

48. Jahrgang · Nr. 9 · September 2001

G 10889



WASSERWIRTSCHAFT ABWASSER · ABFALL



für zwischendurch.



für immer.


STEINZEUG
MADE FOR TOMORROW

Leistungssteigerung von Nachklärbecken bei Mischwasserzufluss durch Flockungsmittel

Oliver Stark (Düsseldorf), Karl Niemann und Hermann Orth (Bochum)

Zusammenfassung

Ziel der hier vorgestellten Untersuchung ist es, die Wirkung einer gezielten Zugabe von Flockungsmitteln (FM) auf die Absetzeigenschaften von Belebtschlamm abzuschätzen. Da die Absetzeigenschaften des Schlammes maßgeblich sind für die Funktion einer Nachklärung, kann durch die gezielte Zugabe von FM die Leistungsfähigkeit im Mischwasserbetrieb erheblich verbessert werden. Zunächst wird die Ermittlung des wirkungsvollsten FM-Produktes bzw. der optimalen Zugabemenge dargestellt. Anschließend wird der Einsatz der FM zur Leistungssteigerung der Nachklärung bei dreifachem Trockenwetterzufluss anhand einer halbtechnischen Untersuchung erläutert, und die gewonnenen Ergebnisse werden vorgestellt. Abschließend wird der FM-Einsatz hinsichtlich ökologischer und wirtschaftlicher Aspekte betrachtet.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Nachklärbecken, Flockungsmittel, Mischwasser, Optimierung

Summary

Improving the Performance of Secondary Settlement Tanks with Combined Water Flow by Adding Flocculants

The objective of the study presented in this paper is to estimate the impact of a targeted addition of flocculants on the settling properties of activated sludges. Since the settling properties of sludges are of decisive importance for the functioning of a secondary settlement tank, the targeted addition of flocculants may lead to a considerable improvement in the performance of such tanks during combined water operation. First, the paper discusses how the most effective flocculant and the optimum amounts to be added are determined. Afterwards, a semi-scale study is used to explain the use of flocculants to improve the performance of a settlement tank with three times the normal dry-weather flow, and the results obtained are presented. In conclusion, the paper discusses the ecological and economic aspects of the use of flocculants.

Key words: wastewater treatment, municipal, secondary settlement tank, flocculant, combined flow, optimisation

1. Einführung

Beim Belebungsverfahren bilden Belebungs- und Nachklärverfahrenstechnisch eine Einheit. Dies wird insbesondere bei Mischwasserzufluss deutlich: Die durch die hydraulische Belastung aus dem Belebungsbecken ausgetragene Biomasse wird 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 Nachklärungen und damit der gesamten Kläranlagen aus wirtschaftlichen Gründen 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 [Schäfer et al., 1998].

Um die Summe der Gewässerbelastungen bei Regenwetter, resultierend aus dem Kläranlagenablauf und den Überläufen im Kanalnetz, zu reduzieren, können durch gezielte Steuermaßnahmen im Reinigungsprozeß die Ablaufkonzentrationen und -frachten der Kläranlage vermindert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Erhöhung der Aufnahmekapazität der Kläranlage. Dies kann gerade bei größeren Entwässerungsgebieten in Verbindung mit einer integrierten Steuerung von Kanalnetz und Kläranlage dazu genutzt werden, an einzelnen Speicherbauwerken erhöhte Drosselabflüsse einzustellen und so die entlastete Mischwassermenge deutlich zu verringern.

Die Aufnahmekapazität von Kläranlagen kann gesteigert werden, wenn das Nachklärbeckenvolumen vergrößert wird. Das ist jedoch mit erheblichen Investitionskosten verbunden, und das zusätzliche Volumen wird in nur wenigen Spitzenlastzeiten bei Mischwasserbetrieb ausgelastet. Als eine kurzfristige und als Steuermaßnahme bei Mischwasserzufluss einsetzbare Alternative wurde die Zugabe von Flockungsmitteln (FM) zur Verbesserung der Schlammabsetzeigenschaften untersucht. Es handelt sich also nicht um eine permanente Maßnahme, sondern um ein Steuerungsinstrument, welches gezielt und ausschließlich bei Mischwasserzufluss eingesetzt wird.

2. Voruntersuchungen

2.1 Auswahl eines geeigneten Flockungsmittels

Nach ATV [1999] sind für den Einsatz in der Nachklärung stark kationische Polymere besonders geeignet. Einen wesentlichen Einfluss auf die Wahl des FM hat die Abwasserbeschaffenheit (pH, Pufferkapazität, Anteil kolloidal gelöster Stoffe usw.), welche sich saisonal und im Verlauf des Klärprozesses ändern.

