

B 5399

142. Jahrgang
Oldenbourg
Industrieverlag
München
ISSN 0016-3651
November 2001

GWVF 11 Wasser Abwasser

OZONIA STEHT
FÜR MEHR ALS NUR
DIE STELLUNG
ALS MARKTLEADER.



Ozonias ist das führende Unternehmen im Bereich Ozongewinnungssysteme und Anwendungstechnologien für Umwelt und Industrie. Bei Ozonia profitieren Sie von fortgeschrittenster Technologie, weltweiter Erfahrung, Kostenvorteilen und höchstem Engagement. Mit Ozonia, dem globalen Marktführer, ist Ihnen der Erfolg gewiss. Ozonia, die saubere Technologie.

OZONIA

Ozonias AG, Stettbachstrasse 1, 8600 Dübendorf, Schweiz, Telefon: +41(1)801 85 11, Telefax: +41(1)801 85 01, www.ozonia.ch

Überschussschlammvermeidung durch die Dosierung oberflächenaktiver Substanzen

Ergebnisse von Versuchen auf kommunalen Kläranlagen

Oliver Stark, Kirsten Sölter und Georg Kalos

Abwasserbehandlung, Leistungsverbesserung, Additive, Überschussschlammreduktion

Die Aktivierung der Mikroorganismen beim Belebungsverfahren durch den Einsatz nahrungsergänzender Substanzen im Zulauf zur Kläranlage und die deutliche Verbesserung der biologischen Sauerstoffverfügbarkeit sowie der Lyse von Bakterien durch oberflächenaktive Substanzen erlauben es, eine kommunale Kläranlage theoretisch ohne und in der Praxis mit bis zu 70 % weniger Überschussschlammfall zu betreiben. Die Betriebsergebnisse mit einem Überschussschlammvermeidungsverfahren auf vier kommunalen Kläranlagen liegen bereits vor. Neben der Minimierung des Überschussschlammfalls konnte eine signifikant erhöhte Ammonium- sowie Phosphorreduktion beobachtet werden. Zudem zeigt sich, dass das Absetzverhalten des Belebtschlammes in der Nachklärung positiv beeinflusst werden konnte.

Activation of the micro-organisms in the activated sludge process by dosing additional nutrients into the influent of the sewage treatment plant, clear improvement of the biological oxygen availability as well as the lytic process of bacteria by surfactants allow to operate a municipal wastewater treatment plant in theory without excess sludge production, in practice it will be reduced by nearly 70%. Operating results from four municipal sewage treatment plants where the process for excess sludge avoidance has been used successfully are already available. Besides minimisation of excess sludge production, significant ammonia and phosphorous reduction could be observed. Moreover, the settling behaviour of the activated sludge in the final clarification tank could be influenced in a positive way.

1. Einleitung

In der Bundesrepublik sind 1996 ca. 2,7 Mio. Tonnen Klärschlamm-trockenmasse entsorgt worden [1]. Die anteiligen Betriebskosten für die Klärschlammbehandlung und insbesondere für die Klärschlamm Entsorgung liegen nach Koltsch [2] bei 30 bis 50 % der Gesamtbetriebskosten von Kläranlagen. Mit dem Ende der Zulässigkeit der Klärschlammdeponierung im Jahre 2005 muss bundesweit mit einem deutlichen Anstieg der Klärschlamm Entsorgungskosten gerechnet werden. Zudem findet derzeit eine intensive Diskussion über die ökologische Vertretbarkeit der landwirtschaftlichen Klärschlamm Entsorgung statt, deren ökologische Auswirkungen bisher nicht absehbar sind.

2. Theorie

In einem natürlichen Gewässer werden organische Substanzen zunächst von chemoorganotrophen Bakterien zu 50 % in

Bakterienmasse umgewandelt und die restlichen 50 % werden veratmet. Anschließend betätigen sich einzellige Protozoen als Bakterienfresser. Diese werden wiederum von anderen räuberischen Organismen gefressen. Die Assimilationsrate verringert sich bei jeder Prozessstufe und die Dissimilationsrate steigt. Am Ende des Prozesses liegen lediglich 1 % der ursprünglichen organischen Substanz als Organismenmasse vor. Die restlichen 99 % werden in anorganische Substanz umgewandelt, d.h. mineralisiert. Die Prozesse in Belebungsanlagen entsprechen grundsätzlich dem natürlichen Reinigungsprozess der Gewässer. Dennoch entsteht in den meisten Kläranlagen in großen Mengen Überschussschlamm (ÜS). Dieser Sachverhalt deutet auf eine Störung der selbstregulierenden Mechanismen hin.

