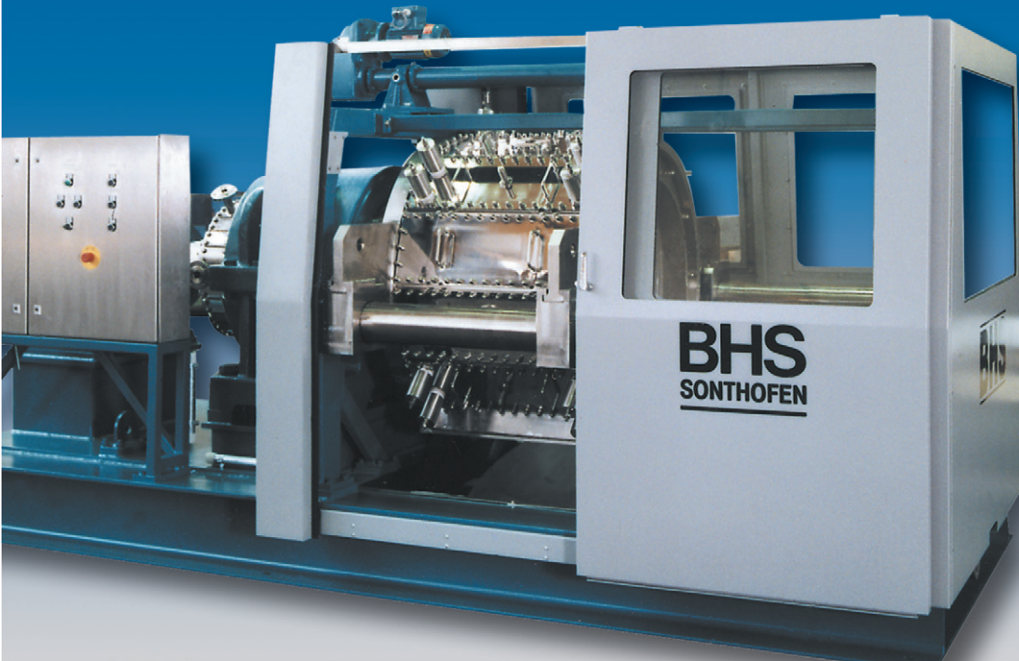


Filtrieren und Separieren



Filtrations- probleme?

Wir haben die Lösung!

BHS-Easy-Clean-Prozessor

- leicht zu reinigen (GMP CIP)
- automatische Schnellreinigung
- bis 6 bar Arbeitsdruck
- bis 160°C Prozesstemperatur
- hervorragende Kuchenwäsche und Trocknung
- bis 5-fache Gegenstromwäsche

Ideal für:

- Multi-Produkt-Anlagen
- häufige Produktwechsel
- schlecht filtrierbare Produkte
- Pigmente und Farbstoffe
- Pharmazeutika und Vitamine

BHS
SONTHOFEN

BHS-Sonthofen GmbH
Hans-Böckler-Straße 7
D-87527 Sonthofen
phone: +49-(0)83 21-802-200
fax: +49(0) 83 21-802-320
E-Mail: info@bhs-sonthofen.de
www.bhs-sonthofen.de

BHS-Filtration Inc.
9123-115 Monroe Road
Charlotte, NC 28270, USA
phone: +001-(704) 845-1190
fax: +001(704) 845-1902
E-Mail: barry.perlmutter@bhs-filtration.com
www.bhs-filtration.com

**Gasfiltration
Messtechnik**



Neue Erkenntnisse über die Bedeutung des Sättigungsgrads sowie der Blasengröße auf das Betriebsverhalten von Druckentspannungsflotationen

O. Stark *, R. Damann **

Seit einigen Jahren gehört die ungeteilte Aufmerksamkeit der wassertechnischen Fachwelt den sich ständig fortentwickelnden Applikationen der Membrantechnik. Nahezu unbemerkt werden jedoch auch klassische Separationsverfahren, wie beispielsweise Druckentspannungsflotationen im Niederdruckbereich, die so genannten Mikroflotationen, weiterentwickelt und bleiben hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit sowie Effizienz für viele Anwendungen weiterhin eine ernst zu nehmende Konkurrenz.