Durch Laborversuche wurde zunächst ein geeignetes FM ermittelt. Hierzu wurde von 15 verschiedenen Polymeren jeweils eine 0,05-%ige Gebrauchslösung auf wässriger Basis hergestellt und für jedes FM eine Serie von Absetzversuchen in Standzylindern mit unterschiedlichen Zugabemengen (0, 2, 4, 8, 16 ml/l) der Gebrauchslösung durchgeführt. Die Absetzkurven von vier Produkten mit guten Absetzergebnissen bei einer Zugabemenge von 8 ml Gebrauchslösung auf 1 l Probenvolumen sind in Abbildung 2 dargestellt. Als Vergleichswert werden die Absetzeigenschaften des Belebtschlammes der im Verhältnis 1:1 mit dem Ablauf der Nachklärung verdünnten Probe gezeigt. Der Belebtschlamm wird aus folgendem Grund üblicherweise mit dem Ablauf der Nachklärung verdünnt: Bei konzentriertem Schlamm oder Blähschlamm kann der Fall eintreten, dass es aufgrund der hohen Dichte und absoluten Ruhe im Standzylinder zu keiner Flockung kommt, der Belebtschlamm in der Nachklärung jedoch flockt und sich absetzt, da hier ständig Bewegung herrscht. Dieses Problem lässt sich lösen, indem man ein Rührwerk sehr langsam mitlaufen lässt oder, wie hier geschehen, den Schlamm mit gereinigtem Abwasser verdünnt. Dieser Effekt tritt bei Schlamm auf, deren Schlammvolumen (SV) nach 30 Minuten größer als etwa 250 ml/l ist [ATV, 1983]. In diesem Fall ist die Bestimmung mit einem größeren Verdünnungsfaktor zu wiederholen.

In den durchgeführten Standversuchen konnten die vier bekannten Zonen des Abtrennvorgangs beobachtet werden. In der ersten Zone setzen sich die Teilchen mit einer konstanten Sinkgeschwindigkeit ab, ohne sich untereinander zu beeinflussen. In der zweiten Zone, der linearen Absetzphase, findet behindertes Absetzen statt. Die dritte Zone ist eine Übergangsphase und dadurch gekennzeichnet, dass sich in Bodennähe eine dichte Schlammsschicht bildet und sich der Absetzvorgang der nachfolgenden Flocken beim Auftreffen auf diesen Schlammsspiegel verlangsamt. In der untersten Zone lagern sich die Flocken aneinander und verdrängen durch ihr

Gewicht das Wasser nach oben. In dieser Eindickphase kommt es zu erhöhter Kompression. Trägt man die Schlammvolumina aus den Absetzversuchen über die Zeit auf und ermittelt den Kompressionspunkt nach Pflanz [1966], so ist zu erkennen, dass sich die Lage des Kompressionspunktes infolge der FM-Zugabe verändert (Abbildung 1). Der Kompressionspunkt bzw. die Knickpunktkonzentration wird mit FM-Zugabe bereits nach etwa einer Minute und nicht erst nach fast 15 Minuten erreicht wie im Fall ohne FM-Zugabe. Dies bedeutet, dass der Eindickvorgang bereits nach ein bis zwei Minuten beginnt. Unterstützt durch eine ausreichende Räumleistung, ist es in einem Nachklärbecken damit möglich, den Schlamm schneller in das Belebungsbecken zurück zu transportieren.

Wie Abbildung 1 zeigt, verbesserten alle eingesetzten FM das Absetzverhalten des zu flockenden Schlammes erheblich. Das Produkt Zetag 75 FS 40¹⁾ (Ciba Spezialitätenchemie Lampertheim GmbH) war in der Lage, das Vergleichsschlammvolumen (VSV) um etwa 40% gegenüber dem Vergleichswert zu verbessern, und übertraf die anderen Produkte geringfügig. Bei dem Produkt Zetag 75 FS 40 handelt es sich laut Herstellerangaben um ein vernetztes Polymer mit stark kationischer Ladungsdichte auf Polyacrylamidbasis. Der Anwendungsbe- reich des Produktes bewegt sich nach Herstellerangaben in einem pH-Bereich zwischen 4 und 9.

2.2 Bestimmung der optimalen Zugabemenge

Zur Bestimmung der wirkungsvollsten FM-Konzentration wurde für fünf verschiedene Konzentrationen das VSV in jeweils fünf Parallelversuchen bestimmt. Die Zugabemengen betrugen 5, 10, 15, 20, 25 ml/l und waren wegen des veränderten Trockensubstanzgehaltes (TS-Gehaltes) höher als in den Untersuchungen zur Auswahl des FM. Für jede Probe wurde aus dem Nitrifikationsbecken einer halbertechnischen Versuchsanlage Belebtschlamm entnommen, die Probe mit der entsprechenden Menge FM versetzt und 20 Minuten gerührt. Anschließend wurden die Proben in fünf Standzylinder mit einem Volumen von je 1 l gegeben und das Schlammvolumen nach 1, 5, 10, 15, 20 und 30 Minuten bestimmt.

Der Reibungseinfluss der Zylinderwände konnte in der hier durchgeführten Untersuchung vernachlässigt werden, da der Vergleich der Absetzergebnisse untereinander im Vordergrund stand. Eigene Versuche mit Probegeräten, die 30 cm Durchmesser aufwiesen, haben außerdem gezeigt, dass sich der Wandreibungseinfluss mit abnehmendem TS-Gehalt und/oder steigender FM-Konzentration deutlich verringert.

Aus den jeweils fünf Absetzversuchen für jede FM-Konzentration wurden die arithmetischen Mittelwerte gebildet und Absetzkurven erstellt. Im linearen Bereich der Absetzkurven wurden die Steigungen bzw. die maximale Geschwindigkeit der Abnahme des Schlammvolumens grafisch ermittelt und in Abhängigkeit von der FM-Zugabemenge aufgetragen. Es wird ersichtlich, dass ab einer Zugabemenge von 10 ml/l die VSV-Abnahme in etwa linear ansteigt. Bei einer Zugabemenge von ca. 20 ml/l wurden die besten Schlammabsetzeigenschaften erreicht (Abbildung 2).

