



# Korrespondenz Abwasser · Abfall

5/08



**Fels**  
Kalk fürs Leben



**Dr. Born -  
Dr. Ermel**  
B 1.128



GE Water & Process Technologies



Langlebige Kanalsysteme.  
IFAT - Halle A6 / 423/522



## Willkommen zur IFAT 2008!

# Abtrennung von Biomasse mittels Mikroflotation

## Zehn Jahre Betriebserfahrungen in St. Wendel

Oliver K. Stark (Witten), Roland Damann und Andreas Stein (Lichtenau-Henglar)

### Zusammenfassung

Die biologische Abwasserreinigung arbeitet insgesamt immer nur so gut, wie die verwendete Technik zur Separation der Biomasse es erlaubt. Auf der kommunale Kläranlage St. Wendel (Saarland) wurde vor etwa zehn Jahren eine Mikroflotation mit einer Leistung von 800 m<sup>3</sup>/h installiert, um die aus einer Tropfkörperanlage ausgetragene Biomasse abzutrennen. In dem hier vorliegenden Beitrag wird die Leistungsfähigkeit der Mikroflotation anhand von Betriebsdaten der Jahre 2003 bis 2005 nachgewiesen. Der 85-%-Wert der zeitlichen Unterschreitungshäufigkeit für die CSB- bzw. BSB5-Konzentration im Ablauf der Mikroflotation lag während des gesamten Untersuchungszeitraums bei weniger als 81 bzw. 35 mg/l. Die Mikroflotation wurde ohne Flockungshilfsmittel betrieben, so dass neben Personal- und Energiekosten von 0,080 kWh pro m<sup>3</sup> Abwasser keine weiteren Betriebskosten anfielen.

**Schlagwörter:** Abwasserbehandlung, kommunal, Mikroflotation, Biomasse, Trennung, Betriebsergebnisse, Sedimentation

DOI: 10.3242/kae2008.05.004

### Abstract

#### Separation of Biomass by Means of Micro-Flotation Ten Years of Operational Experience in St. Wendel

The quality of biological wastewater treatment in general depends on the type of technology used for the separation of biomass. At the St. Wendel Municipal Wastewater Treatment Plant (Saarland, Germany), a micro-flotation plant with a capacity of 800 m<sup>3</sup>/h was installed ten years ago in order to separate the biomass discharged from a biological filter plant. This paper demonstrates the efficiency of micro-flotation on the basis of operating data from the years 2003 until 2005. Over the entire period under review, the 85 % value for the frequency of flows below the lower limit for COD and BOD<sub>5</sub> levels in the run-off from the micro-flotation plant amounted to less than 81 and 35 mg/l respectively. Micro-flotation took place without the addition of coagulation aids, and so no additional costs occurred, apart from staff and energy costs which amounted to 0.080 kWh per m<sup>3</sup> of wastewater.

**Key words:** wastewater treatment, municipal, micro-flotation, biomass, separation, operating results, sedimentation

### 1 Einführung

Die ursprünglich aus den 1950er-Jahren stammende Kläranlage St. Wendel (Saarland) wurde in ihrer Geschichte mehrfach erweitert und umgebaut. Infolge des ständig gewachsenen Abwasserabfalls war das hydraulische Potenzial des bestehenden Nachklärbeckens erschöpft. Außerdem konnten die vorhandenen Feinpartikel im Ablauf der Tropfkörper aufgrund der hohen hydraulischen Beschickung des Nachklärbeckens nur unvollständig abgeschieden werden. Durch den geplanten Anschluss einer weiteren Ortschaft wurde diese Situation noch verschärft, und daher wurde 1996 auf der Kläranlage St. Wen-

del eine Mikroflotation zur Abtrennung der ausgetragenen Biomasse aus der Tropfkörperbiologie in Betrieb genommen. Die Kläranlage bestand zu diesem Zeitpunkt aus einer Rechenanlage, einem Sandfang, zwei rechteckigen Vorklärbecken, zwei Tropfkörpern sowie einem Nachklärbecken und wurde mit etwa 24 000 EW belastet.

