungen der Filtratbehandlungsanlage mit 3 %-iger Salzsäure - welche übrigens zuerst zur Säuerung der Filtertücher der Kammerfilterpressen verwendet wird - durch Kreislaufführung gespült und somit ein allmähliches Aufwachsen von Kalkablagerungen an den Rohrwandungen verhindert.

In Summe und unter Einrechnung dieser Reinigungsmaßnahmen ergeben sich pro Jahr rd. 350.000,- ATS an Betriebskosten. Umgelegt auf eine Jahreseliminationsleistung der Anlage von rd. 50.200 kg NH<sub>4</sub>-N ermitteln sich die spezifischen Betriebskosten zu 7,00 ATS pro kg abgebauten Ammoniumstickstoff.

### **6. Zusammenfassung, Schlußfolgerungen und Ausblick.**

Die Ammoniumstickstofffrachten aus den Filtraten oder Zentraten der Faulschlammwässerung stellen für viele kommunale Kläranlagen eine beträchtliche interne Rückbelastung dar. Eine Möglichkeit der getrennten biologischen Behandlung dieses Teilstromes auf Basis der SBR-Technik wurde an der ARA Strass (167.000 EW) während einer eineinhalbjährigen Versuchsphase im großtechnischen Maßstab entwickelt und optimiert. Anschließend wurde das Prozeßwasserbehandlungsbecken adaptiert und damit die Teilstrombehandlung fix installiert und in Betrieb genommen. Ziel dieser Maßnahme war es, durch verbesserte Verfahrenstechnik ohne zusätzliche Reaktionsvolumina den Wirkungsgrad der Gesamtanlage zu erhöhen, um den verschärften gesetzlichen Anforderungen an die Stickstoffelimination gerecht zu werden. Die Ausgangslage an der ARA Strass, die Durchführung der Pilotversuche, die praktische Umsetzung und die mehrjährigen Betriebserfahrungen wurden in diesem Bericht dargelegt.

**Nach nun knapp 3-jährigen Betriebserfahrungen und den vorliegenden Betriebsergebnissen wird folgendes zusammengefaßt:**

- Das ursprüngliche Ziel, den Einfluß der Filtratwässer aus der Schlammbehandlung weitestgehend auszuschalten, wurde erreicht. Seit der Inbetriebnahme der Prozeßwasserbehandlung ergeben sich kaum noch bemessungsrelevante interne Stickstoffbelastungen für die 2. biologische Stufe
- Der Wirkungsgrad der ARA-Strass konnte, bezogen auf Nges, durch die Installierung der separaten Prozeßwasserbehandlung im Jahresmittel um 10 % gesteigert werden. Die Teilstrombehandlung wird dabei pro Jahr mit ca. 56.000 kg NH<sub>4</sub>-N beschickt, wovon rd. 50.200 kg NH<sub>4</sub>-N eliminiert werden.
- Der Wirkungsgrad der Teilstrombehandlung liegt im Jahresmittel bei rd. 90 % und hängt nicht von der täglichen Beschickungsmenge, sondern von den gegebenen Alkalinitätsverhältnissen ab. Im Interesse der Wirtschaftlichkeit der Prozeßwasserbehandlung wird auf den Einsatz zusätzlicher Betriebsmittel (Lauge, Methanol, etc.) zur Erhöhung des Wirkungsgrades verzichtet. Die verbleibende Restfracht beeinflußt die nachgeschaltete Schwachlastbiologie nur mehr sehr geringfügig.
- Die Betriebserfahrungen zeigen auch eine hohe Prozeßstabilität und geringe Störungsanfälligkeit des entwickelten Verfahrens. Die Gründe dafür liegen zum einen am hohen Schlammalter im System (30 – 50 Tage) und zum anderen an der einfachen Instrumentierung (O<sub>2</sub>-; pH-Sonde, Füllstandsmessung).
- Durch die hohe Systemtemperatur im SBR-Reaktor von im Jahresmittel > 25 °C werden hohe und stabile Umsatzraten pro Zeiteinheit erreicht. Bei hohen Ammonium-Belastungen des SBR-Reaktors ergeben sich Nitrifikationskapazitäten von rd. 200 g NH<sub>4</sub>-N/kg TS\*d (8,3 g NH<sub>4</sub>-N/kg TS\*h).
- Als Anhaltswert für die Reaktorbemessung liegt an der ARA Strass die raumspezifische Beschickungsmenge bei bis zu 0,6 kg NH<sub>4</sub>-N pro m<sup>3</sup> Reaktionsbecken und Tag. Bei einer mittleren Schlamm Trockensubstanz von 12 kg/m<sup>3</sup> ergibt sich eine NH<sub>4</sub>-N-Schlammbelastung von rd. 50 g NH<sub>4</sub>-N/kgTS\*d.
- Als spezifischer Energieverbrauch wurden im Mittel über die bisherige Betriebszeit 2,8 kWh/kg(abgebautem NH<sub>4</sub>-N) gemessen. An Tagen mit Spitzenbelastungen sinkt der Verbrauch auf 1,5 kWh/kg NH<sub>4</sub>-N. Der spezifische Energieverbrauch im Belebungsbecken der 2. Biologie beträgt 7-8 kWh/kg(abgebautem NH<sub>4</sub>-N).
- Der spezifische Energieaufwand für die Belüftung konnte in Summe (SBR-Reaktor und 2. biologische Stufe) von 24,9 kWh/1000 EW\*d im Jahr 1996 (Betrieb ohne SBR-Reaktor) auf 20,2 kWh/1000 EW\*d gesenkt werden. Bei einer mittleren Jahresauslastung der ARA-Strass von ca. 100.000 EW<sub>60</sub> ergibt sich dadurch eine Einsparung von rd. 180.000 kWh pro Jahr.
- Auf der ARA Strass wurde ein bestehendes Becken zur Umrüstung für die Prozeßwasserbehandlung genutzt. Dadurch konnten wesentliche Einsparungen bei der Errichtung der Anlage erzielt werden. Rechnet man bei einem Neubau mit 7.000,- ATS (500,- Euro) je m<sup>3</sup> Beckenvolumen, so ermitteln sich daraus Herstellungskosten für Reaktionsbecken und Ausgleichsspeicher von etwa 4.800.000,- ATS (350.000,- Euro). Es ergibt sich daher für viele Kläranlagen mit Schlammfäulung und einer ähnlichen Charakteristik der Filtratwässer eine sehr wirtschaftliche und wirkungsvolle Methode zur Behandlung der Teilströme aus der Schlammmentwässerung.
- Eine Vergleichsrechnung nach den Regeln der ATV-A131 ergibt für einstufigen Anlagen in der Größenordnung der ARA Strass, daß das erforderliche Gesamtvolumen der Reaktionsbecken der Kläranlage durch die Separatbehandlung der Prozeßwässer um rd. 22 % vermindert wird.
- Ein meßbarer Gasverlust durch die Verwendung von A-Schlamm als Kohlenstoffquelle für die Denitrifikation im SBR-Reaktor konnte bisher nicht festgestellt werden. Der Grund dafür liegt in der eingesparten Belüftung in der 2. biologischen Stufe und dem damit einhergehenden geringeren Grad der aeroben Schlammstabilisierung.