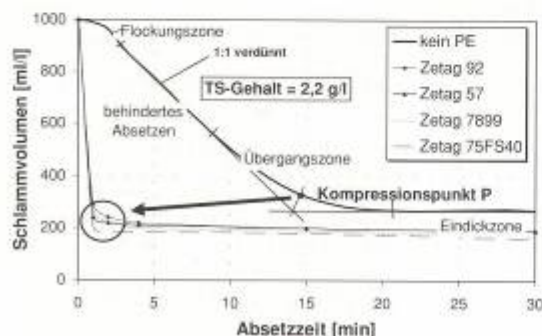


Abb. 1: Absetzkurven von Belebtschlammproben nach Zugabe von unterschiedlichen FM und einer im Verhältnis 1:1 verdünnten Probe ohne FM-Zugabe (PE: Polyelektrolyt)

¹⁾ Produktbezeichnung wurde mittlerweile geändert.

3. Untersuchungen im halbtechnischen Maßstab

Wie bereits geschildert, konnte durch die Zugabe von FM das Schlammvolumen um bis zu 40% gegenüber der Probe ohne FM verringert werden. Zur Übertragung der Absetzversuche auf den realitätsnahen Betrieb wurden Versuche mit einer halbtechnischen Versuchskläranlage durchgeführt. Hierzu wurde zur Simulation eines Mischwasserzuflusses nach einem konstanten Zuflussvolumenstrom der Zufluss um das Dreifache erhöht und die Auswirkungen der Zugabe von FM untersucht.

3.1 Versuchsdurchführung

Das Belebungsbecken der halbtechnische Versuchsanlage arbeitet nach dem Prinzip der vorgeschalteten Denitrifikation und umfasst ein Volumen von 3 400 l. Das trichterförmige und vertikal durchflossene Nachklärbecken kann etwa 950 l aufnehmen. Der Rührer wurde mit einer konstanten Drehzahl von 0,36 Umdrehungen pro Minute betrieben. Der Rücklaufschlammvolumenstrom betrug während des gesamten Versuchszeitraums konstant 320 l/h. Daraus resultierte ein Rücklaufverhältnis von 1,6 vor dem Mischwasserzufluss und von 0,53 während des erhöhten Zuflusses von 600 l/h. Der Zuflussvolumenstrom wurde vor der Untersuchung etwa 12 Stunden konstant bei 200 l/h belassen und dann innerhalb von 60 Minuten auf 600 l/h gesteigert. Der Aufbau der halbtechnischen Versuchsanlage sowie versuchsrelevante Betriebsdaten sind in Abbildung 3 zusammengestellt.

Für die Beschreibung der Absetzeigenschaften des belebten Schlammes charakteristische Größen sind die Absetzgeschwindigkeit und das Vergleichsschlammvolumen (VSV) bzw. der Schlammindex (ISV). Neben den Auswirkungen der FM-Zugabe auf das VSV bzw. den ISV wurden folgende weitere, den Betriebszustand der Belebung und der Nachklärung charakterisierende Parameter alle 30 Minuten bestimmt:

- TS-Gehalt im Nitrifikationsteil des Belebungsbeckens (TS_{90})
- VSV im Nitrifikationsteil des Belebungsbeckens
- Schlamm Spiegel im Nachklärbecken (SSP), gemessen als Höhe der Schlammsschicht über der Beckensohle
- TS-Gehalt im Rücklaufschlamm (TS_{RS})

In allen Versuchen wurde eine Stunde vor der Erhöhung des Zuflussvolumenstroms bzw. der Zugabe des FM mit der Messung dieser vier Parameter begonnen und somit der Ausgangszustand dokumentiert. Alle übrigen Betriebsparameter wie Rücklaufschlammvolumenstrom, Volumenstrom der internen Rezirkulation und Rührerleistung wurden entsprechend den Angaben in Abbildung 3 konstant gelassen. Die Versuche wurden nach Erreichen des maximalen Zuflussvolumenstroms solange weitergeführt, bis sich in der Nachklärung wieder stabile Verhältnisse einstellten.

Die FM wurden dem Nitrifikationsbecken der Belebung zudosiert, da hier aufgrund der Belüftung die bestmögliche Vermischung ohne eine zusätzliche Mischeinrichtung realisiert werden konnte. Wirtschaftlicher und effektiver wäre eine kontinuierliche Zugabe in das Zulaufgerinne zur Nachklärung an einer Stelle mit hoher Turbulenz [vgl. Heinzmann, 1998]. Dies war jedoch auf der halbtechnischen Versuchsanlage nicht praktikabel.

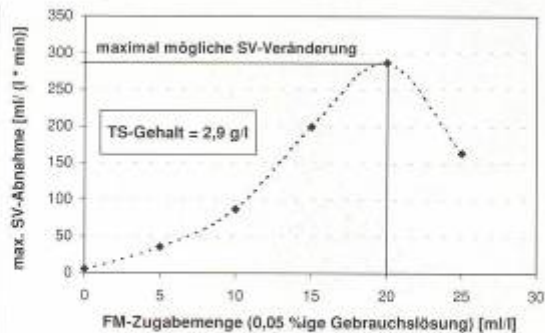


Abb. 2: Abhängigkeit der Schlammvolumenabnahme von der FM-Zugabemenge

Es wurde, um das Volumen der Zugabemenge zu verringern, anstelle der 0,05-%igen Gebrauchslösung der Vorversuche eine 0,1-%ige Gebrauchslösung verwandt. Die Zugabemenge betrug 10 ml/l. Für die Bemessung der ersten Zugabemenge (17 l FM-Gesamtzugabemenge) diente das Volumen des Nitrifikationsbeckens bzw. nach der ersten Zugabe diente der nachfließende Volumenstrom als Grundlage für die Bestimmung der Zugabemenge (3,5 l FM pro halbe Stunde). Die Zugabemenge pro halbe Stunde wurde um ca. 15% erhöht, da keine vollständige Durchmischung erwartet werden konnte.