In den Jahren 2005/2006 wurde die Kläranlage St. Wendel auf dem alten Betriebsgelände mit einer Ausbaugröße von 36 000 EW komplett neu errichtet. Lediglich der Einlaufbereich und das Pumpwerk Oberlinxweiler wurden saniert. Das gesamte Kläranlagengelände wurde soweit angehoben, dass die Betriebssicherheit der Anlage auch bei starkem Hochwasser gewährleistet ist. Nach Abschluss der Arbeiten zur Errichtung der neuen Anlage wurde die alte Anlage außer Betrieb genommen. Zu diesem Zeitpunkt wurde auch die Mikroflotation als Bestandteil der alten Anlage nach zehn Jahren erfolgreichem Betrieb stillgelegt.

Der Einsatz von Flotationsanlagen zur Vorreinigung von öl- und fetthaltigem Abwasser und zur Eindickung von biologi-

schem Überschussschlamm ist in der Abwassertechnik seit langem bekannt und findet eine breite Akzeptanz in der Fachwelt. Dass insbesondere das mikroflotative Verfahrensprinzip aber auch, verglichen mit den verschiedenen Trenntechnologien, die bessere Alternative sein kann, wenn es darum geht, Biomasse vom gereinigten Wasser zu trennen, ist relativ unbekannt. In dem hier vorliegenden Beitrag wird die Leistungsfähigkeit des mikroflotativen Verfahrensprinzips anhand umfangreicher Betriebsdaten dargestellt.

Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen müssen heute ständig auf geänderte Anforderungen reagieren. Die zu verwendenden Technologien sollten daher flexibel, möglichst modular aufgebaut, betriebssicher und häufig Platz sparend sein. Die Mikroflotation erfüllt diese Anforderungen und hat sich weltweit fast 200-fach bewährt. Häufig ist es technisch sinnvoll und vor allem wirtschaftlich, klassische Behandlungsvorgänge wie die Raumfiltration und die Sedimentation zu substituieren.

## 2 Theoretische Grundlagen der Mikroflotation

Eine Flotation wirkt in Umkehrung der Sedimentation, bei der die abzutrennenden Stoffe zum Beckenboden sinken und dort abgeräumt werden. Die Druckspannungsflotation (gebräuchliche Abkürzung: DAF für Dissolved Air Flotation) im Speziellen ist ein Trennverfahren, bei dem ein unter Druck im Wasser gelöstes Gas bei der Druckverminderung (Entspannung) ausgast und sich beim Aufstieg an schwebende Feststoffpartikel anlagert, so dass deren „Flotation“ ermöglicht wird. Bei der klassischen Entspannungsflotation wird Abwasser oder ein Teilstrom des Klarwassers in der Regel bei einem Überdruck von bis zu 8 bar mit Luft gesättigt und anschließend über die Entspannungsarmaturen in das Flotationsbecken geleitet. Nach der Entspannung auf Atmosphärendruck perlt die überschüssige Luft in Form feiner Blasen im Bereich von 30 bis 150  $\mu\text{m}$  aus. An der Oberfläche werden die flotierte Stoffe dann durch eine geeignete Räumvorrichtung entfernt.

Der Aufsättigungsvorgang ist ein kinetischer Prozess, der maßgeblich von der Phasengrenzfläche, der Turbulenz, der Strömungsführung sowie der Verweilzeit im Sättiger beeinflusst wird. Für den Grenzwert der Sättigung werden bei konventionellen Druckkesseln ca. 50 bis 90 % der maximalen Sättigungskonzentration angegeben [1, 2]. Um diesen Sättigungsgrad zu erreichen, werden in der Regel Betriebsdrücke zwischen 5 und 8 bar aufgewandt.

