

# Praktische Erfahrungen mit der Schlammversäuerung und deren Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit bei der vermehrten biologischen Phosphoreliminierung

Ulrike Pokorny und Konrad Buchauer

**Schlagwörter:** Abwasserbehandlung, Primärschlamm, Betriebsergebnisse, Elimination, Österreich

Auf 2 Kläranlagen in Tirol, Österreich, wurden großtechnische Erfahrungen mit dem gezielten Einsatz von versäuertem Primärschlamm gesammelt. Die Betriebsergebnisse werden vorgestellt und kritisch analysiert, wobei insbesondere auf die Auswirkungen bezüglich Nährstoffelimination näher eingegangen wird. Die daraus abgeleiteten Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, daß sich bei einem Kläranlagen-Neubau die Gesamtkosten aus Investitionen und Betrieb auf einfache Weise um ca. 5% vermindern lassen. Bei Umbauten von Kläranlagen ist die Wirtschaftlichkeit oft noch wesentlich höher, da häufig bestehende Anlagenteile zur Versäuerung genutzt werden können.

At 2 wastewater treatment plants in Tyrolia, Austria, large-scale experiences with the acidification of primary sludge were made. The operational results are presented and analysed critically with special focus on nutrient removal. The economical calculations derived thereof show that in case of a newly constructed wastewater treatment plant total costs including investment and operation can be reduced by approximately 5%. In case of an existing plant which is adapted to new demands the financial benefits can be even higher, because of the frequent possibility to use existing units for acidification.

## 1. Einleitung

Die erste Generation von Bio-P-Anlagen im deutschsprachigen Raum war noch sehr von den Erfahrungen geprägt, die aus der Republik Südafrika und aus den USA kamen. Die Erfolge mit diesen Konzepten waren in Mitteleuropa meist nur mittelmäßig, so daß sich unter den hiesigen Planern und Kläranlagenbetreibern eine eher restriktive Einstellung gegenüber Bio-P breitmachte.

In den vergangenen 1 bis 2 Jahrzehnten widmeten sich jedoch viele Forschungsprojekte vermehrt der Grundlagenforschung von Bio-P. Daraus entstand ein vertieftes Verständnis für die involvierten Prozesse, was eine neue Generation von Planungen ermöglichte. Anstelle des Bardenpho- oder Phoredox-Verfahrens traten nun UCT-, JHB- oder ISAH-Verfahren, um nur einige zu nennen. All diese verbesserten Verfahren versuchten, den Nitrateintrag in das Anaerobbecken zu minimieren, um dadurch das dort eingebrachte leicht abbaubare Substrat möglichst effizient für die biologische Phosphoreliminierung zu nutzen. Setzt man derartige Verfahrensweisen als Stand der Technik voraus, so drängt sich als nächster Schritt die Optimierung der Zulaufkonzentration an leicht abbaubaren Substanzen geradezu auf.

In diesem Artikel soll insbesondere darauf eingegangen werden, wie sich auf 2 sehr unterschiedlich großen Kläranlagen in Westösterreich, der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Pitztal (27 500 EW) und der ARA Innsbruck (400 000 EW), die Versäuerung von Primärschlamm bewährt hat. Folgerungen für zukünftige Planungen sowie Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit derselben runden den Beitrag ab.

## 2. Praktische Erfahrungen

### 2.1 Abwasserreinigungsanlage (ARA) Pitztal

#### Allgemeines

Die ARA Pitztal ist eine kommunale Kläranlage, die die Abwässer der saisonal stark vom Tourismus geprägten Gemeinden des Pitztals reinigt. Die Reinigung besteht aus mechanischer Vorreinigung, Vorklärung, Belebungsbecken und Nachklärung. Besonderes Kennzeichen der Anlage sind die ca. 8m tiefen Belebungsbecken sowie deren Verteilung in Sektoren die allesamt wahlweise als Anaerobbecken, Denitrifikationsbecken oder Belüftungsbecken betrieben werden können. Die Anlage ging im Jahr 1997 in Betrieb und wurde auf 27 500 EW ausgelegt.

#### Konzept der Schlammhydrolyse

In der Genehmigungsplanung wurde vom Ingenieurbüro Gerd Bennat, Innsbruck (Österreich), ein Voreindicker (VED)

DI Ulrike Pokorny, Zivilingenieurbüro, Bennat, Völser Straße 11, A-6020 Innsbruck und Dipl.-Ing. SE Dr. techn. Konrad Buchauer, D-Freiburg im Br.

zur statischen Schlammeindickung vorgesehen. Im Zuge neuer Erkenntnisse während der Detailplanung erfolgte jedoch nachträglich durch dasselbe Planungsbüro eine Umplanung des Voreindickers als Versäuerungsreaktor zur Optimierung von Bio-P, wodurch der Versäuerungsreaktor nun etwas kleiner ist als üblich. Das Volumen des Voreindickers beträgt  $38 \text{ m}^3$  und erlaubt bei Ausbaubelastung eine Versäuerungszeit von 1,8 d. Derzeit liegt die maximale Versäuerungszeit bei ca. 8 d.

Das Verfahrensschema der Primärschlammhydrolyse sieht eine außenliegende Umwälzung vor. Der frisch eingebrachte Schlamm verdrängt das Hydrolysat in einen Hydrolysat-speicher zur Zwischenspeicherung. Von dort wird das Hydrolysat kontinuierlich in das Anaerobbecken dosiert. Der eingedickte, versäuerte Schlamm wird mesophil ausgefaut.

## Betriebsergebnisse

Wie aus Bild 1 ersichtlich ist, sind durch den Versäuerungsbetrieb im Wochenmittel Phosphor-Reinigungsleistungen zwischen ca. 60 und 95 % möglich. Der Wirkungsgradeinbruch Ende August ist auf eine lang andauernde Regenperiode zurückzuführen, die die organischen Säuren im Kläranlagen-zulauf auf Null absinken ließ.