3.2 Versuchsprogramm

Mit den Untersuchungen wurde das Ziel verfolgt, Belebungs- und Nachklärung gezielt für den Mischwasserzufluss zu präparieren. Dies bedeutete im einzelnen die Schaffung von Schlammfängerkapazitäten in der Nachklärung, um die Nachklärung auf die Schlammverlagerung durch den hydraulischen Stoß vorzubereiten. Zusätzlich sollte durch die Erhöhung der Schlammmenge im Belebungsbecken die Möglichkeit geschaffen werden, den Spülstoß zu Beginn des Mischwasserzuflusses effektiver zu behandeln. Es wurden bei gleicher Dosiermenge drei im zeitlichen Verlauf unterschiedliche Dosierstrategien für die Zugabe der FM untersucht und ein weiterer Versuch zum Vergleich ohne FM durchgeführt:

- Der erste Versuch diente als Referenzversuch für die folgenden Untersuchungen. Es wurden keine FM zudosiert.
- Im zweiten Versuch wurden zu Beginn des Mischwasserzuflusses FM zu gegeben.

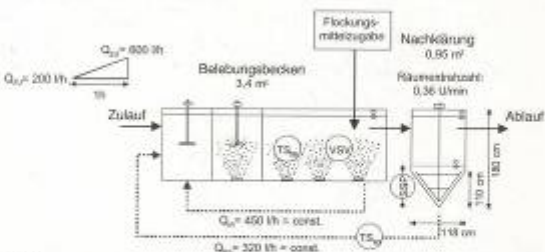


Abb. 3: Betriebsdaten der Versuchsanlage und der Versuchsdurchführung

- Im *dritten Versuch* wurden eine Stunde vor dem Beginn des Mischwasserzuflusses FM das erste Mal zudosiert.
- Im *vierten Versuch* wurden eine halbe Stunde vor dem Beginn des Mischwasserzuflusses FM das erste Mal zudosiert.

Die Dosierstrategien der beiden letzten Versuche setzen eine frühzeitige Regenmeldung durch Volumenstrommessungen im Kanalnetz und/oder ein Regenradar voraus. Neben der Vorlaufzeit für die erste Zugabe ist eine weitere halbe Stunde für die Herstellung der Gebrauchslösung notwendig, da diese nur 12 bis 24 Stunden haltbar ist und somit direkt vor dem Einsatz zubereitet werden muss.

4. Untersuchungsergebnisse

4.1 Referenzversuch

Der erste Versuch zeigt, wie sich die Situation in der Nachklärung und damit auch im Belebungsbecken infolge eines Mischwasserzuflusses mit dem dreifachen Trockenwetterzufluss ohne FM veränderte. Die ermittelten Messwerte sind in Abbildung 4 dargestellt. Der TS-Gehalt fiel im Belebungsbecken infolge der Schlammverlagerung in die Nachklärung in etwa linear von ca. 3 g/l vor der Volumenstromsteigerung auf ca. 2,5 g/l bis zum Ende des Versuchs ab. Der TS-Gehalt im Rücklaufschlamm stieg von ca. 5 g/l auf über 8 g/l.

Der Schlamm Spiegel stieg mit der Erhöhung des Volumenstroms an und pendelte sich etwa eine Stunde nach Erreichen des maximalen Zuflussvolumenstroms auf einen Wert ein, der um ca. 35 % über dem Ausgangswert lag. Um die Belastung der Nachklärung durch den hydraulischen Stoß zu quantifizieren, wurde die Feststoffmasse in der Nachklärung über die Differenz der Feststofffrachten zur und aus der Nachklärung (Gleichung 1 und 2) bestimmt.

$$\text{Feststofffluss in die Nachklärung:} \\ \text{Trockensubstanzfracht}_{\text{ZU}} = \text{TS}_{\text{BB}} \cdot (Q_{\text{ZU}} + Q_{\text{RS}}) \quad [\text{g/h}] \quad (1)$$

$$\text{Feststofffluss aus der Nachklärung:} \\ \text{Trockensubstanzfracht}_{\text{AB}} = \text{TS}_{\text{RS}} \cdot Q_{\text{RS}} \quad [\text{g/h}] \quad (2)$$

Die Schlammverlagerung wurde in 15-minütigen Intervallen ermittelt und betrug etwa 1600 g. Dies entspricht ca. 23 % der Biomasse der Belebungs- und deckt sich mit den Ergeb-

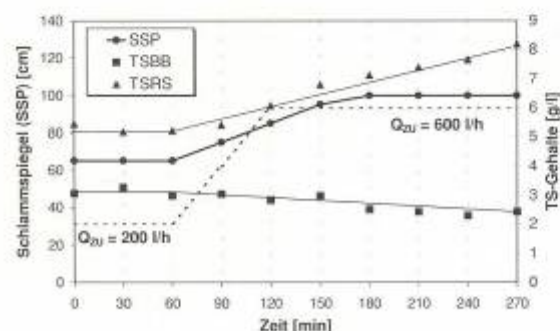


Abb. 4: Schlamm Spiegel in der Nachklärung und TS-Gehalt im Belebungsbecken und im Rücklaufschlamm infolge einer Erhöhung des Zuflussvolumenstroms

nissen, die Kummer [1995] auf der Kläranlage Wuppertal-Buchenhofen im großtechnischen Betrieb ermittelt hat.