Der grundlegende Unterschied zwischen Gewässer und Kläranlagenbiologie besteht in der wesentlich höheren Schlammbelastung (B_{T5}), welche aus einer hohen Kohlenstofffracht im Zulauf bzw. einer zu geringen Bakterienkonzentration im Belebungsbecken resultiert. Die Folge ist, dass der Biologie nutzbarer Sauerstoff in unzureichender Menge zur Verfügung steht und die meisten Stoffwechselprozesse ineffizient ablaufen. Deshalb wird die organische Fracht überwiegend in Bakterienmasse umgesetzt. Dieser ÜS wird laufend dem System entzogen, so dass Organismen mit kurzer Generationszeit (Bakterien) dominieren und bakterien-

Dipl.-Ing. Georg Kalos, Dipl.-Ing. Kirsten Sölter und Dipl.-Ing. Oliver Stark, WWB Waste Water Biotechnologies GmbH, Altenbergstraße 12, D-40235 Düsseldorf.

fressende Organismen mit langer Generationszeit nicht in ausreichender Zahl vorhanden sind. Dorau [3] stellt die These auf, dass in einer kommunalen Kläranlage die biologischen Selbstoptimierungsgrundsätze (vgl. Prinzip des Erhaltungsstoffwechsels Pirt [4]) durch Eingriffe von außen, insbesondere dem ÜS -Abzug, ständig gestört werden. Es besteht somit für höhere Organismen keine Möglichkeit, sich im System zu etablieren. Zudem sind höhere Organismen wie z.B. Rotatorien bezüglich des zur Verfügung stehenden Sauerstoffangebotes wesentlich anspruchsvoller als Bakterien.

Steinmetz [5] fand heraus, dass der Sauerstoffübergang bzw. Diffusionswiderstand maßgeblich durch die Belastungsverhältnisse, die Abwasserinhaltsstoffe und die biologischen Prozesse bestimmt wird. Die Diffusionswiderstände in der Belebtschlammflocke sind stark von den Eigenschaften sowie der Gestalt der Flocken abhängig. Es sind gerade die vom Diffusionswiderstand abhängigen Transportprozesse in bzw. aus der Belebtschlammflocke, die die mikrobielle Stoffumsatzgeschwindigkeit bestimmen. Die Organismen einer Belebtschlammflocke sind von einer schleimartige Matrix umgeben. Es können nur Flockenanteile aktiv am aeroben Reinigungsprozess teilnehmen, in die sowohl die gelösten Schmutzstoffe als auch Sauerstoff diffundieren können. In der durch die Bakterien ausgeschiedenen Schleim-Matrix befinden sich sowohl lebende wie auch tote Organismen. Während die Randbereiche der Belebtschlammflocke gut mit Sauerstoff versorgt sind, herrscht im Inneren häufig Sauerstoffarmut. In den meisten kommunalen Kläranlagen wird der für den Stoffwechsel der Mikroorganismen notwendige Sauerstoff über eine feinblasige Belüftung in das Belebungsbecken eingebracht. Die primär erzeugten Luftbläschen sind am Boden des Belebungsbeckens sehr klein. Während des Aufstiegs zur Wasseroberfläche schließen sich die kleinen Bläschen aufgrund des hydrostatischen Drucks zu immer größeren zusammen und verringern so ihre spezifische Oberfläche. In der Koaleszenz liegt insbesondere der schlechte Wirkungsgrad der meisten Belüftungssysteme von 5 bis 15 % – bezogen auf den insgesamt eingetragenen Sauerstoff [6] – begründet. Die unmittelbare Abhängigkeit der ÜS -Produktion vom Sauerstoffpartialdruck beschreiben Hartmeier et al. [7]. Ihrer Meinung nach führt die Erhöhung der Sauerstoffverfügbarkeit im Belebungsbecken dazu, dass durch den größeren Sauerstoffpartialdruck auch die tieferen Schichten der Belebtschlammflocke ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden. Somit nehmen auch die inneren Schichten der Belebtschlammflocke am aeroben Abbau teil, bzw. erhöhen das Potential der Veratmung endogener Stoffe.