Die Konzentration der organischen Säuren im Hydrolysat lag zwischen ca.  $1400 \text{ mg/l}$  und  $3000 \text{ mg/l}$ . Aufgrund der ausgezeichneten Absetzeigenschaften des Schlammes durch die Umwälzung wurden über das Hydrolysat kaum Feststoffe ausgeschwemmt ( $\text{TS} = \text{ca. } 0,14\%$ ), während der abgezogene Schlamm auf ca. 8 % eingedickt war. Die Absetzgeschwindigkeit des Schlammes wurde im Mittel zu  $1,25 \text{ m/h}$  ermittelt. Die gemessene P-Rückbelastung der biologischen Stufe über das Hydrolysat lag bei 0,3 %. Ein Einfluß auf die Gasproduktion im mesophilen Faulbehälter konnte nicht festgestellt werden, und die Verbesserung der Stickstoffelimination durch die Zugabe von Hydrolysat war im Untersuchungszeitraum nur gering.

## 2.2 Abwasserreinigungsanlage (ARA) Innsbruck

### Allgemeines

Die ARA Innsbruck reinigt die Abwässer der Landeshauptstadt Innsbruck sowie von 15 Umlandgemeinden mit einem

mechanisch-biologisch-chemischen Belebtschlammverfahren. Die Anlage wurde entsprechend den Vorgaben der Planungsgemeinschaft ILF-Passer, Innsbruck (Österreich), in 5-jähriger Bauzeit auf  $400000 \text{ EW}$  erweitert und ist in dieser Konzeption seit 1996 in Betrieb.

### Konzept der Schlammhydrolyse

Die ARA Innsbruck ist mit einem Voreindicker zur Versäuerung des Primärschlammes ausgerüstet. Das Volumen des Voreindickers beträgt  $2 \times 1200 \text{ m}^3$  und erlaubt bei Ausbaubelastung eine Versäuerungszeit = 7 d. Derzeit liegt die maximale Versäuerungszeit bei ca. 12 d.

Die Dosierung des Hydrolyсата erfolgte anfänglich in ein Zulauf-Pufferbecken, so daß eine Erhöhung der organischen Substratkonzentration im Anaerobbecken nur in Verbindung mit der Pufferbeckenentleerung möglich war. Zur Optimierung der Hydrolysatdosierung wurde dieses Konzept inzwischen jedoch umgestellt, und das Hydrolysat wird nun direkt in das Anaerobbecken geleitet. Das Verfahrensschema der Primärschlammhydrolyse sieht eine außenliegende Umwälzung mit unterstützenden Krählerwerken im VED vor. Der frisch eingebrachte Schlamm verdrängt das Hydrolysat in das Pufferbecken (bzw. nach der Verfahrensumstellung direkt in das Anaerobbecken). Der eingedickte, versäuerte Schlamm wird mesophil ausgefaut.

### Betriebsergebnisse

Auf der ARA Innsbruck wurden im Zuge einer Diplomarbeit [1] aufwendige Untersuchungen zur biologischen Phosphorelimination durchgeführt, deren Ergebnisse im folgenden kurz vorgestellt werden.

Durch den Versäuerungsbetrieb sind P-Reinigungsleistungen von im Mittel 80 % durchaus realistisch (s. Bild 2). Diese positiven Betriebsergebnisse wurden trotz Dosierung des Hydrolyсата in das Pufferbecken erzielt, und obwohl keine kontinuierliche Dosierung über den gesamten Tag möglich war.

Während der optimierten Betriebsweise von Bio-P war im Hydrolysat eine mittlere Konzentration der organischen Säuren zwischen ca.  $900 \text{ mg/l}$  und  $1.300 \text{ mg/l}$  vorhanden. Infolge des Versäuerungsreaktors kam es über

das Hydrolysat zu einer P-Rückbelastung der Abwasserreinigung von ca. 3 %. Beim mesophilen Faulbehälter konnten keine Veränderung der Gasproduktion beobachtet werden. Die Schlammengen gingen von  $15,5\text{--}18,6 \text{ TS/d}$  im Versuchszeitraum auf mittlere  $14,4 \text{ TS/d}$  zurück, und der TS-Gehalt im Faulbehälter erhöhte sich wegen der verbesserten Eindickung im Versäuerungsreaktor von 5,3 % auf 5,8 %.

Besonderes Augenmerk verdient auch die Steigerung der Stickstoffelimination durch die Hydrolysat-Dosierung, die sich trotz eines Anstiegs der N-Zulaufkonzentration einstellte (s. Bild 3).