4.2 FM-Zugabe zu Beginn des Mischwasserzuflusses

Abbildung 5 zeigt, dass sich die Absetzeigenschaften des Belebtschlamm durch die FM-Zugabe deutlich verbesserten. Zu Beginn des Mischwasserzuflusses stieg der TS-Gehalt im Rücklaufschlamm infolge der FM-Zugabe kurzfristig von ursprünglich etwa 5 g/l auf über 10 g/l und fiel dann wieder auf den Ausgangswert zurück, um dann im weiteren Versuchsverlauf relativ gleichmäßig wieder auf 10 g/l anzusteigen. Der Schlamm Spiegel fiel nach der FM-Zugabe auf 40 cm. Damit war zu diesem Zeitpunkt in der Nachklärung ein größeres Potenzial bzw. Volumen – verglichen mit dem Referenzversuch – zur Aufnahme von verlagertem Schlamm vorhanden. Letztendlich stieg der Schlamm Spiegel auf 70 cm und lag damit lediglich um etwa 7 % über dem Ausgangsniveau. Der TS-Gehalt im Belebungsbecken schwankte während des gesamten Untersuchungszeitraums um 3,5 g/l.

4.3 FM-Zugabe eine Stunde vor dem Mischwasserzufluss

Abbildung 6 ist zu entnehmen, dass durch die FM-Zugabe eine Stunde vor dem Mischwasserzufluss ebenfalls eine deutliche Verbesserung der Schlammabsetzeigenschaften festzustellen war und sich infolge dessen ein ähnliches, jedoch um eine Stunde verschobenes, Verhalten verglichen mit dem vorherigen Versuch zeigte. Der Schlamm Spiegel fiel zunächst infolge der FM-Zugabe um etwa 39 %, bezogen auf das Ausgangsniveau. Der TS-Gehalt im Rücklaufschlamm stieg zunächst von etwa 5,5 g/l auf etwa 7,5 g/l an. Dies bedeutet, dass Schlamm aus der Nachklärung in die Belebungsanlage verlagert wurde und so wieder größere Schlammkapazitäten in der Nachklärung geschaffen werden konnten. Nach etwa 30 Minuten fiel der TS-Gehalt des Rücklaufschlamm kurzzeitig auf einen Wert von etwa 3 g/l ab und lag somit in der Größenordnung des TS-Gehaltes im Belebungsbecken. Während des anschließenden Mischwasserzuflusses stieg er auf über 8,5 g/l. Der Schlamm Spiegel erhöhte sich schließlich bis auf einen Endwert von ca. 13 % über dem Ausgangsniveau. Der TS-Gehalt im Belebungsbecken verringerte sich über die Versuchsdauer von 3,5 g/l auf ca. 3 g/l.

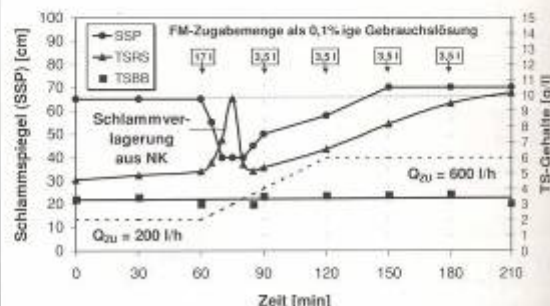


Abb. 5: Schlamm Spiegel in der Nachklärung und TS-Gehalt im Belebungsbecken und im Rücklaufschlamm infolge einer Erhöhung des Zuflussvolumenstroms bei Zugabe eines FM (Beginn der Zugabe mit der Erhöhung des Zuflusses)

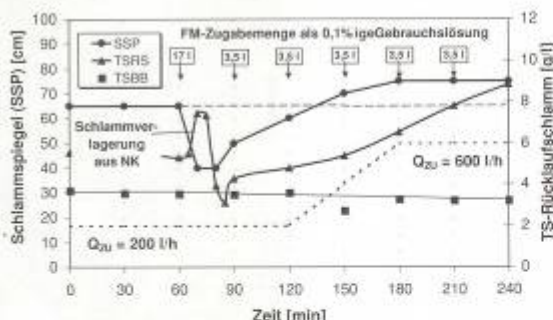


Abb. 6: Schlammspiegel in der Nachklärung und TS-Gehalt im Belebungsbecken und im Rücklaufschlamm infolge einer Erhöhung des Zuflussvolumenstroms bei Zugabe eines FM (Beginn der Zugabe eine Stunde vor der Erhöhung des Zuflussvolumenstroms)

4.4 FM-Zugabe eine halbe Stunde vor dem Mischwasserzufluss

In diesem Versuch wurde das FM eine halbe Stunde vor der Erhöhung des Zuflussvolumenstroms zugegeben. Außerdem wurden die Zugabeintervalle von 30 min auf 15 min verkürzt, um sich einer kontinuierlichen Zugabe – wie sie sich für den großtechnischen Einsatz anbietet – anzunähern. Die Zugabemengen, die entsprechenden Zugabezeitpunkte und die Messergebnisse sind in Abbildung 7 dargestellt.