Der Eintrag partikulärer, dem biochemischen Abbau nicht zugänglicher Stoffe und der Synthesewert Y der Bakterien bestimmen maßgeblich die messbare ÜS -Produktion. Hingegen kann der Ertragskoeffizient Y durch die Schlammbelastung B_{TS} bzw. das

Schlammalter t_{TS} beeinflusst werden. Abbassi et al. [8] schildern den Einfluss der Abwasserzusammensetzung auf die ÜS -Produktion. So bewirkte z.B. die Zudosierung von geringen Speiseölruchten, dass sich kleine Öltröpfchen um die Kerne der Belebtschlammflocke legten, wodurch die Sauerstoffdiffusion in das Innere der Flocke behindert wird und die ÜS -Produktion im Vergleich zu den untersuchten Modellabwässern ansteigt. Zusammenfassend lässt sich die ÜS -Produktion als Funktion der Schlammbelastung, der Sauerstoffverfügbarkeit und der Abwasserzusammensetzung beschreiben:

$$\text{ÜS-Produktion} = f(B_{TS}, \text{O}_2\text{-Partialdruck bzw. -Verfügbarkeit, Abwasserzusammensetzung})$$

Zur Reduktion des ÜS -Anfalls kann deshalb folgende Strategie zielführend sein:

1. Die Sauerstoffverfügbarkeit muss deutlich erhöht werden, um die Existenz höherer Organismen zu ermöglichen und ausreichend Sauerstoff für effiziente Umsatzprozesse bereit zu stellen.
2. Durch die gezielte Lyse der Belebtschlammflocken wird die durchschnittliche Flockengröße reduziert und es entstehen weniger inaktive Kernbereiche.
3. Der Biologie muss durch stoffwechselanregende Stoffe ein Anreiz gegeben werden, die Geschwindigkeit ihrer Umsatzprozesse zu erhöhen.

3. Anwendung des Überschussschlammvermeidungsverfahrens

Nach Steinmetz [5] werden unter dem Begriff grenz- oder oberflächenaktive Stoffe organische Verbindungen mit einem lipophilen Kohlenwasserstoffrest und einer hydrophil funktionellen Gruppe subsummiert, die aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften die Oberflächenspannung wässriger Systeme reduzieren. Steinmetz weist darauf hin, dass der Einfluss von Tensiden auf den Sauerstoffübergangskoeffizienten in hohem Maße von der Konzentration des Tensids abhängig ist. Besonders geeignet sind daher sogenannte

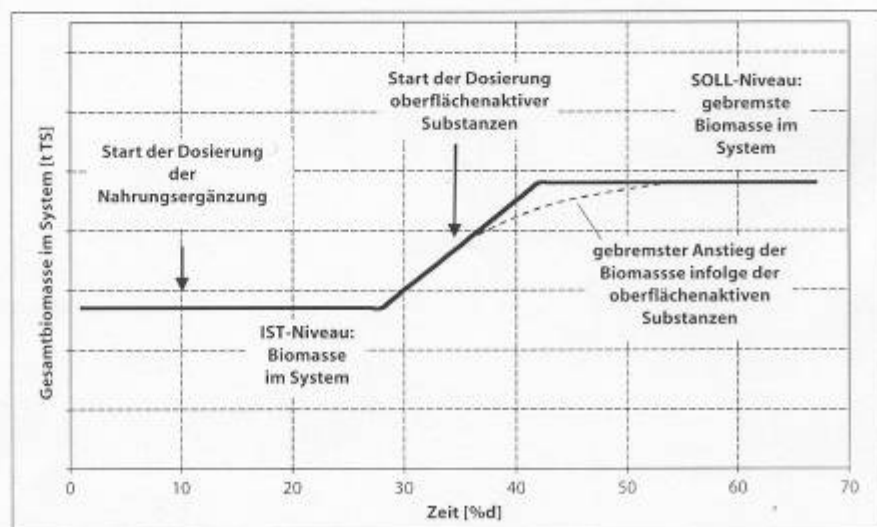


Bild 1. Anwendung des ÜS -Vermeidungsverfahrens.