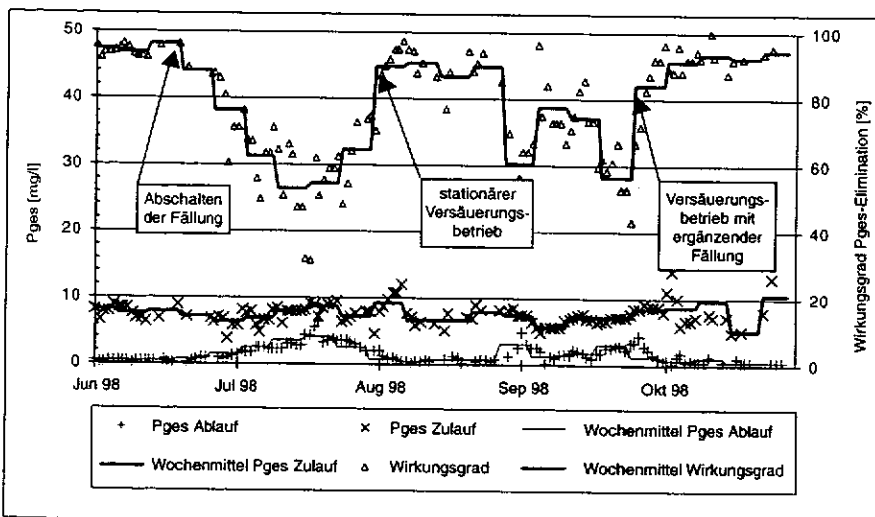
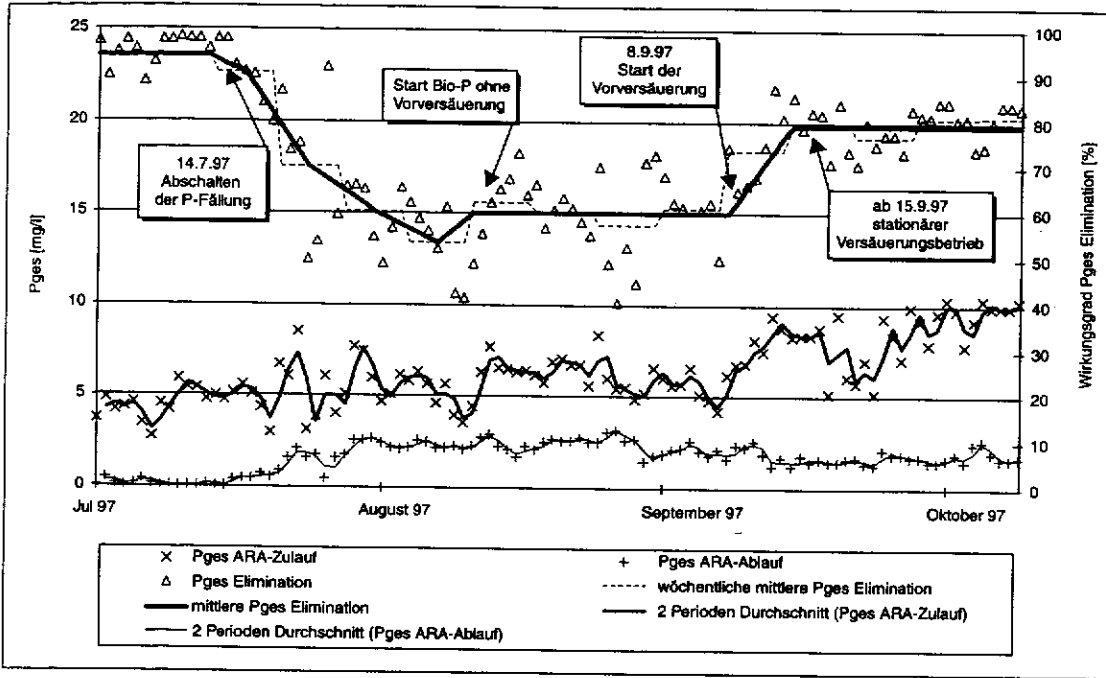
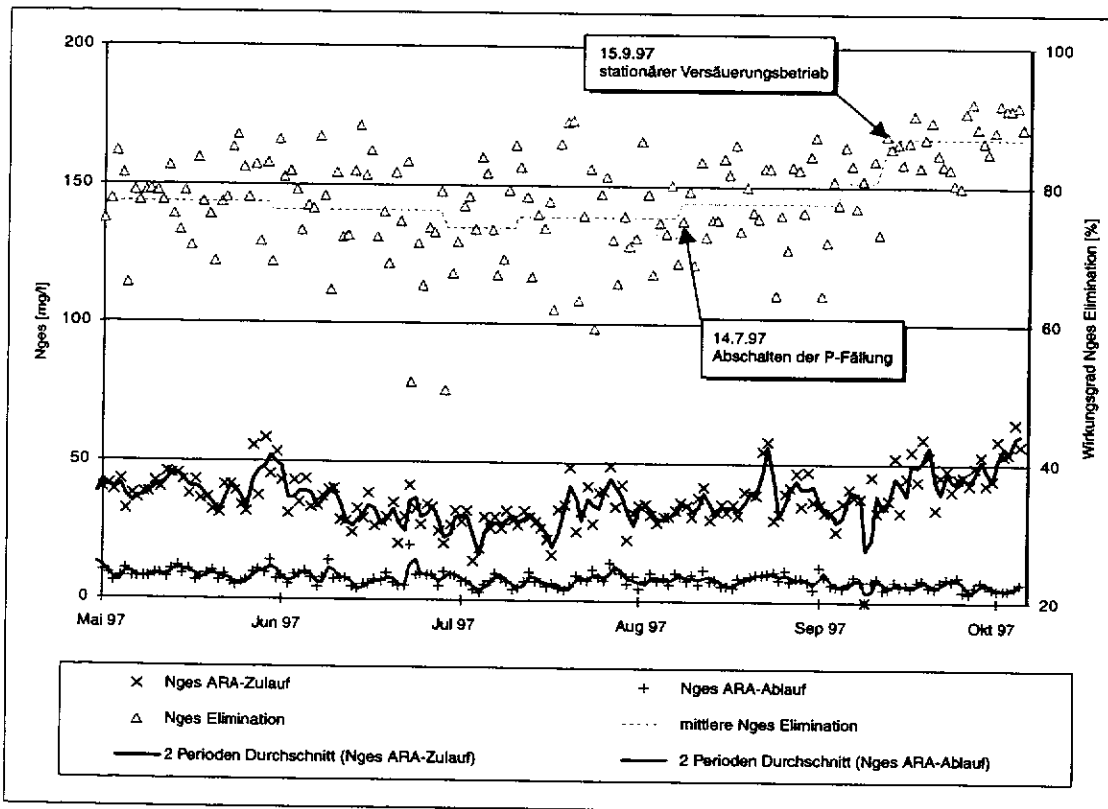


Bild 1. Wirkungsgrad der Phosphorelimination auf der ARA Pitztal.