Der Schlammspiegel sank nach der Zugabe des FM um etwa 43%. Nachdem das Maximum der Schlammverlagerung erreicht war, blieb der Schlammspiegel auf konstantem Niveau bis der Mischwasserzufluss einsetzte. Eine halbe Stunde, nachdem der Zuflussvolumenstrom seinen Höchstwert von 600 l/h erreicht hat pendelte sich der Schlammspiegel auf dem Ausgangsniveau ein und konnte durch die regelmäßige FM-Zugabe dort gehalten werden. Der TS-Gehalt im Belebungsbecken blieb während des gesamten Versuchs in etwa auf dem Ausgangsniveau.

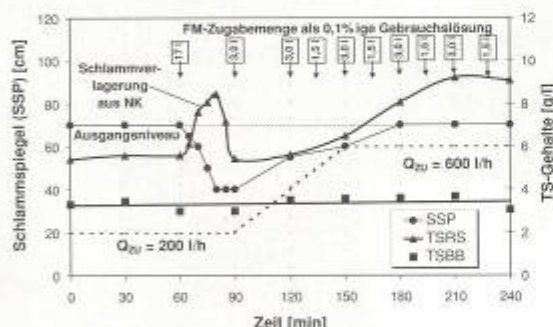


Abb. 7: Schlammspiegel in der Nachklärung und TS-Gehalt im Belebungsbecken und im Rücklaufschlamm infolge einer Erhöhung des Zuflussvolumenstroms bei Zugabe eines FM (Beginn der Zugabe eine halbe Stunde vor der Erhöhung des Zuflussvolumenstroms)

4.5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Untersuchungsergebnisse der vier durchgeführten halbtechnischen Versuche zusammengestellt.

Es bleibt festzuhalten, dass trotz dreifachen Trockenwetterzuflusses der Schlammspiegel der Nachklärung sich durch die FM-Zugabe nur um etwa 7 bzw. 13% und nicht um 35% wie im Referenzversuch gegenüber dem ursprünglichen Trockenwetterniveau erhöht. Durch die modifizierte Dosierstrategie war es sogar möglich, den Schlammspiegel auf dem Ausgangsniveau zu halten. Der Zugabezeitpunkt scheint günstig gewählt zu sein, wenn das Minimum des Schlammspiegels mit dem Beginn der Volumenstromsteigerung zusammenfällt. Dies war bei der FM-Zugabe eine halbe Stunde vor dem Mischwasserzufluss der Fall.

	maximale Erhöhung SSP	maximale SSP-Verringerung nach FM-Zugabe
Referenzversuch ohne FM	ca. 35%	–
FM-Zugabe zu Beginn des Mischwasserzuflusses	ca. 7%	ca. 39%
FM-Zugabe eine halbe Stunde vor dem Mischwasserzufluss	0%	ca. 43%
FM-Zugabe eine Stunde vor dem Mischwasserzufluss	ca. 13%	ca. 39%

Tabelle 1: Maximale Veränderung des Schlammspiegels in der Nachklärung mit und ohne Zugabe von Flockungsmitteln

5. Wirtschaftliche und ökologische Betrachtung

Wie bereits erwähnt, würde sich für eine großtechnische Umsetzung die kontinuierliche Dosierung ins Zulaufgerinne zur Nachklärung anbieten, und die FM-Zugabemenge könnte so direkt auf das zu behandelnde Mischwasservolumen bezogen werden. Übliche Einsatzmengen zur Unterstützung des Absetzverhaltens in der Nachklärung liegen zwischen 0,3 bis 2 mg/l Wirksubstanz und bei kationischen Polymeren bis 5 mg/l [ATV, 1999]. Die in Kapitel 2.2 ermittelte optimale Zugabemenge von 10 ml/l (in 0,1-%iger Lösung) liegt also deutlich über den gebräuchlichen Mengen. Es ist jedoch zu bedenken, dass die optimalen Einsatzmengen in Abhängigkeit von den Schlammeigenschaften und der Abwasserzusammensetzung stark variieren können. Außerdem handelt es sich in dem vorliegenden Fall nicht um eine kontinuierliche Abwasserkorrekturmaßnahme, sondern um ein kurzfristiges Steuerungsinstrument für den Mischwasserbetrieb. Bei einer angestrebten FM-Konzentration von 10 ml/l (in 0,1-%iger Lösung) ergäben sich folgende Kosten:

Wirksubstanz: 10 ml/l $\approx$ 0,010 kg/m³

Kosten: 10 DM/kg²⁾ $\rightarrow$ 0,010 · 10 = 0,10 DM/m³

Als Beispiel für die möglichen Kosten²⁾ des FM-Einsatz sollen im folgenden die Kosten für die Erweiterung einer Nachklärung von 2 Q_k auf 3 Q_k den Kosten für den Einsatz der FM gegenüber gestellt werden (Tabelle 2). Hierzu müssen zahlrei-

²⁾ Preisannahme in Anlehnung an durchschnittliche Herstellerangaben; Preisstand 1999

Kommunale Abwasserbehandlung

	3 · Q ₁
Nachklärungsweiterung:	
Q _{ZU} [m³/h]	6 000
Q _{RS} [m³/h]	3 000
A _{NB} [m²]	4 000
V _{NB} [m³]	16 000
Differenz zu 2 · Q ₁ Ausbau [m³]	5 333
Kosten [Mio. DM]	16,0
Kostendifferenz zu 2 · Q ₁ Ausbau [Mio. DM]	5,3
FM-Behandlung:	
Q _{ZU} + Q _{RS} [m³/h]	9 000
FM-Menge [kg/h]	81,0
FM-Kosten [DM/h]	810
geschätzte Kosten Dosierstation [DM]	60 000