Vergegenwärtigt man sich, dass der größte Teil der Energiekosten, die bei dem Betrieb von Druckentspannungsflotationen anfallen, durch die Erzeugung der Gasblasen verursacht werden, wird die Bedeutung des Sättigungsgrades deutlich. Darüber hinaus erlaubt eine hohe Sättigung des Recycle-Volumenstroms die hydraulische Entlastung des Flotationsbeckens. Diese Erkenntnis war seiner Zeit die Motivation, eine Druckentspannungsflotation im Niederdruckbereich, die sogenannte Mikroflotation, zu entwickeln. Durch eine verfahrenstechnisch optimierte Kombination von Düsensystemen und Entspannungsventilen [5] werden Sättigungsgrade von über 99 % erreicht und dabei lediglich Betriebsdrücke zwischen 2 und 4 bar aufgewandt. Von Lufteintragsverfahren sollte nach dem Stand der Technik ein Sättigungsgrad von mindestens 90 % verlangt werden [3].

Eine weitere wichtige Kenngröße zur Charakterisierung der Druckentspannungsflotation ist das Gas-Feststoff-Verhältnis, das heißt die Masse an Gas (Luft), die nach der Entspannung im Flotationsbecken frei wird, bezogen auf die Masse an zugeführtem Feststoff. Neben dem eingetragenen Gasstrom, bezogen auf die Feststoffmenge, spielt die mittlere Größe der Gasblasen eine entscheidende Rolle für das Flotationsergebnis. Die im Wasser frei werdende Luftmenge ist abhängig vom Entspannungsdruck, der Temperatur und dem erreichten Sättigungsgrad. Diese Faktoren beeinflussen – neben der konstruktiven Ausgestaltung der Entspannungsorgane – die mittlere Blasengröße sowie das Spektrum der Blasengrößen und damit die Aufstiegsgeschwindigkeit sowie die Kollisionsrate zwischen Feststoff und Gasblase [4].

Es ist leicht einzusehen, dass sich kleine Gasblasen leichter an Feststoffe anlagern als große. Ideal sind kontinuierlich erzeugte dichte, homogene Gasblasen in Form eines nebelähnlichen Blasenfilterpolsters. Die gesteigerte Anlagerungsfähigkeit durch kleine Gasblasen führt zu einer verbesserten Ausnutzung der eingetragenen Luft und vergrößert damit die Effizienz der Mikroflotationen. Bereits eine sehr geringe Anzahl von Gasblasen mit einem Durchmesser von größer als  $150\ \mu\text{m}$  kann aufgrund der schnelleren Aufstiegsgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Turbulenz den gesamten Flotationsvorgang empfindlich stören, da bereits bestehende Agglomerate aus Feststoff und Gasblasen wieder zerstört werden.

Die konstruktive Ausbildung der Entspannungsorgane liegt im besonderen Know-how des Anlagenbauers [5]. Die Untersuchungen von [6] bestätigen, dass das verwendete Entspannungsventil von entscheidender Bedeutung für das zu erzielende Spektrum an Blasengrößen ist. Die spezifische Ausgestaltung beeinflusst neben der Blasengröße auch die Betriebssicherheit, denn nur selbstreinigende Systeme gewährleisten dauerhaft einen störungsfreien Betrieb. Die bei vielen Anlagen auftretenden Verstopfungen können durch selbstreinigende Ventile fast gänzlich ausgeschlossen werden.

Empirische Untersuchungen in der Vergangenheit – mit Druckkesselbegasern, die lediglich einen Sättigungsgrad 50 bis 90 % erreicht haben – zeigten, dass bei einer Druckerhöhung von 2 auf 4 bar der mittlere Blasendurchmesser von ca.  $140\ \mu\text{m}$  auf  $50\ \mu\text{m}$  abnimmt. Eigene Untersuchungen zeigen, dass durch die Erhöhung des Sättigungsgrades auf über 99 % sich die Summenhäufigkeitskurve des Blasendurchmessers verschiebt. Bereits bei etwa 3 bar bildet sich ein Blasenspektrum zwischen 10 und  $70\ \mu\text{m}$  aus, wobei etwa 90 % der Bläschen eine Größe zwischen 20 und  $50\ \mu\text{m}$  haben.