**Bild 2. Wirkungsgrad der Phosphorelimination auf der ARA Innsbruck.**



**Bild 3. Wirkungsgrad der Stickstoffelimination auf der ARA Innsbruck.**

## 3. Wirtschaftliche Folgerungen

### 3.1 Untersuchte Varianten

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse auf den beiden zuvor näher beschriebenen Kläranlagen wird im folgenden eine exemplarische Wirtschaftlichkeitsanalyse für eine Kläranlage mit 10000 EW vorgestellt, die abschließend auch mit den Ergebnissen einer Berechnung für eine 50000-EW-Anlage verglichen wird.

Verglichen werden jeweils 3 unterschiedliche Varianten:

- Variante A1: 80% biologische Phosphorelimination auf einer Anlage mit Primärschlamm - Hydrolyse. Der Restphosphor wird simultan gefällt, so daß im Ablauf eine Konzentration von 1mg P/l (laut 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser in Österreich) eingehalten werden kann.
- Variante A2: 95% biologische Phosphorelimination auf einer Anlage mit geregelter Dosierung von Essigsäure. Als externe C-Quelle wurde deshalb Essigsäure gewählt, weil

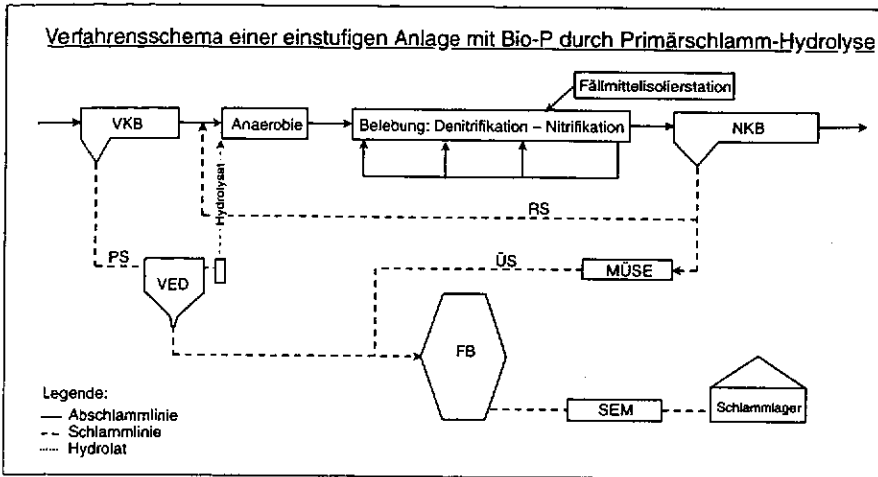


Bild 4. Angenommenes Verfahrensschema für den Wirtschaftlichkeitsvergleich.

diese für die Mikroorganismen besonders rasch verfügbar ist und sich daher ebenso wie Primärschlamm-Hydrolysat für die Optimierung von Bio-P sehr gut eignet. Bei dem angenommenen P-Wirkungsgrad wird die zuvor angeführte geforderte P-Ablaufkonzentration = 1 mg P/l üblicherweise immer eingehalten, weshalb keine ergänzende Fällung angenommen wird. Für den Notfall wird aus Sicherheitsgründen eine Fällmittelstation installiert.

- Variante B: Phosphoreliminierung durch Simultanfällung mit Eisen-III. Als Fällmittel wurde Eisen-III gewählt, weil die Handhabung relativ einfach ist, und es bei der Mehrzahl der Kläranlagen Anwendung findet.

Für die untersuchten Varianten wird immer von einer Anlage mit Vorklärung und nachfolgender einstufiger biologischer Reinigung ausgegangen. Der Schlamm wird mesophil ausgefäult. In Bild 4 wird das allgemein angenommene Verfahrensschema für den Wirtschaftlichkeitsvergleich der 3 Varianten dargestellt.

### 3.2 Allgemeine Berechnungsgrundlagen

Für alle Varianten wurde eine Berechnung der wesentlichen Anlagenteile nach ATV A131 [2] durchgeführt. Es wurde mit einem mittleren Abwasseranfall von 200 l/(EW · d) gerechnet, und die biologische Stufe mit den laut [1] maßgebenden Schmutzfrachten nach einer Vorklärung mit 1–1,5 h Aufenthaltszeit bemessen.

Der Fällungsbetrieb wurde laut [3] mit einem  $\beta$ -Wert = 1,5 berechnet. Für Variante B (= Anlage ohne Bio-P) wurde die Phosphorkorporierung im Überschussschlamm mit  $P/BSB_5 = 0,01$  berücksichtigt.

### 3.3 Organische Säuren

Aus großtechnischen Erfahrung weiß man, daß der Gehalt an leicht abbaubaren Substanzen bzw. organischen Säuren (Sa) im Abwasser für Bio-P von wesentlicher Bedeutung ist. Laut einer Literaturzusammenstellung in [4] ist für eine effiziente biologische Phosphoreliminierung ein Sa-Gehalt größer 50 mg/l erforderlich. Im Zulauf kommunaler Kläranla-

gen finden sich in Westösterreich jedoch meist nur Konzentrationen zwischen 30 mg/l und 40 mg/l [5].

Bei Variante A1 wird daher durch die Hydrolyse eine Sa-Aufstockung um ca. 10 mg/l angenommen. Eine derartige Aufstockung erreicht man z.B. bei einer Zulaufmenge von 200 l/(EW · d), einer Konzentration von 2000 mg Sa/l im Hydrolysat (laut [4; 6; 1] und den eigenen Betriebsergebnissen), einem Schlammfall in der Vorklärung von 35 g TS/(EW · d) sowie einem TS-Gehalt von 4% des aus der Vorklärung abgezogenen Schlammes.