Tabelle 2: Kosten für die Nachklärungsweiterung von 2 Q₁ auf 3 Q₁ und die alternativen Kosten einer FM-Behandlung

RV [–]	Q _{SV} [l/(m² · h)]	Q _A [m/h]	TS _{BB} [g/l]	TS _{RS} [kg/m³]	TS _{RS} [kg/m³]	t _E [h]
0,5	450	1,5	3,0	9,0	12,9	2

Tabelle 3: Dimensionierungsparameter der Nachklärung für das Berechnungsbeispiel

che Annahmen getroffen und Vereinfachungen vorgenommen werden. Diese werden zu Ungunsten des Einsatzes von FM gewählt, um bei der Betrachtung auf der „sicheren Seite“ zu liegen. Es soll überschlägig die Größenordnungen der zu erwartenden Kosten veranschaulicht werden. Der Dimensionierung werden die in Tabelle 3 genannten Größen – entsprechend einem Berechnungsbeispiel nach dem Arbeitsblatt ATV-A 131 [ATV, 1991] – zugrunde gelegt.

Daraus ergibt sich für einen zweifachen Trockenwetterzufluss von 4 000 m³/h und eine Gesamttiefe von h_{ges} = 4,0 m eine Oberfläche von A_{NB} = 2 666,7 m² bzw. ein Volumen von 10 666,7 m³. Es wird weiterhin angenommen, dass sich die Kosten für 1 m³ Nachklärbecken volumen auf etwa 1 000 DM belaufen [Bode und Willems, 1995]. Die Kosten für eine schlüsselfertige Löse- und Dosieranlage werden entsprechend Herstellerangaben mit etwa 60 000 DM angenommen. Der Hersteller gibt für diese Anlage Standzeiten von 15 bis 20 Jahren an.

Die Auswertung der Zuflussvolumenströme einer Kläranlage im Ruhrgebiet aus dem Jahre 1996 zeigte insgesamt etwa 80 relevante Regenereignisse mit Entlastung. Die durchschnittliche Dauer des Mischwasserzuflusses wurde zu etwa drei Stunden ermittelt. Daraus resultieren durchschnittlich 240 Mischwasserstunden pro Jahr. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Willems et al. [1999] in ihrer Betrachtung für Regenbecken im Einzugsgebiet der Ruhr. Sie geben die Entlastungs-

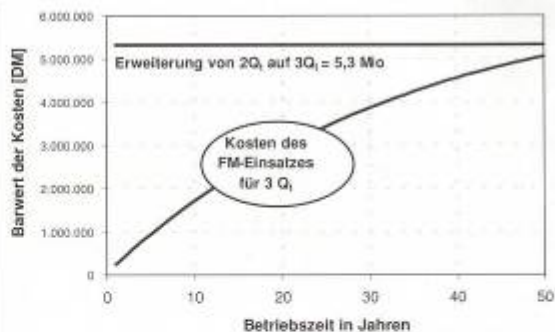


Abb. 8: Kostenvergleich zwischen einer Nachklärungsweiterung und dem alternativen Mischwasserbetrieb unter Einsatz von FM

zeiten mit durchschnittlich 250 Stunden pro Jahr an. Die Anschaffungskosten für die Löse- bzw. Dosieranlage und die Kosten für die Erweiterung der Nachklärung fallen zum Zeitpunkt der Investition an. Die laufenden Kosten für den FM-Betrieb und die Erneuerung der Löse- bzw. Dosieranlage nach 20 Jahren werden auf diesen Zeitpunkt bezogen. Die Barwerte der Kosten werden mit einem kalkulatorischen Zinssatz von 3 % ermittelt. Basierend auf diesen Werten wurde der folgende Kostenvergleich durchgeführt.

Abbildung 8 verdeutlicht, dass unter den getroffenen Annahmen der Mischwasserbetrieb mit FM über 50 Jahre günstiger ist als die Erweiterung der Nachklärung. Der Barwert des FM-Einsatzes würde nach 50 Jahren den Investitionskosten für den Ausbau der Nachklärung genau dann entsprechen, wenn der Kubikmeter Nachklärbecken volumen für 950 DM erstellt werden könnte. Bei einer Betriebszeit von 25 Jahren entspricht der Barwert des FM-Einsatzes nur 64,6 % des Barwertes der Erweiterung auf 3 Q₁.

Für einen geringeren kalkulatorischen Zinssatz von beispielsweise 2 % würde sich die Erweiterung des Nachklärbecken volumens nach etwa 40 Jahren rechnen. Insgesamt zeigt die beispielhafte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, dass der Einsatz von FM im Mischwasserbetrieb eine unter ökonomischen Gesichtspunkten sinnvolle Alternative zur Vergrößerung der Nachklärbecken volumina sein kann.