Durch Haftvorgänge der Gasblase an Feststoffteilchen und das Einfangen sowie den Einbau von Gasblasen in das Gefüge von Flockenverbänden werden Feststoffe an die Oberfläche

transportiert. Dies ist möglich, da sich die Größe der neu gebildeten Einheit nur unwesentlich verändert, aber die Dichte abnimmt und kleiner wird als die der umgebenden Flüssigkeit. Infolge des Auftriebs bewegt sich die Flocke nach oben und erreicht nach einer anfänglichen Beschleunigungsphase eine gleichförmige Bewegung mit konstanter Steiggeschwindigkeit. Die Aufstiegsgeschwindigkeit erhöht sich, je größer der Dichteunterschied zum umgebenden Medium ist, respektive je mehr Gasblasen an die Flocke gebunden sind. Neben möglichst kleinen Gasblasen werden die Haftvorgänge bzw. der Phasenkontakt günstig beeinflusst durch [7]:

- hydrophobe (schlecht benetzbare) Feststoffteilchen oder Flocken,
- Koagulation bzw. Flockung der emulgierten sowie suspendierten Stoffe,
- kompakte und scherstabile Flocken,
- fetthaltige (allgemein: hydrophobe) Substanzen.

### 3 Allgemeine Charakteristika von Tropfkörpern

Tropfkörper gehören zu den ältesten bekannten biologischen Abwasserbehandlungsverfahren und erfreuen sich auch heute noch aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften weltweit einer weiten Verbreitung, da Tropfkörperanlagen im Allgemeinen einfach sowie betriebsstabil zu betreiben sind und keine Biomasserückführung erforderlich ist. Aufgrund dieser Entkopplung von biologischem Reaktor und Biomasseabtrennung kann die nachgeschaltete Trennstufe separat optimiert werden. Tropfkörperanlagen ermöglichen die Besiedelung mit Bakterien, die lange Generationszeiten erfordern. Der Energiebedarf von Tropfkörpern ist im Allgemeinen gering, da zur Belüftung der natürliche Kamineffekt ausgenutzt wird.

Freischwimmende Organismen, die nicht im Biofilm fixiert sind, werden rasch ausgespült. Höhere Organismen weiden den Biofilm regelmäßig ab, und dies hat zur Folge, dass der Überschussschlammanfall im Tropfkörper erfahrungsgemäß deutlich geringer ist als in vergleichbaren Belebungsanlagen. Während beim Belebungsverfahren die Nahrungskette kurz ist und nur aus bakteriellen und relativ wenig Protozoen besteht, können sich in Festbetten lange und artenreiche Nahrungsketten aufbauen und den Schlammanfall so merklich reduzieren. Außerdem wurde bei mikrobiologischen Forschungen ermittelt, dass aufgesiedelte Bakterien, im Vergleich mit suspendiert lebenden Artgenossen, eine Verminderung der Teilungsrate und eine Erhöhung des dissimilatorischen Stoffwechsels, gleichbedeutend mit höherer Aktivität bei geringerer Schlammproduktion, aufweisen. Diese Änderung des Teilungsverhaltens ist ein weiterer Grund für eine verminderte Schlammproduktion. Die Überschussschlammproduktion kann mit 0,6 bis 0,75 kg Trockensubstanz pro kg eliminierten BSB<sub>5</sub> angenommen werden.

#### 4 Vergleich zwischen Mikroflotation und Sedimentation

Als eine wirtschaftliche und hinsichtlich des Schlammabsetzverhaltens unabhängige Alternative bietet sich die Mikroflotation als Ergänzung oder Ersatz von Sedimentationsbecken an. Die Mikroflotation bietet an dieser Stelle der Verfahrenskette eine Reihe von Vorteilen:

- Feststoffe mit einer Größe von weniger als  $100\ \mu\text{m}$  oder ver Netzte belebte Schlämme können zuverlässig abgetrennt werden.
- Das Ablaufergebnis der Mikroflotation ist in einem vergleichsweise großen Bereich unempfindlich gegenüber hydraulischen Schwankungen und Schwankungen im Feststoffgehalt des Zulaufs. Dadurch ergibt sich ein sehr flexibler Betrieb.
- Die Mikroflotation ist in der Lage, auch belebte Schlämme mit Trockensubstanzgehalten von deutlich über  $15\ \text{g/l}$  zuverlässig abzutrennen. Damit ergeben sich erhebliche Potenziale, die Leistungsfähigkeit biologischer Stufen zu steigern bzw. die notwendigen Beckenvolumina zu verkleinern.
- Eine unkontrollierte Denitrifikation, wie sie in Nachklärbecken mit langen Aufenthaltszeiten häufig zu beobachten ist, ist aufgrund der kurzen Aufenthaltszeiten sowie der Anreicherung mit Sauerstoff nicht möglich.