1. Einleitung

Das Prinzip der Flotation besteht darin, dass in Wasser aufsteigende Gasblasen anhaftende Partikel zur Oberfläche transportieren, wo diese mit dem Schaum durch eine geeignete Räumvorrichtung entfernt werden. Die Druckentspannungsflotation (gebräuchliche Abkürzung in der englischen Sprache: DAF für Dissolved Air Flotation) im Speziellen ist ein Trennverfahren, bei dem ein unter Druck im Wasser gelöstes Gas bei einer Druckverminderung (Entspannung) ausgast. Es wird das gleiche Prinzip genutzt, welches beim Öffnen einer Sprudelflasche zu beobachten ist. Die maximale Gaslöslichkeit in einer Flüssigkeit ist temperaturabhängig und verhält sich proportional zum Partialdruck des Gases über der Flüssigkeit. Diese physikalischen Grundlagen sind seit langer Zeit bekannt, doch in der Praxis hat sich gezeigt, dass die technische Umsetzung, in eine betriebsstabil funktionierende sowie wirtschaftlich arbeitende Mikroflotation, viel Erfahrung sowie Detailwissen erfordert.

2. Einfluss hoher Sättigungsgrade

Der Aufsättigungsvorgang ist ein kinetischer Prozess, welcher maßgeblich von der Phasengrenzfläche, der Turbulenz, der Strömungsführung sowie der Verweilzeit im Sättiger beeinflusst wird. Für den Grenzwert der Sättigung werden bei den üblicherweise eingesetzten Druckkesseln ca. 50 bis 90 % der maximalen Sättigungskonzentration angegeben [1, 2]. In der Regel werden Betriebsdrücke zwischen 5 und 7 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 Recyclevolumenstromes, die hydraulische Entlastung des Flotationsbeckens. Der Leistungsvergleich verschiedener Anlagen im Hinblick auf Recyclestromverhältnis und Recyclevolumenstrom ist, bezogen auf den Durchsatz, nur dann objektiv möglich, wenn der Sättigungsgrad berücksichtigt wird. Insbesondere da es heute unproblematisch ist, durch eine verfahrenstechnisch optimierte

Kombination von Düsensystemen und Mischrohren Sättigungsgrade von über 99 % zu erreichen und dabei lediglich mit Betriebsdrücken zwischen 2 und 4 bar zu arbeiten. Von Luftpneintragsverfahren sollte nach dem Stand der Technik ein Sättigungsgrad von mindestens 90 % verlangt werden [3].

3. Individuelles Gas-Feststoff-Verhältnis

Eine weitere wichtige Kenngröße zur Charakterisierung der Druckentspannungsflotation ist das Gas-Feststoff-Verhältnis, d.h. die Masse an Gas (Luft), die nach der Entspannung im

IHR PARTNER
FÜR VERBLÜFFENDE
LÖSUNGEN.

Vyon® Filtermaterial

Poröser Filterwerkstoff aus Polyethylen zum
Filtern · Belüften · Begasen · Schalldämpfen

WILHELM KÖPP ZELLKAUTSCHUK GMBH & CO.
Abt. Filtertechnik · Postfach 370123 · 52035 Aachen, Germany · www.koepp.de
E-Mail: info@koepp.de · T 0049 (0)241/166 05-0 · F 0049 (0)241/166 05-55

*** Roland Damann**
enviplan Ingenieurgesellschaft mbH
Dammstr. 21
D-33165 Lichtenau-Henglar
Telefon: +49 (0) 5292 9869-0
Fax: +49 (0) 5292 9869-10
E-Mail: mail@enviplan.de
www.enviplan.de

**** Oliver Stark**
STARK-CONSULT
Kleinherbder Str. 2a
D-58455 Witten
Tel.: +49 (0) 2302 5843-40
Fax: +49 (0) 2302 5843-41
Mail: info@stark-consult.de
www.stark-consult.de

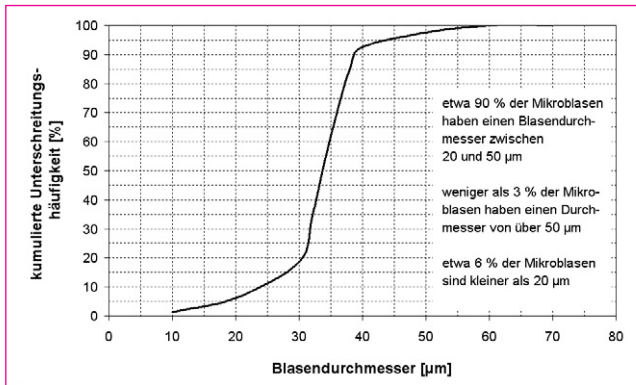


Abb. 1: Kumulierte Unterschreitungshäufigkeit des Gasblasendurchmessers bei der Mikroflotation