Um bei Variante A2 eine 95%-ige Phosphor-Elimination sicherzustellen, wird davon ausgegangen, daß eine mittlere Sa-Aufstockung von 15 mg/l erfolgt. Bei Verwendung einer 80%igen Essigsäure entspricht dies dem Zukauf von 37,5 kg Essigsäure/d.

### 3.4 Rückbelastungen der biologischen Stufe durch den Versäuerungsreaktor

Infolge der zusätzlichen Substratdosierung kommt es zu Rückbelastungen der biologischen Stufe, was wiederum einen höheren Energieeintrag für die Belüftung erfordert und zusätzlich einen leichten Anstieg der Schlammbelastung bzw. des Schlammfalles bewirkt.

Aus detaillierten Untersuchungen und Betriebserfahrungen von [7] geht hervor, daß mit Rückbelastungen aus einem Versäuerungsreaktor in der Größenordnung von ca. 10% C, 3% N und 3% P gerechnet werden muß. Da diese Werte über den auf den 2 Kläranlagen gemessenen Rückbelastungen liegen, werden aus Sicherheitsgründen die genannten Literaturangaben für die Wirtschaftlichkeitsberechnung herangezogen. Im Falle der Essigsäuredosierung werden Rückbelastung von 1,07 g CSB/g Essigsäure und von 0,7 g BSB/g Essigsäure angesetzt.

Für den Energiebedarf der Belüftung wurde nach Erfahrungswerten ein Energieverbrauch von 0,7 kWh pro kg abzubauenen  $BSB_5$ -Fracht angenommen.

### 3.5 Beckenvolumina

Für die biologische Phosphoreliminierung wird ein *Anaerobbecken* benötigt, dessen Volumen mit einer Aufenthaltszeit von 1 Stunde festgelegt wird [8].

Der *Versäuerungsreaktor* wird nach [4, 9] mit einer Aufenthaltszeit von 7 Tagen dimensioniert. Die Berechnung des Volumens erfolgt dabei mit der mittleren Durchsatzmenge aus Schlammzulauf und -ablauf  $Q_{VED} = (Q_{Zu} + Q_{Ab}) / 2$ , wobei ein Ausgangs TS-Gehalt aus dem VED von 8% angesetzt wird.

Die Bemessung von *Belebungsbecken* und *Nachklärbecken* folgt den Empfehlungen des ATV A131 [2]. Eine Berücksichtigung des verbesserten Denitrifikationsverhaltens wurde durch eine Abminderung von  $VD/N = 0,3$  auf 0,2 vorgenommen, da die eigenen Betriebsergebnisse sowie Literaturan-

# Abwasserbehandlung

gaben dies nahelegen. Laut [10, 11] läuft unter Zugabe von organischen Säuren die Denitrifikation ca. 7x so schnell ab wie mit langsam abbaubarem Substrat.

## 3.6 Schlammfall

Der Schlammfall ergibt sich aus dem biologischen Überschußschlamm, dem chemischen Fällschlamm und der bei Bio-P anfallenden erhöhten Überschußschlammproduktion von 3 gTS/gP<sub>eliminiert</sub> [12]. Je nach untersuchter Variante werden alle relevanten Teilfraktionen unter Einfluß der Rückbelastungen aus dem Versäuerungsreaktor berücksichtigt.

Dadurch ergibt sich insgesamt bei den Varianten mit Bio-P (Varianten A1 und A2) ein verminderten Schlammfall im Vergleich zur Variante mit alleiniger P-Fällung, was sich auch in einer Reduktion der folgenden Volumina auswirkt: Belebungsbecken, Faulbehälter, Nacheindicker und Schlammlager. In weiterer Folge vermindern sich natürlich auch die Transport- und Deponiekosten.

## 3.7 Faulgasanfall

Durch die Primärschlammversäuerung kommt es zu einem geringfügigen Vorabbau von organischer Substanz und es tritt theoretisch ein um ca. 5–15% verminderter Faulgasanfall im Faulbehälter auf [7]. Auch wenn dieser Faulgasverlust in der Praxis der beiden Kläranlagen nicht festgestellt wer-

den konnte, so wird in der Wirtschaftlichkeitsberechnung doch ein Verlust von 10% angesetzt. Das Faulgas wird dabei als verwertbare Energie mit 6,5 kWh/m<sup>3</sup>FG bewertet und mit 0,57 ÖS/kWh (dies entspricht dem Marktpreis für Propangas) auf den finanziellen Verlust umgerechnet.

## 3.8 Essigsäure, Fällmittel

Bei der Zudosierung von Essigsäure fallen Betriebskosten von ca. 7–10 ÖS/kg Essigsäure an, je nach Transportstrecke und Abgabemenge (Firmenangaben im Tiroler Raum). Die Kosten für Eisen-III betragen ca. 1,6 ÖS/kg Fe.

## 3.9 Schlamm Entsorgung, -verwertung

Wie schon zuvor erwähnt, wird bei Bio-P infolge der reduzierten Menge an chemischem Fällschlamm der gesamte Überschußschlamm merklich verringert. Die am Ende der Schlammlinie anfallenden Zwischenlagerungs-, Transport- und Deponie- oder Verwertungskosten sind daher ein nicht zu vernachlässigender Faktor. Dies gilt umso mehr, da die Entsorgung des Klärschlammes auf immer größere, oft auch politisch belastete Probleme stößt. Für die Kostenschätzung wurden Transportkosten von 150 ÖS/t Klärschlamm und Deponiekosten von 1300 ÖS/t Klärschlamm in die Rechnung miteinbezogen. Diese Annahmen stellen aktuelle Mittelwerte im westösterreichischen Raum dar.

Tabelle 1. Investitions- und Betriebskosten für die 3 untersuchten Varianten einer Kläranlage für 10 000 EW.