Biotenside, die bereits in geringen Konzentrationen hochwirksam und biologisch abbaubar sind. Biotenside oder Biodetergentien sind Lipide bzw. Lipidderivate, welche Mikroorganismen während ihrer Wachstumsphase synthetisieren. Die Koaleszenz lässt sich durch oberflächenaktive Substanzen positiv verändern und die biologische Sauerstoffnutzung kann somit erheblich gesteigert werden. Eine größere Oberfläche steht zur Verfügung und es kann mehr Sauerstoff in Lösung gehen.

Durch den Einsatz oberflächenaktiver Substanzen wird die oben beschriebene Flocken-Matrix angegriffen, Teile der Matrix sowie Zellen werden lysiert und es werden mehr Flockenanteile aktiv in die Reinigung einbezogen. Tote Bakterien werden freigegeben und können verstoffwechselt werden. Je feiner und kleiner die Belebtschlammflocken sind, desto besser kann selbst bei niedrigen Sauerstoffkonzentrationen Sauerstoff in das Innere der Flocken diffundieren.

Die Anwendung des ÜS-Vermeidungsverfahrens erfordert ein schrittweises Vorgehen (vgl. Bild 1). Es ist in der ersten Stufe notwendig, die Mikroorganismen durch die Zugabe einer Nahrungsergänzung zu stimulieren und den Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) im Belebungsbecken anzuheben, um der Biologie einen Impuls zu geben, sich auf die neuen Milieubedingungen einzustellen.

Die erste Verfahrensstufe wird eingeleitet durch die Zugabe nahrungsergänzender Substanzen – dabei handelt es sich um Pflanzenextrakte, welche im Wesentlichen Vitamine, Spurenelemente und Aminosäuren enthalten – im Zulauf der Kläranlage oder der biologischen Stufe. Nach einer ein- bis zweiwöchigen Adaptionszeit wird der Abzug des ÜS eingestellt. Bei Erreichen eines vorher definierten

Startpunktes, welcher durch eine Veränderung des mikroskopischen Bildes und einer bestimmten TS-Konzentration gekennzeichnet ist, beginnt mit der Zugabe oberflächenaktiver Substanzen in den Rücklaufschlammstrom die zweite Verfahrensstufe. Dadurch wird der TS-Anstieg in der Belebungs gebremst. Die optimale Dosierung führt zu einer konstanten TS-Konzentration in der Belebungs und damit zu einem nahezu unendlichen Schlammalter.

4. Ergebnisse

4.1 Überschussschlammreduktion

Derzeit wird das beschriebene Überschussschlammvermeidungsverfahren auf sechs Kläranlagen eingesetzt. Auf vier der Anlagen liegen bereits gesicherte Kenntnisse über das erzielte Einsparergebnis vor. In Tabelle 1 werden diese Anlagen hinsichtlich der Belastung und der Abwasserart charakterisiert.

In Bild 2 sind die reduzierten Überschussschlammengen mit und ohne Vorklärung in Prozent dargestellt. Es wird ersichtlich, dass in den Anlagen ohne industriellen Einfluss ein höheres Einsparergebnis erzielt werden konnte.

4.2 Blähschlammbekämpfung

Neben der Reduktion des ÜS von bis zu 70% konnten eine Reihe den Kläranlagenbetrieb positiv beeinflussender Effekte beobachtet werden. Bei halbertechnischen Untersuchungen in einer 100%ig getrennten, zweistraßigen Belebungsanlage mit je 4 m³ Volumen konnte infolge des ÜS-Vermeidungsverfahrens ein positiver Einfluss auf den Schlammindex festgestellt werden. Die unter dem Mikroskop beobachteten Fadenbildner waren nach etwa einer Woche vollständig verschwunden.