---

## Literaturnachweis:

- Anthonisen, A.C.; Loehr, R.C.; Prakasam, T.B.S.; Srinath, E.G.(1976): Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid.  
Journal WPCF, 48/5, 835-852
- Abeling, U. (1994): Stickstoffelimination aus Industrieabwässern - Denitrifikation über Nitrit  
Veröffentl. d. Inst. f. Siedlungswasserwirt. u. Abfalltechn. d. Univ. Hannover, 86
- Cybulski, B.; Frey, J.; Körber, W. (1997): Teilstrombehandlung von Prozeßwässern der Schlammmentwässerung.  
awt-abwassertech., 2/95, 46-48
- Henze, M.; Grady Jr., C.P.L.; Gujer, W.; Marais, G.v.R.; Matsuo, T. (1987) : Activated sludge model No.1.  
IAWQ Scient. and Techn. Reports No.1
- Kolisch G. (1996): Zweistufige biologische Stickstoffelimination aus Filtraten oder Zentraten der Schlammmentwässerung.  
Korresp. Abwasser, 6/96, 1040-1045
- Rostek R. (1995): Kläranlagen mit ausgeprägten saisonalen Belastungsschwankungen.  
Korresp. Abwasser, 3/95, 366-375
- Schmidt, F.; Kolisch, G. (1997): Prozeßwasseraufbereitung auf kommunalen Kläranlagen.  
awt-abwassertech., 2/95, 49-53
- Stein, A.; Teichgräber, B; Mackowiak, J. (1995): Stickstoffelimination aus Trübwässern der Schlammbehandlung.  
awt-abwassertech., 2/97, 33-36
- Teichgräber, B. (1993): Control strategies for a highly loaded biological ammonia elimination process.  
Wat.Sci.Tech., 28/11-12, 531-538
- Wett, B.; Rostek, R.; Rauch, W.; Ingerle, K. (1997): pH-controlled reject-water-treatment.  
Proc. of the 7th IAWQ ICA-conf., Brighton, July 1996, 223-230
- Winter R.; Krauth K.(1996): Nitrifikation u. Denitrifikation des Abwasserteilstromes aus der anaeroben Schlammbehandlung.  
Korresp. Abwasser, 6/96, 1032-1039