Durch die Zugabe von FM werden zusätzliche Stoffe in den Schlammstrom der Kläranlage eingetragen. Die Makromoleküle der FM lagern sich an Feststoffteilchen im Schlamm an. Die FM werden so nahezu vollständig dem Schlammkreislauf zugeführt. Bei kationischen Polyacrylamiden kann nach ATV [1999] damit gerechnet werden, dass 99,8 % am Klärschlamm verbleiben. Bisher konnte eine biologische Abbaubarkeit der organischen FM nicht nachgewiesen werden [Heinzmann, 1998]. Bei der Ausbringung der mit FM behandelten Klärschlämme in der Landwirtschaft konnten in den vergangenen 40 Jahren keine negativen Auswirkungen beobachtet werden [Samm, 1998]. Umgekehrt kann, wie in den Untersuchungsergebnissen dargestellt, der Einsatz von FM die Leistungsfähigkeit der Kläranlage bei Mischwasserzufluss erhöhen und damit die Gewässerbelastung reduzieren. Eine interessante Alternative zu den FM auf Polyacrylamidbasis könnten zurzeit in der Entwicklung befindliche FM auf der Basis von Kartoffelstärke darstellen. Erste eigene Versuche im Labor ergaben im

Kommunale Abwasserbehandlung

Vergleich zu den in dieser Untersuchung verwendeten FM ähnliche Ergebnisse.

6. Resümee und Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass durch eine gezielte FM-Zugabe vor bzw. zu Beginn eines Mischwasserzuflusses die Speicherkapazität der Nachklärung erheblich vergrößert werden kann. Es konnte gezeigt werden, dass durch den FM-Einsatz der Schlamm Spiegel trotz dreifachem Trockenwetterzufluss auf dem Trockenwetterniveau gehalten werden konnte. Damit ist die Aufnahme von Mischwasserzuflussmengen, die über den zweifachen Trockenwetterzufluss hinaus gehen, denkbar bzw. in überlasteten Nachklärungen könnte dem Schlammabtrieb wirkungsvoll begegnet werden. Neben der hydraulischen Leistungssteigerung der Nachklärung steht im Belebungsbecken eine vergrößerte Biomasse zur Behandlung des Spülstoßes zur Verfügung. Der Verdrängungsstoß kann abgefangen und gleichzeitig die Reinigungsleistung der Kläranlage gesteigert werden. Es ist bekannt, dass die Flockenstruktur des Belebtschlammes einen Einfluss auf das Wachstum der Mikroorganismen hat. Vor einem großtechnischen Einsatz empfiehlt es sich daher zu untersuchen, ob durch die FM-Zugabe ein negativer Einfluss auf die Reinigungsleistung der Mikroorganismen zu erwarten ist.

Literatur

- ATV:
Merkblatt ATV-M 274, Einsatz organischer Polymere in der Abwasserreinigung, Henkel, 1999.
- ATV:
Arbeitsblatt ATV-A 131, Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5 000 Einwohnerwerten, St. Augustin, 1991.
- ATV:
Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band III: Grundlagen für Planung und Bau von Abwasserklärungsanlagen und mechanische Klärverfahren, 3. Aufl., Ernst & Sohn, Berlin, 1983.

Bode, H., Willems, G.:
Die Dimensionierung des maximalen Mischwasserzuflusses zur Kläranlage vor dem Hintergrund der Kosten für die Niederschlagswasserbehandlung, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Ruhr-Universität Bochum, Bd. 31, 1995.

Heinzmann, B.:
ATV-Merkblatt „Einsatz organischer Polymere in der Abwasserreinigung“, Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft (ISWW) der Universität Karlsruhe (TH), Bd. 94, 1998.

Kummer, K.-D.:
Leistungssteigerung des Belebungsverfahrens bei Mischwasserzufluss durch kombinierten Einsatz von Mikrosiebung und Nachklärbecken, Dissertation, GH Essen, Forum Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft, Universität GH Essen, Bd. 4, 1995.

Pfanz, P.:
Über das Absetzen des belebten Schlammes in horizontal durchströmten Nachklärbecken, Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TH Hannover, Bd. 25, 1966.

Samm, K.:
Risikoabschätzung bei der Verwendung organischer Flockungsmittel bei der Schlammbehandlung, Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft (ISWW) der Universität Karlsruhe (TH), Bd. 94, 1998.

Schäfer, M., Hoffmann, E., Xanthopoulos, C., Hahn, H. H.:
Schmutzstoffrückhalt von Regenüberlaufbecken – am Beispiel ausgewählter anthropogener Schadstoffe, Korrespondenz Abwasser, S. 444 3/1998.

Willems, G., Rüschberg, M., Bode, H.:
Ausmaß des Mischwasserzuflusses bei der Niederschlagswasserbehandlung und die damit verbundenen Investitionskosten, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Ruhr-Universität Bochum, Bd. 36, 1999.

Autoren

Dipl.-Ing. Oliver Stark
WWB WasteWater Biotechnologies GmbH
Altenbergstraße, 40235 Düsseldorf

Dipl.-Biotechnol. Karl Niemann
GKE Consult, Beratende Ingenieure GmbH
Dirschauer Straße 10, 44789 Bochum

Prof. Dr.-Ing. Hermann Orth
Ruhr-Universität Bochum,
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik
44780 Bochum

.....EKO-PLANT
Entwicklungen u. Betriebskonzepte
für wasserwirtschaftliche Anlagen nach



- Konzepte
- Finanzierung
- Bauausführung
- Betrieb
- Verwertung

EKO-PLANT GmbH • Karlsbrunnenstraße 11 • 37249 Neu-Eichenberg

Telefon 0535 42-9161 0 • Fax 0535 42-9161 68 • E-Mail: concept@eko-plant.de • Internet: www.eko-plant.de

Klärschlammverwertung



- standortgerecht
- effizient
- kostengünstig
- zukunftssicher