- Die Mikroflotation ist bei Bedarf „auf Knopfdruck“ verfügbar. Damit ist die Möglichkeit zu diskontinuierlichem Betrieb gegeben. Dies ist für Industriebetriebe mit ausgeprägten Produktionskampagnen oder kommunale Anlagen in touristischen Regionen interessant.
- Mikroflotationen haben einen sehr geringen Platzbedarf und können leicht modular aufgebaut werden.
- Der Rücklauf- respektive Überschussschlamm wird infolge der flotativen Abtrennung bereits auf  $50$  bis  $60\ \text{g/l}$  eingedickt. Dies reduziert den späteren Aufwand der Schlammbehandlung bzw. eröffnet wirtschaftliche Möglichkeiten der Klärschlammintegration mit dem Ziel der Überschussschlammreduktion.
- Der Klarlauf und das Flotat sind stark mit Sauerstoff angereichert. Für den Vorfluter wirkt sich die Anreicherung positiv aus, und bei der Planung einer Vorgesetzten Denitrifikation muss dieser Umstand entsprechend berücksichtigt werden.

Bei einem Verfahrensvergleich zwischen Sedimentation und Mikroflotation werden fälschlicherweise immer wieder die in der Literatur beschriebenen Ergebnisse von älteren, in konventioneller Weise errichteten Flotationssystemen herangezogen. In der Membrantechnik würde beispielsweise der Vergleich von Systemen aus den 1990er-Jahren und Systemen von heute auch zu keinem objektiven Leistungsvergleich führen.

|                 | Q [m³/d] | CSB [mg/l] |      | BSB <sub>5</sub> [mg/l] |      | NH <sub>4</sub> -N [mg/l] |      | N <sub>ges</sub> [mg/l] |      | P <sub>ges</sub> [mg/l] |      |
|-----------------|----------|------------|------|-------------------------|------|---------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|
|                 |          | Zu         | Ab   | Zu                      | Ab   | Zu                        | Ab   | Zu                      | Ab   | Zu                      | Ab   |
| Anz. Datensätze | 1 096    | 470        | 470  | 124                     | 124  | 468                       | 467  | 463                     | 463  | 469                     | 468  |
| Min.            | 2 660    | 63         | 15,0 | 40,0                    | 2,00 | 0,91                      | 0,88 | 5,0                     | 3,0  | 0,50                    | 0,07 |
| Max.            | 31 120   | 1.176      | 116  | 500                     | 72,0 | 67,0                      | 61,0 | 128,0                   | 63,2 | 23,7                    | 3,2  |
| Arithm. Mittel  | 8 146    | 505        | 59,2 | 287                     | 22,8 | 27,6                      | 23,8 | 49,7                    | 28,1 | 7,0                     | 0,76 |
| Standardabw.    | 5 050    | 214        | 17,7 | 115                     | 11,5 | 12,2                      | 11,0 | 18,8                    | 11,9 | 3,3                     | 0,41 |
| Unteres Quartil | 4 570    | 340        | 47,0 | 215                     | 14,0 | 19,0                      | 15,0 | 36,0                    | 18,6 | 4,8                     | 0,5  |
| Median          | 6 140    | 497        | 58,0 | 300                     | 22,0 | 28,0                      | 25,0 | 50,0                    | 29,0 | 6,8                     | 0,7  |
| Oberes Quartil  | 10 100   | 653        | 72,0 | 380                     | 29,0 | 35,9                      | 32,0 | 63,0                    | 37,1 | 8,9                     | 0,9  |
| Reduktion total |          |            | 446  |                         | 264  |                           | 3,8  |                         | 21,6 |                         | 6,2  |
| Reduktion [%]   |          |            | 88,3 |                         | 92,1 |                           | 13,7 |                         | 43,5 |                         | 89,2 |