Flotationsbecken frei wird, bezogen auf die Masse an zugeführtem Feststoff. Die Gasmenge, die im Flotationsbecken als Gasblase zur Verfügung steht, ist von mehreren Faktoren abhängig [4], u. a. von:

- der Abwassertemperatur, die das thermodynamische Gleichgewicht im Sättiger angibt,
- der Druckdifferenz am Entspannungsventil,
- dem Sättigungsgrad des unter Druck angereicherten Wassers,
- und dem Recyclestromverhältnis (Je größer der Recyclestrom, desto mehr Gas kann zwar in das Abwasser eingetragen werden, desto größer ist allerdings auch die aufzubringende Energie. Je nach Abwasserbeschaffenheit, Feststoffgehalt, Größe und Dichte des Feststoffs sind Recycleverhältnisse von 0,3 bis 5 möglich. Üblich sind Recyclestromverhältnisse von 0,5 bis 2).

Das Gas-Feststoff-Verhältnis schwankt je nach Applikation in einem relativ breiten Bereich und lässt sich in grober Näherung ermitteln aus:

$m_A/m_S = 10 \times C$ mit: m_A/m_S dem Massenverhältnis in g Luft pro kg Feststoff

Der empirische Beiwert C hat den Wert:

- 1 - 2 bei Fettflocken,
- 2 - 4 bei Papierfasern,
- und 6 - 8 bei Hydroxidflocken.

4. Besondere Bedeutung der Gasblasengröße

Neben dem eingetragenen Gasstrom bezogen auf die Feststoffmenge, spielt die mittlere Größe der Gasblasen eine entscheidende Rolle für das Flotationsergebnis. Wie oben dargestellt, ist die im Wasser frei werdende Luftmenge abhängig vom Entspannungsdruck, der Temperatur und dem erreichten Sättigungsgrad. Diese Faktoren beeinflussen neben der konstruktiven Ausgestaltung der Entspannungsorgane – die mittlere Blasengröße sowie das Blasengrößen-

spektrum und damit die Aufstiegeschwindigkeit sowie die Kollisionsrate zwischen Feststoff und Gasblase [5]. 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 µm kann aufgrund der schnelleren Aufstiegeschwindigkeit und der daraus resultierenden Turbulenz den gesamten Flotationsvorgang empfindlich stören, da bereits bestehende Agglomerate aus Feststoff und Gasblasen wieder zerstört werden.

Die mittlere Blasengröße sowie das Blasengrößenspektrum nach der Entspannung sind von mehreren Faktoren abhängig:

- Abwassereigenschaften: Oberflächenspannung, Salzlast, Viskosität und pH-Wert,
- Druckdifferenz und Überströmungsgeschwindigkeit am Entspannungsventil,
- Sättigungsgrad des Wassers vor der Entspannung.

Die Blasengröße ist durch die vom Abwasser vorgegebenen stoffbedingten Einflussgrößen nur bedingt einstellbar. Die Bildung kleiner Gasblasen wird durch hohe Viskositäten und niedrige Oberflächenspannungen gefördert. Bei pH-Werten unterhalb von 5 ist eine signifikante Vergrößerung des mittleren Gasblasendurchmessers festzustellen. Im sauren Bereich ist der Einfluss einer pH-Wert-Erniedrigung durch Salze von starken Säuren auf die Blasengröße noch ungünstiger, als die pH-Wert-Einstellung durch reine Säuren. Hohe Sättigungsgrade