Wie aus Bild 3 ersichtlich wird kann durch das angewandte ÜS-Vermeidungsverfahren gezielt Einfluss auf fadenbildende Organismen genommen werden. Es steht somit ein Instrument zur Verfügung, mit dem kurzfristig auf Blähschlammprobleme reagiert werden kann. Aus Bild 3 wird zudem deutlich, dass sich der Schlammindex nach dem Verschwinden der fadenbildenden Organismen in beiden Straßen wieder parallel entwickelte.

4.3 Steigerung der Nitrifikationsleistung

Vergleichende Untersuchungen mit und ohne ÜS-Vermeidungsverfahren in der oben beschriebenen halbertechnischen Versuchsanlage zeigten bei einem B_{TS} von etwa 0,2 kg BSB₅/(kg TS·d), dass sich die Ammoniumablaufkonzentrationen über einen Zeitraum von mehr als drei Wochen deutlich ver-

Tabelle 1. Charakterisierung der Kläranlagen.

	Belastung [EW]	Abwassercharakteristik
Anlage 1	17 000	überwiegend kommunal
Anlage 2	20 000	30 bis 40% industriell
Anlage 3	17 000	überwiegend kommunal
Anlage 4	140 000	ca. 80% industriell

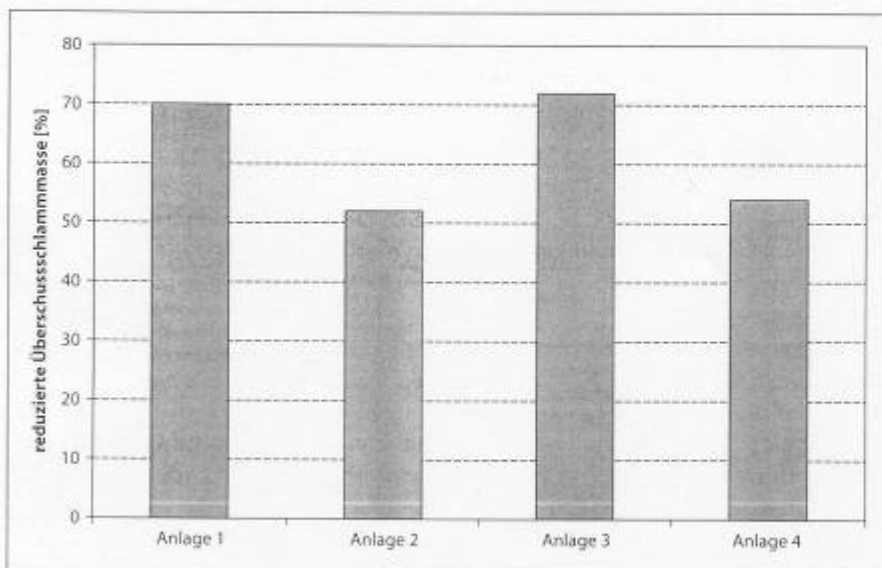


Bild 2. Überschussschlammreduktion auf den verschiedenen Kläranlagen.

besserten. Das Abwasser hatte etwa eine Temperatur von 12°C und die Belüftung im Belebungsbecken wurde auf einen Sauerstoffsollwert von 1 mg/l geregelt.

Aus Bild 4 wird ersichtlich, dass in der Referenzstraße ohne das ÜS-Vermeidungsverfahren in 5% der betrachteten Fälle ein Wirkungsgrad der Ammoniumelimination von mehr als 50% erreicht wurde. Hingegen lag in der Versuchsstraße der Wirkungsgrad lediglich in 5% der Fälle unter 50%.

Die Untersuchungsergebnisse verdeutlichen, dass sich selbst bei einer Schlammbelastung von etwa 0,2 kg BSB₅/(kg TS · d) die verbesserte biologische Sauerstoffverfügbarkeit infolge der oberflächenaktiven Substanzen positiv auf die Nitrifikationsleistung auswirkt. Es ist zu vermuten, dass man den Sauerstoffeintrag bei gleichbleibender Nitrifikation reduzieren und somit die Energiekosten senken könnte bzw. dass überlastete Kläranlagen ihre Stickstoffelimination verbessern könnten. Derzeitige Untersuchungen sollen helfen, das vergrößerte Nitrifikationspotential genauer zu quantifizieren.