Investitionskosten:	Bio-P+Fällung	Bio-P+Essigs.	Reine Fällung			Bio-P+Fällung	Bio-P+Essigsäure	Reine Fällung
	Var. A1	Var. A2	Var. B	Einheit	EP (ÖS/Einheit)	Var. A1	Var. A2	Var. B
<b>Bauwerkskosten:</b>	Menge	Menge	Menge			Kosten(ÖS)	Kosten(ÖS)	Kosten(ÖS)
Bauwerk VED (für 1 bzw. 7 Tage)	46	9	9	m <sup>3</sup>	3000	137 813	26 250	26 250
Bauwerk Anaerobbecken (1H)	200	200		m <sup>3</sup>	3000	600 000	600 000	0
Bauwerk Belebung (Denitrifikation)	337	316	567	m <sup>3</sup>	3000	1 010 173	948 086	1 701 752
Bauwerk Belebung (Nitrifikation)	1347	1264	1324	m <sup>3</sup>	3000	4 040 690	3 792 346	3 970 755
Bauwerk Faulbehälter (für 20 Tage)	249	291	305	m <sup>3</sup>	5000	1 242 510	1 455 533	1 523 125
Bauwerk Nacheindicker (für 4 Tage)	50	58	61	m <sup>3</sup>	3000	149 101	174 664	182 775
Bauwerk Trübwasserbehälter aus SEM (für 1 Tag)	15	18	19	m <sup>3</sup>	3000	44 897	53 850	56 095
Bauwerk Schlammager (für 100 Tage)	156	153	166	m <sup>3</sup>	3000	467 335	457 758	497 293
Zwischensumme						7 692 518	7 508 487	7 958 045
<b>Anlagekosten:</b>								
Umwälteinrichtung + Krähwerk VED	1			Stck	100 000	100 000	0	0
Verrohrung Trübwasser in Anaerobbecken/Zulauf	50	50	40	m	2000	100 000	100 000	80 000
Umwälteinrichtung Anaerobbecken	200	200		m <sup>2</sup>	200	40 000	40 000	0
Hydrolysatbehälter (für 1 Tag)	1			Stck	150 000	150 000	0	0
Fällmitteldosierstation	1	1	1	Stck	250 000	250 000	250 000	250 000
Essigsäurebehälter (mit 10 m <sup>3</sup> )		1		Stck	300 000	0	300 000	0
Hydrolysat/Essigsäuredosierpumpe	1	1		Stck	30 000	30 000	30 000	0
Zwischensumme						670 000	720 000	330 000
<b>Summe IK</b>						<b>8 362 518</b>	<b>8 228 487</b>	<b>8 288 045</b>
<b>Betriebskosten:</b>	Bio-P+Fällung	Bio-P+Essigs.	Reine Fällung			Bio-P+Fällung	Bio-P+Essigsäure	Reine Fällung
	Var. A1	Var. A2	Var. B	Einheit	EP (ÖS/Einheit)	Var. A1	Var. A2	Var. B
<b>Energiekosten bei Verwertung mit Heizung</b>	Menge	Menge	Menge			Kosten(ÖS)	Kosten(ÖS)	Kosten(ÖS)
Gasanfall	175	190	185	m <sup>3</sup> /d				
thermische Energie aus Gas (incl. 10% Verluste)	373 255	406 037	394 146	KWh/a	-0,57	-212 755	-231 441	-224 663
Energiekosten Belebung	126 473	121 618	114 975	KWh/a	1,50	189 709	182 427	172 463
Stromkosten Pumpen	19 163	8213	8123	KWh/a	1,50	28 744	12 319	12 319
Stromkosten Rührwerk Anaerobbecken	8760	8760		KWh/a	1,50	13 140	13 140	0
Stromkosten Krähwerk VED	1606			KWh/a	1,50	2409	0	0
<b>Betriebskosten:</b>								
Wartung/Instandhaltung Voreindicker (2% der IK)	46	9	9	m <sup>3</sup>	60	2756	525	525
Wartung/Instandhaltung Hydrolysatbehälter (2% d. IK)	1			PA	3000	3000	0	0
Wartung/Instandhaltung Essigsäurebehälter (2% d. IK)		1		PA	6000	0	6000	0
Personalkosten Versäuerung/Essig.-Betrieb 2h/Wo.	104	104		h/a	200	20 800	20 800	0
Kosten Fällmittel	21 424		117 832	kg Fällm/a	1,6	34 278	0	188 530
Kosten Essigsäure		13 688		kg Essigs/a	10	0	136 875	0
Schlammtransport	682	668	726	to	150	102 346	100 249	108 907
Schlamm auf Deponie	682	668	726	to	1300	887 001	868 824	943 862
<b>Summe BK</b>						<b>1 071 429</b>	<b>1 109 717</b>	<b>1 201 943</b>

## 3.10 Schlammindex

Oft zitierte Bedenken hinsichtlich einer Erhöhung des Schlammindex durch Bio-P konnten im Betrieb der beiden untersuchten Anlagen nicht festgestellt werden. Auf der ARA Pitztal trat sogar eine kurzfristige Verbesserung des Index auf. Da der Schlammindex von einer Vielzahl unterschiedlicher Einflußfaktoren abhängt, erscheint dies auch nicht weiter verwunderlich. Für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ist daher nach Meinung der Autoren beim derzeitigen Wissensstand die Annahme eines positiv oder negativ veränderten Schlammindex durch Bio-P reine Spekulation und muß daher außer acht gelassen werden.

Abschließend sei noch angemerkt, daß auf ca. 75% aller Kläranlagen [13] mindestens einmal pro Jahr Blähschlammprobleme auftreten, mit und ohne Bio-P.