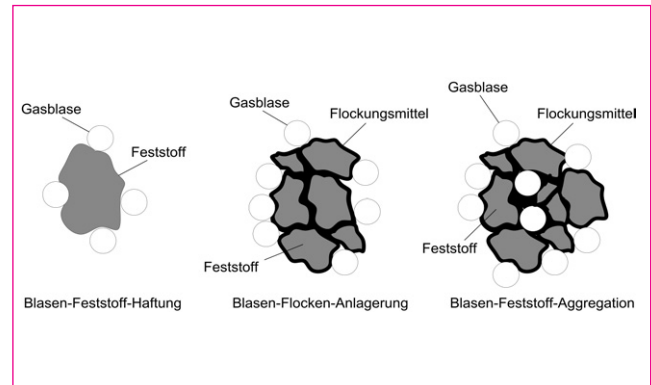


Abb. 2: Schematische Darstellung der Blasen-Feststoff-Haftmechanismen

und vergleichsweise niedrige Überströmungsgeschwindigkeiten von 15 bis 40 m/s bei turbulenter Strömung fördern die Bildung kleiner Gasblasen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die bei der Entspannung des Wassers auftretende Übersättigung mit Gas sich spontan in der Ausbildung von Mikroblasen bemerkbar macht, so dass das überschüssige Gas in Form von Gasblasen vorliegt.

Die konstruktive Ausgestaltung der Entspannungsorgane liegt im besonderen Know-how des Anlagenbauers [6]. Die Untersuchungen von [7] bestätigen, dass das verwendete Entspannungsventil von entscheidender Bedeutung auf das zu erzielende Blasengrößenspektrum 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 – 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 µm auf 50 µm 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 µm aus, wobei etwa 70 % der Bläschen eine Größe zwischen 30 und 40 µm haben (siehe Abbildung 1). Gasblasen dieser Größe werden häufig auch als Mikroblasen bezeichnet. An dieser Stelle wird erneut deutlich, dass bei gleichem Energieeintrag jedoch besserem Wirkungsgrad bzw. Sättigungsgrad des Begasers, die Feststoffabtrennung durch Flotation effektiver wird.



5. Wechselseitige Beziehung zwischen Gasblase und Feststoffteilchen

Durch Haftungsvorgänge 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 Aufstiegs geschwindigkeit 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 Haftungsvorgänge bzw. der Phasenkontakt günstig beeinflusst durch [8]:

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

Bei hydrophoben Oberflächen entsteht ein großer Randwinkel, d.h. die Luft lagert sich auf einer großen Fläche an den Stoff an und kann entsprechend gut haften. Das Verbleiben der Blasen (auch an hydrophilen Oberflächen) ist außer vom Randwinkel jedoch noch von der Hydrodynamik der Suspension (geringe Scherung) und der Aufstiegs geschwindigkeit der Gasblasen (kleiner Blasendurchmesser) abhängig. Randwinkelmessungen sind unter den bei der Flotation auftretenden Bedingungen kaum möglich. Alternativ nutzt man die Bestimmung der elektrischen Oberflächenladung, dem so

Tabelle 1:

Blasengröße	μm	20	40	50	100	200	1000
Aufstiegs geschwindigkeit	m/h	1	3	5	20	58	720
Aufstiegs geschwindigkeit	cm/s	0.03	0.08	0.14	0.56	1.6	20

genannten Zeta-Potenzial, zur Beurteilung der Qualität der Flockenstabilität und damit der Flotierbarkeit [3]. Bei weniger hydrophoben oder bei hydrophilen Stoffen kann durch Zugabe von Flockungshilfsmitteln die gewünschte Hydrophobie erreicht werden, indem die Grenzflächenspannung zwischen Feststoff und Wasser und damit auch der Randwinkel erhöht wird. Durch die Erhöhung der Grenzflächenspannung wird meist auch eine Flockulation der Feststoffe hervorgerufen, da sich mit zunehmender Grenzflächenspannung die Grenzfläche verringert. Die Vorgänge der Hydrophobie und Flockenbildung sowie der Blasenhaftung sollten daher immer in ihrer Gesamtheit betrachtet werden.

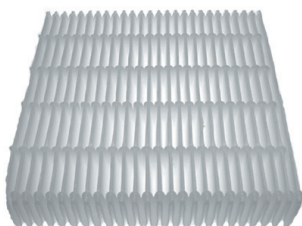
Es kann festgehalten werden, dass sich die Flotierbarkeit von Feststoffteilchen mit den Oberflächeneigenschaften, der Struktur- und Größenverteilung sowie der Dosierung von Chemikalien ändert. Hydrophobe Feststoffoberflächen und relativ große, vernetzte Feststoffteilchen können sehr einfach flotiert werden [8]. Diese Zusammenhänge sind in der einschlägigen Fachliteratur zur industriellen Abwasserbehandlung [9, 10, 11, 12] hinreichend beschrieben und werden daher hier nicht weiter vertieft.