Tabelle 1: Statistische Auswertung der Mikroflotations-Leistungsdaten der Jahre 2003 bis 2005

## 5 Betriebsparameter der eingesetzten Mikroflotation

Auf der kommunalen Kläranlage St. Wendel wurde im Jahr 1996 eine zweistraßige, rechteckige Mikroflotation installiert. Jede der beiden parallelen, abgedeckten Flotationszellen hatte eine Oberfläche von etwa 38 m<sup>2</sup> (Länge/Breite/Tiefe: 9000/

4230/2300 mm). Die gesamte Mikroflotationsstufe wurde für einen maximalen Zulaufvolumenstrom von 800 m<sup>3</sup>/h konzipiert. Das Abwasser wurde mit Druckluft bei etwa 3,5 bar gesättigt, und es wurden 19%, bezogen auf den Zulaufvolumenstrom, recycelt. Dies entsprach einem Recyclingstrom von 150 m<sup>3</sup>/h. Die Flotatentnahme erfolgte über ein Vakuumröhrsystem. Der gesamte Energiebedarf betrug 0,080 kWh pro m<sup>3</sup>

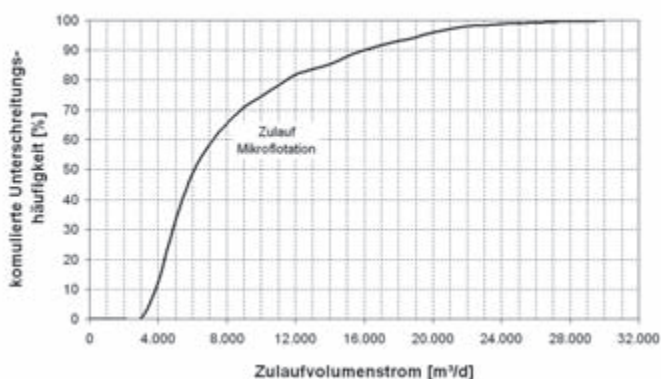


Abb. 1: Kumulierte Unterschreitungshäufigkeit des Zulaufvolumenstroms

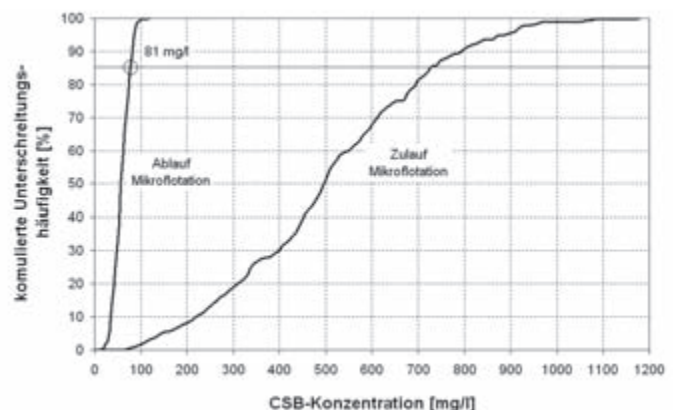
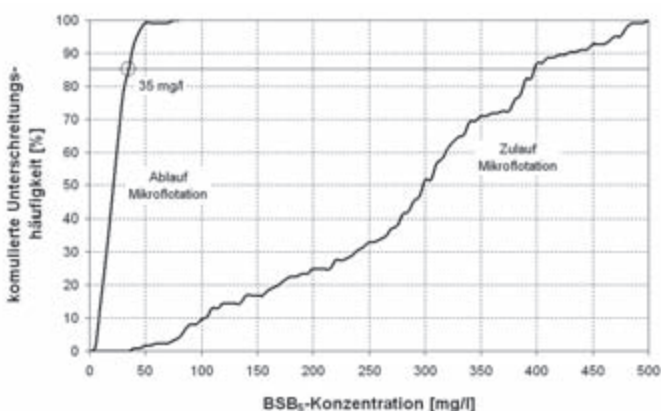
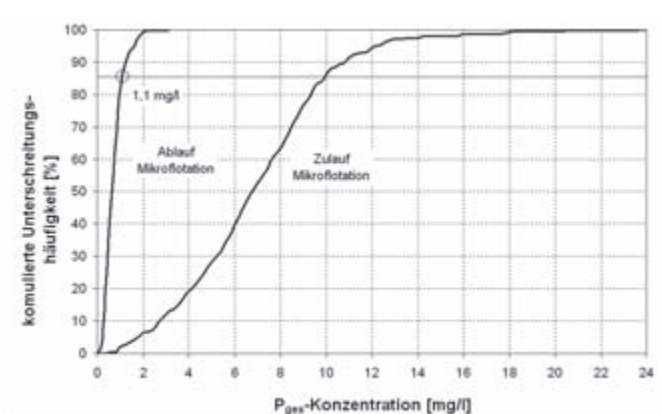