## 3.11 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Um dem Leser einen besseren Überblick über die berücksichtigten Kostenanteile zu geben, wurde in Tab. 1 eine Aufstellung aller Investitions- und Betriebskosten für eine Anlage mit 10000 EW vorgenommen. Die Tabelle beinhaltet alle relevanten Kosten, die bei den 3 untersuchten Varianten unterschiedlich sind. Dazu zählen unter anderem die Investitionen für alle maßgeblichen Beckenvolumina und für alle zusätzlich benötigten Anlagenteile sowie eine Auflistung der Betriebskosten für Energie, Wartung und Instandhaltung, Personalkosten, Betriebsmittelverbräuche sowie Transportkosten und Entsorgung des Klärschlammes.

Die Einheitspreise für Positionen, die nicht bereits zuvor erläutert wurden, sind auf aktuelle Ausschreibungsergebnisse im westösterreichischen Raum abgestimmt.

Um die Kostenunterschiede besser verdeutlichen zu können, wurden abschließend noch Barwert und Annuität für die 3 Varianten ermittelt, und die Differenz der so ermittelten Werte zu den Kosten der reinen Fällung (Variante B) berechnet. Die Resultate sind in Tab. 2 zusammengefaßt.

Die Durchführung der Kostenvergleichsrechnung folgen strikt den Empfehlungen der LAWA [14]. Es kommt ein realer Zinssatz von 3% und eine überproportionale Steigerung der Energiekosten von 2% zum Ansatz. Die Lebensdauer für bauliche Anlagenteile wurde mit 25 Jahren festgelegt, jene für maschinelle Anlagenteile mit 15 Jahren.

Aus den Tab. 1 und 2 läßt sich klar ableiten, daß Bio-P gegenüber der Fällung Kostenvorteile aufweist. Insbesondere die niedrigeren Betriebskosten sprechen für Bio-P. Die Einsparungen bei den Betriebskosten liegen bei 9–13 ÖS/(EW · a). Beim Vergleich dieser Summe mit üblichen

Gesamtkosten einer derartigen Kläranlage im Tiroler Raum von 260 ÖS/(EW · a) entspricht dies einer Vergünstigung von ca. 3,5–5%.

Beim Annuitätenvergleich der beiden Substrate, Hydrolysat und Essigsäure, ergab sich eine leicht positivere Bilanz zugunsten der Hydrolysatdosierung. Eine Essigsäuredosierung kann daher nur dort angeraten werden, wo mit dem produzierbaren Hydrolysat sicher kein Auslangen gefunden werden kann, z. B. bei sehr niedrigen Sa-Zulaufkonzentrationen im Abwasser oder bei sehr niedrigen Abwassertemperaturen unter 10°C. In einem solchen Fall steigen jedoch auch die Kosten für die Essigsäure und man sollte in jedem Fall einen erneuten Kostenvergleich mit der reinen P-Fällung nach den zuvor angeführten Gesichtspunkten durchführen.

Ergänzend wurde noch eine weitere Kostenvergleichsrechnung für eine Anlage mit 50000 EW durchgeführt, und auch hier konnte die gleiche Tendenz festgestellt werden. Für die Varianten mit Bio-P ergab sich eine um ca. 12–17 ÖS/(EW · a) niedrigere Annuität. Die Bilanz fällt deshalb noch günstiger aus als bei der 10000-EW-Anlage, da teure Anlagenteile, wie Krählwerk, Pumpen und Substratbehälter mit zunehmender Größe im direkten Vergleich billiger werden.

Die durchgeführten Kostenvergleichsrechnungen wurden mit derzeit in Westösterreich gültigen Erfahrungswerten durchgeführt. Eine Preissteigerung der Fällmittelkosten, Transport oder Deponiekosten wurde nicht weiter untersucht, ergibt aber in jedem Fall einen weiteren wirtschaftlichen Vorteil für Bio-P. Die Kosten für zugekauft Substrat sind ebenfalls vom freien Markt abhängig. Eine Steigerung des Preises bzw. die Notwendigkeit einer vermehrten Dosierung verschlechtern die wirtschaftlichen Vorteile dieser Variante.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die biologische Phosphoreliminierung mit Versäuerung des Primärschlammes zur Gewinnung von Hydrolysat die wirtschaftlich interessanteste Lösung ist, da sie unabhängig von den vorher erwähnten Preissteigerungen ist.

## 4. Resümee und Ausblick

Die gewonnenen Erfahrungen lassen folgende Schlüsse zu:

- Ohne die unterstützende Wirkung einer Hydrolysatdosierung werden unter den relativ ungünstigen klimatischen Randbedingungen Westösterreichs mit Bio-P-Anlagen Wirkungsgrade der P-Elimination von 50%–60% erzielt.
- Bei Einsatz von Versäuerungsreaktoren und Dosierung des Hydrolyсата läßt sich der P-Wirkungsgrad um ca. 30%–40% auf ca. 80%–90% erhöhen.
- Bei sehr langen Regenfällen kann es zu einem Einbruch des P-Wirkungsgrades kommen. Dem kann entweder durch aufwendige Regel- oder Steuervorrichtungen bei der Hydrolysat- (Essigsäure-) Dosierung entgegengewirkt werden, oder aber man setzt eine ergänzende chemische P-Fällung ein.
- Die gemessenen P-Rückbelastungen zufolge des Versäuerungsreaktors liegen in der Regel unter 3%.
- Das Hydrolysat ist normalerweise weitestgehend feststofffrei.