4.4 Vergrößerung der Nachklärkapazität

Das ÜS-Vermeidungsverfahren wird seit etwa vier Monaten auf einer mit 140.000 EW belasteten Kläranlage eingesetzt. Das Abwasser hat mit 80% überwiegend industriellen Charakter. Bild 5 zeigt, dass sich die Sichttiefe, trotz Anhebung des TS-Gehaltes um etwa 2 g/l, nach einem dreiwöchigen Einsatz des ÜS-Vermeidungsverfahrens um etwa 25% vergrößerte. Die Sichttiefe konnte seit über zwei Monaten auf dem verbesserten Niveau gehalten werden. Die Ursache für die Vergrößerung der Sichttiefe ist zum einen in der Veränderung der mikrobiologischen Zusammensetzung – weniger freie Bakterien – und in der schnelleren Sinkgeschwindigkeit der Belebtschlammflocken begründet. Eine messbare Veränderung der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf der Kläranlage konnte nicht festgestellt werden.

Beim Belebungsverfahren bilden Belebungs- und Nachklärverfahrenstechnisch eine Einheit. Dies wird insbesondere bei Mischwasserzufluss deut-

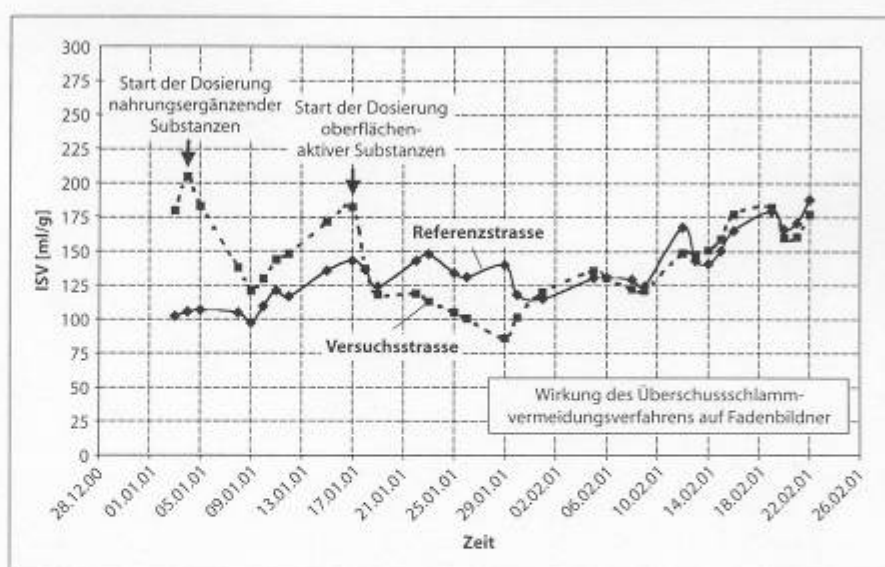


Bild 3. Wirkung des ÜS-Vermeidungsverfahrens auf den Schlammindex beim Auftreten fadenbildenden Organismen.