Abb. 2: Kumulierte Unterschreitungshäufigkeit der CSB-Konzentration im Zu- und Ablauf der Mikroflotation

Abb. 3: Kumulierte Unterschreitungshäufigkeit der BSB<sub>5</sub>-Konzentration im Zu- und Ablauf der MikroflotationAbb. 4: Kumulierte Unterschreitungshäufigkeit der P<sub>ges</sub>-Konzentration im Zu- und Ablauf der Mikroflotation

Abwasser. Die Mikroflotation wurde ohne Flockungshilfsmittel betrieben.

## 6 Ergebnisse

Die Mikroflotation wurde auf der Kläranlage St. Wendel über einen Zeitraum von zehn Jahren bis zur kompletten Neugestaltung des Kläranlagenstandorts betrieben. Der Kläranlagenbetreiber (Entsorgungsverband Saar, EVS) stellte die im Rahmen der Eigenüberwachung erhobenen Leistungsdaten der letzten drei Betriebsjahre zur Auswertung zur Verfügung. Die Auswertung dieses umfangreichen Datenmaterials wird nachfolgend dargestellt.

Aus Tabelle 1 wird unter anderem ersichtlich, dass infolge der flotativen Behandlung die CSB-Konzentration, bezogen auf das arithmetische Mittel, um ca. 88 % und die BSB<sub>5</sub>-Konzentration um über 92 % gesenkt werden konnte. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die organische Belastung des Abwassers ausschließlich aus der ausgetragenen Biomasse resultiert. Daher wurde jeweils die homogenisierte Probe untersucht. Die gelösten Verbindungen wurden bereits im Tropfkörper biologisch eliminiert. Infolge der Abtrennung der partikulären Substanzen konnte die P<sub>ges</sub>-Konzentration im Ablauf, bezogen auf das arithmetische Mittel, um etwa 89 % gesenkt werden.

Aus Abbildung 1 wird ersichtlich, dass der tägliche Abwasserzulauf zur Mikroflotation in 85 % aller Fälle geringer war als 13 500 m<sup>3</sup>/d. Dies entspricht einem stündlichen Zulauf von etwa 563 m<sup>3</sup>/h. Wie später gezeigt wird, hat auch die maximal registrierte Zulaufmenge von 31 120 m<sup>3</sup>/d respektive 1 297 m<sup>3</sup>/h nicht zu einem Versagen der Mikroflotation geführt.

Die Analyse der kumulierten Unterschreitungshäufigkeit der CSB-Zu- und Ablaufkonzentration zeigt, dass eine CSB-Ablaufkonzentration von 116 mg/l zu keinem Zeitpunkt überschritten wurde. Der 85 %-Wert der zeitlichen Unterschreitungshäufigkeit lag bei 81 mg/l (Abbildung 2).

Abbildung 3 illustriert, dass der 85 %-Wert der zeitlichen Unterschreitungshäufigkeit der BSB<sub>5</sub>-Ablaufkonzentration bei 35 mg/l lag. Das arithmetische Mittel der BSB<sub>5</sub>-Ablaufkonzentration betrug 22,8 mg/l.

Der 85 %-Wert der zeitlichen Unterschreitungshäufigkeit der P<sub>ges</sub>-Ablaufkonzentration lag bei 1,2 mg/l (Abbildung 4). Das arithmetische Mittel der P<sub>ges</sub>-Ablaufkonzentration betrug 0,76 mg/l.