**Tabelle 2. Barwert- und Annuitätendifferenzvergleich der 3 untersuchten Varianten einer Kläranlage für 10 000 EW.**

Verfahren	Bio-P Fällung	Bio-P Essigsäure	Fällung Variante B
Kostenart	ÖS	ÖS	ÖS
Barwert [ÖS]	-2034885	-1729041	0
Annuität [ÖS/a]	-100911	-81002	0
Barwert/EW [ÖS]	203	173	0
Annuität/EW [ÖS/a]	10	8	0

- Die Konzentration der leicht flüchtigen organischen Säuren Sa im Hydrolysat liegt zwischen ca. 900 mg/l und 3000 mg/l.
- Bei der Bemessung der Schlammlinie kann man davon ausgehen, daß im Versäuerungsreaktor der Primärschlamm auf ca. TS = 8% eindickt. Berücksichtigt man ferner die bei Bio-P im Vergleich zur P-Fällung geringeren Schlammengen, so wird offensichtlich, daß sich bei einem solchen Verfahrenskonzept alle nachfolgenden Anlagenteile der Schlammbehandlung kostengünstiger auslegen lassen als bei herkömmlichen Bemessungsansätzen.
- Auswirkungen auf den Faulgasanfall durch den Versäuerungsreaktor konnten in der Praxis nicht festgestellt werden. Aufgrund theoretischer Überlegungen kann man jedoch bei kritischer Einschätzung der Sachlage von ca. 10% Verlusten ausgehen.
- Die aus den Investitions- und Betriebskosten folgenden Barwerte und Annuitäten für eine nach den zuvor beschriebenen Aspekten dimensionierte Bio-P-Anlage mit Schlammversäuerung sind im Regelfall geringer als die Kosten einer konventionell dimensionierten Kläranlage mit alleiniger P-Fällung.
- Die maßgeblichste Ursache für die positive Kostenbilanz von Bio-P ist in den niedrigeren Betriebskosten zu sehen, im besonderen durch den Wegfall bzw. die Reduktion der Fällmittelkosten sowie die reduzierten Kosten der Schlammentsorgung.
- Für die Zukunft bietet sich an, auch den positiven Einfluß einer Hydrolysat- oder Essigsäuredosierung auf die Stickstoffelimination noch eingehender zu untersuchen und in die Bemessung der Belebungsbecken einfließen zu lassen. Dadurch könnten sich die Kostenvorteile für Bio-P noch weiter erhöhen.

## Danksagung

Einen besonderen Dank möchten wir Herrn DI Gerd Bennat (Innsbruck) aussprechen, der das Zusammentreffen der beiden Autoren ermöglicht hat und die Rahmenbedingungen für diese wissenschaftliche Arbeit bereit gestellt hat.

## Abkürzungen

ARA	-	Abwasserreinigungsanlage
Bio-P	-	verstärkte biologische Phosphorelimination
BK	-	Betriebskosten
BSB <sub>5</sub>	mg/l	biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen bei 20°C
C	-	Kohlenstoff
CSB	mg/l	chemischer Sauerstoffbedarf
EW	E	Einwohnerwerte
FB	-	Faulbehälter
FG	-	Faulgas

IK	-	Investitionskosten
MÜSE	-	maschinelle Überschußschlammeindickung
N	-	Stickstoff
NKB	-	Nachklärbecken
P	-	Phosphor
PS	-	Primärschlamm
RS	-	Rücklaufschlamm
Sa	mg/l	flüchtige organische Säuren
SEM	-	maschinelle Schlammmentwässerung
TS	mg/l	Trockensubstanz
ÜS	-	Überschußschlamm
VED	-	Voreindicker
VKB	-	Vorklärbecken

## Literatur

- [1] Pokorny, U.: Das Leistungspotential der Kläranlage Innsbruck hinsichtlich der biologischen Phosphoreliminierung. Diplomarbeit am Institut für Umwelttechnik der Univ. Innsbruck, 1998.
- [2] ATV Arbeitsblatt A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5000 EW. GFA, St. Augustin, Februar 1991.
- [3] ATV Arbeitsblatt A 202: Verfahren zur Elimination von Phosphor aus dem Abwasser. GFA, St. Augustin, Oktober 1992.
- [4] Buchauer, K.: Biologische Hydrolyse zur Optimierung von Bio-P. Dissertation am Institut für Umwelttechnik der Univ. Innsbruck, 1996.
- [5] Jarosch, H.: Leicht abbaubare Substanzen im Kläranlagenzulauf. Diplomarbeit am Institut für Umwelttechnik der Univ. Innsbruck, 1995.
- [6] Ingenieurbüro Gerd Bennat: Abwasserverband Pitztal, Wartung für die ARA - Frühjahr und Herbst 1998, Technischer Bericht, November 1998.
- [7] Buchauer, K.: Psychrophile Versäuerung von Klärschlamm. TAE-Seminar Sarnen, 18./19.6. 1998.
- [8] ATV Merkblatt M 208: Biologische Phosphorentfernung bei Belebungsanlagen. GFA, St. Augustin, September 1994.
- [9] Schönberger, R.: Optimierung der biologischen Phosphoreliminierung bei der kommunalen Abwasserreinigung. Berichte aus Wasser- und Gesundheitsingenieurwesen, TU München, Nr.93, 1990.
- [10] Hippen, A.; Obenaus, F. und Seyfried, C. F.: Primärschlammversäuerung als Option zur Verfahrensoptimierung bei bestehenden Anlagen. awt Abwassertechnik, (1996) Nr. 5, S. 25-29.
- [11] Hulsbeck, J. und Kunst, S.: Untersuchungen wichtiger biologischer Umsetzungsgeschwindigkeiten belebter Schlämme als Voraussetzung der Bemessung. Korrespondenz Abwasser 41(1994) Nr. 1, S. 42-47.
- [12] Jardin, N. und Pöpel, H.: Einfluß der Bio-P auf die Schlammbehandlung. Veröffentlichungen des Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Univ. Hannover, Heft 92, 1995.
- [13] Lind, G. und Lemmer, H.: Biologische Charakterisierung von Schäumen in Belebungsanlagen. gwf-Wasser/Abwasser 139 (1998) Nr. 1, S. 1-6.
- [14] LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser): Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen. Geschäftsstelle der LAWA, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, 1994.

(Manuskripteingang: 29. 7. 1999.  
Überarbeitete Fassung: 17. 9. 1999)