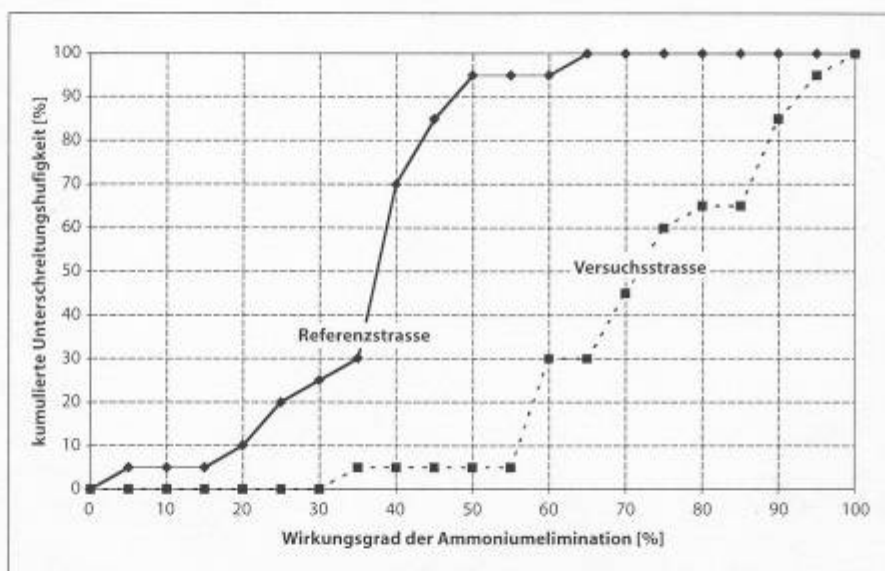


Bild 4. Vergleich der Wirkungsgrade bezüglich der Ammoniumelimination.

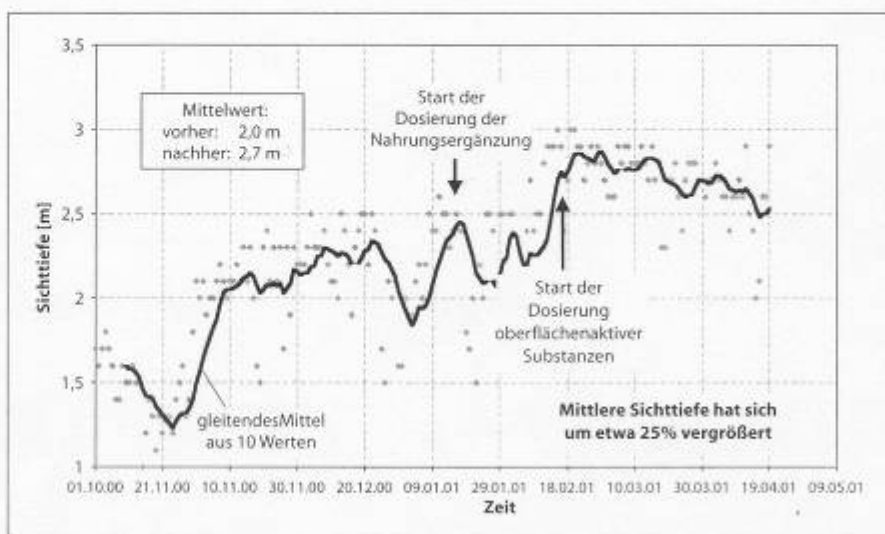


Bild 5. Vergrößerung der Sichttiefe im Nachklärbecken infolge des ÜS-Vermeidungsverfahrens.



Bild 6. Verringerung des Fällmittelverbrauch.

lich: Durch erhöhte hydraulische Belastung wird die aus dem Belebungsbecken ausgetragene Biomasse in der Nachklärung zwischengespeichert und steht dem Reinigungsprozess während dieser Zeit nicht mehr zur Verfügung. Im Extremfall kann es zum Schlammabtrieb kommen, der die Reinigungsleistung der gesamten Kläranlage in Frage stellt. Bei der Dimensionierung wird die Aufnahmekapazität von Nachklärbecken und damit der gesamten Kläranlagen aus wirtschaftlichen Gründen meist auf den zweifachen Trockenwetterzufluss begrenzt. Dies führt zu einer nicht unerheblichen Belastung der Gewässer. Aus den Entlastungen und Beckenüberläufen werden Schmutzfrachten in die Gewässer eingeleitet, die bis zu 50% der Gesamtjahresfracht aus Kläranlage und Regenentlastung betragen können [9]. Wie gezeigt, kann das Überschussschlammvermeidungsverfahren die Betriebssicherheit während des Mischwasserzuflusses verbessern und es ist unter bestimmten Voraussetzungen denkbar, im Mischwasserfall mehr Abwasser annehmen zu können.

4.5 Intensivierung der Phosphorelimination

Auf den untersuchten Kläranlagen ist das ÜS-Vermeidungsverfahren in der Lage, die Phosphorelimination zu intensivieren. Wie Bild 6 zeigt, konnte die eingesetzte Fällmittelmenge infolge des Überschussschlammvermeidungsverfahrens um etwa 65% reduziert werden.