## 7 Fazit

Die Langzeiterfahrungen auf der Kläranlage St. Wendel haben gezeigt, dass Mikroflotationen neben hoher Betriebssicherheit, energetisch günstiger Betriebsweise und sehr kompakter Bauart durch ihre Ablaufkonzentrationen überzeugen. Der 85 %-Wert der zeitlichen Unterschreitungshäufigkeit für die CSB- und BSB<sub>5</sub>-Konzentration lag während des gesamten Untersuchungszeitraums bei weniger als 81 bzw. 35 mg/l. Der 85 %-Wert der zeitlichen Unterschreitungshäufigkeit der P<sub>ges</sub>-Ablaufkonzentration lag bei 1,2 mg/l. Die Mikroflotation wurde ohne Flockungshilfsmittel betrieben, so dass neben Energiekosten von 0,080 kWh pro m<sup>3</sup> Abwasser keine weiteren Betriebskosten anfielen.

Verglichen mit konventionellen Druckentspannungsflotationen sind Mikroflotationen durch wesentliche konstruktive Modifi-

kationen erheblich effektiver, sowohl in der Leistung als auch im Wirkungsgrad. Als wesentliche Modifikationen sind zu nennen: die Sättigungsgrade moderner Drucksättiger liegen im Grenzbereich nahe 100%, speziell angepasste Entspannungsventile garantieren ein homogenes sowie enges Blasenspektrum im Bereich von 20 bis 50  $\mu\text{m}$ , durch abwasserangepasste Einströmwinkel des Abwasser- und Recycle-Stroms werden hydraulische Turbulenzen vermieden, und die Gasblasenintensität, bezogen auf die Auftriebsgeschwindigkeiten der Gasblasen, kann an die spezifischen Charakteristika der Abwässer angepasst werden. Darüber hinaus verhindern sich automatisch reinigende Luftsättigungsaggregate Verstopfungen und damit betriebsbedingte Flotatschlammabscchwemungen im Klarlauf.

Die Mikroflotation hat auf der Kläranlage St. Wendel über viele Jahre bewiesen, dass ihr ein fester Platz in der biologischen Abwasserbehandlung zusteht und sie in technischer sowie ökonomischer Hinsicht anderen Fest/Flüssig-Trennverfahren wie der Sedimentation überlegen ist.

## Literatur

- [1] P. Kleinert: *Neuere Entwicklungen bei Flotationsverfahren in der Abwasserreinigung und Schlammverdickung*, Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Bd. 38, Oldenburg Verlag, München, 1984
- [2] R. Köhler: Technologie und Anwendung der Entspannungs-Flotation in der Abwasserreinigung, *Wasser, Luft und Betrieb*, 19, 1975
- [3] Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses 2.5 „Absetzverfahren“: Feststoffabtrennung durch Entspannungsflotation, GFA, Hennef, 1999; Kurzfassung: KA 7/1999, 1125–1126
- [4] B. Hanisch: *Die wirtschaftliche Anwendung der Flotation mit sehr kleinen Luftblasen zur Reinigung von Abwasser*, Kommissionsverlag Oldenburg, München 1960
- [5] Patente DE 3501 175 C2, EP 208696, US 4 735 750, N 51760-SS-863684, CAN 571 069-3, Fa. Enviplan-Ingenieurgesellschaft, Lichtenau-Henglarn
- [6] H. Bennoit: Anwendung der Entspannungsflotation bei der Abwasserreinigung in der chemischen Industrie, in: *Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung*. Preprints GVC-Diskussionstagung, Baden-Baden 1988
- [7] Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.: *VDMA-Einheitsblatt*, VDMA 24430, 2001

## Autoren

Dipl.-Ing. Oliver K. Stark  
 stark-consult  
 Kleinherbeder Straße 2A  
 58455 Witten  
 E-Mail: info@stark-consult.de

Roland Damann, Andreas Stein  
 enviplan Ingenieurgesellschaft mbH  
 Dammstraße 21  
 33165 Lichtenau-Henglarn  
 E-Mail: mail@enviplan.de