Der reduzierte Fällmittelbedarf wirkt sich nicht nur positiv auf die Betriebskosten der Kläranlage aus, sondern der aus dem Fällmitteleinsatz resultierende Schlammanteil kann ebenfalls deutlich verringert werden.

Eine intensivierte Phosphorelimination haben auch Kraume et al. [10] bei dem Betrieb von Membranbelebungsanlagen beobachtet. Die ungeklärte Phosphorelimination wird zur Zeit noch näher untersucht.

5. Fazit

Es steht somit erstmalig ein in der Praxis erprobtes Verfahren zur Verfügung, mit dem Überschussschlamm entsprechend den Forderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes vermieden werden kann. Positive Nebeneffekte sind eine verbesserte Phosphor- und Ammoniumelimination. Die Kosten für das ÜS-Vermeidungsverfahren liegen in Abhängigkeit von den Gegebenheiten der jeweiligen Kläranlage bei 50 bis 80% der thermischen Behandlungskosten [11].

Literatur

- [1] Esch, B. und Krüger, G.: Entsorgung von Kläranlagenrückständen in Deutschland, Ergebnis der ATV-Umfrage für 1996, Korrespondenz Abwasser (1999) Nr. 6, S. 943-952.
- [2] Kollatsch, D.: Klärschlamm als Produkt aus der Abwasser- und Schlammbehandlung Teil 1 und 2. Wasser Abwasserpraxis (1998) Nr. 4, S. 42-48.
- [3] Dorau, W.: Erfahrungsbericht zum kontinuierlichen Betrieb einer Membranbiologie ohne Überschussschlammabzug. Begleitbuch zur 2. Aachener Tagung Membrantechnik, Institut für Verfahrenstechnik und Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, 1998.
- [4] Pirt: The maintenance energy of bacteria in growing cultures. Proceedings of the Royal Society London 163B (1965), S. 224-231.
- [5] Steinmetz, H.: Einfluss von Abwasserinhaltsstoffen, Stoffwechselprozessen und Betriebsparametern von Belebungsanlagen auf den Sauerstoffeintrag in Abwasser-Belebtschlamm-Gemische. Dissertation, Universität Kaiserslautern, 1996.
- [6] Imhoff, K. und Imhoff, K. R.: Taschenbuch der Stadtentwässerung. 28. Auflage, Oldenbourg Verlag, München/Wien, 1993.
- [7] Hartmeier, W.; Bronn, W. K. und Dellweg, H.: Neue Erkenntnisse über den Einfluss des O_2 -Partialdrucks auf den Stoffwechsel von Mikroorganismen. Chemie-Ing.-Technik 43 (1979) Nr. 1+2, S. 76-78.
- [8] Abbassi, B.; Gliácoman-Vallejos, G. und Rábiger, N.: Prozessführung der biologischen Abwasserreinigung mit minimierter Überschussschlammproduktion, Verfahrenstechnik der Abwasser- und Schlammbehandlung. 3. GVC-Kongress, Würzburg, 1996.
- [9] Schäfer, M.; Hoffmann, E.; Xanthopoulos, C. und Hahn, H. H.: Schmutzstoffrückhalt von Regenüberlaufbecken – am Beispiel ausgewählter anthropogener Schadstoffe. Korrespondenz Abwasser 45 (1998) Nr. 3, S. 444-454.
- [10] Kraume, M.; Kubin, K. und Rosenberger, S.: Klärschlammvermeidung in dezentralen Kleinkläranlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Verantwortungsbewusste Klärschlammverwertung. Neuruppin: TK Verlag Thomé-Kozmiensky, 2001, S. 383-403.
- [11] Baumgart, H.-C.: Kosten der Klärschlammbehandlung/-verwertung. 12. ZAF-Seminar, Internet: <http://rzis2.rz.tu-bs.de/zfw/pubs/tb485/22baum.htm>, 07.11.00 12:25.

(Manuskripteingang: 25.6.2001.
Überarbeitete Fassung: 10.7.2001.)