Die Aufstiegs geschwindigkeit bei einer Temperatur von 20 °C für Luftbläschen mit einer Größe von 70 μm beträgt 9,6 m/h. In Tabelle 1 sind die Aufstiegs geschwindigkeiten für verschiedene Luftbläschengrößen bei 20 °C dargestellt.

Eigene Untersuchungen sowie die Messung der Übersättigungskonzentration nach der Entspannung sowie die spezifisch freiwerdende Luftmenge in Form von Luftblasen durch [13] zeigen (siehe Tabelle 1).

- Die Blasenbewegung findet hauptsächlich im linearen Bereich nach Stokes statt (bis $d = 107 \mu\text{m}$ gilt $Re \leq 1$), mit Blasen aufstiegs geschwindigkeiten $< 1 \text{ cm/s}$.
 - Eine homogene Keimbildung ist gänzlich auszuschließen.
 - Eine heterogene Keimbildung ist vorhanden, jedoch muss hier nach der Art der Keimstelle unterschieden werden.
 - Für die heterogene Keimbildung scheinen nur die Vertiefungen an den Phasengrenzflächen fest – flüssig in Betracht zu kommen.
 - Die Restübersättigung (Endkonzentration) steigt mit der Anzahl an gebildeten Blasen.
 - Je kleiner das Blasenspektrum ist, desto höher ist die Restübersättigung.
 - Der Innendruck einer Blase ist gegenüber dem äußeren Flüssigkeitsdruck erhöht. Dementsprechend tritt nach dem Henry-Gesetz eine Restübersättigung auf, da der erhöhte Partialdruck innerhalb der Blase mit der Flüssigkeit im Gleichgewicht stehen muss.
 - Entgegen den Erfahrungen in der Wärmeübertragung ist ein Rauigkeitseinfluss der Ventileinbauten bei der Entspannung nicht nachvollziehbar. Der Grund hierfür liegt vermutlich in den hohen Überströmgeschwindigkeiten des Ventils.
 - Der Wirkungsgrad der Flotationsanlage wird durch die Vermischung von Abwasser und Dispergierstrom beeinflusst.
- Ein universales Mischsystem für alle zu behandelnden Abwässer gibt es nicht. Spezielle Ausbildungen werden notwendig, den Einmischbereich der Flotationsanlage dem jeweilig zu behandelnden Abwasser anzupassen. Ausschlag-

Die Luft ist rein!



- Entwicklung, Fertigung und Prüfung von Feinstaub- und HEPA - Filtern
- Filterklassen F 6 - F 9 und H 10 - H 14
- für Staubsauger, Luftreiniger, Klimageräte



Domotechnica Köln, 13. - 16.02.2006, Halle 11.2, Stand D 41

Riensch & Held GmbH & Co. KG, Hans-Duncker-Str. 1, D - 21035 Hamburg
Tel.: +49-40-734 24 - 121, Fax: +49-40-734 24 - 160, info@riensch.de, www.riensch.de



gebend für die Gestaltung sind die Art der zu flotierenden Partikel und die Stabilität der Flotatdecke.

6. Ergebnisse aus der Praxis

Mikroflotationen werden in der Abwassertechnik in vielen Bereichen für die Abtrennung von Textil- und Papierfasern, Belebtschlamm, mineralischer, pflanzlicher und tierischer Öle und Fette, Flocken, Staub, pflanzlicher und tierischer Zellverbände, kolloidaler Stoffe, Tenside eingesetzt. Die Druckentspannungsflotationsverfahren im Niederdruckbereich sind somit für Feststoffe unterschiedlichster Art und Struktur geeignet, deren Abtrennung beispielsweise auf Grund der Dichte, der Größe oder der Konsistenz durch Sedimentation, Zentrifugation oder Filtration nicht, schwierig oder nur mit hohem technischen Aufwand möglich ist. Dabei kann das Ziel der Mikroflotation in der Abwasserreinigung sowohl im Sinne einer Schmutzlastverminderung, als auch in dem Gewinn von rezirkuliertem Prozesswasser oder verwertbarem suspendierten Inhaltstoffen liegen.

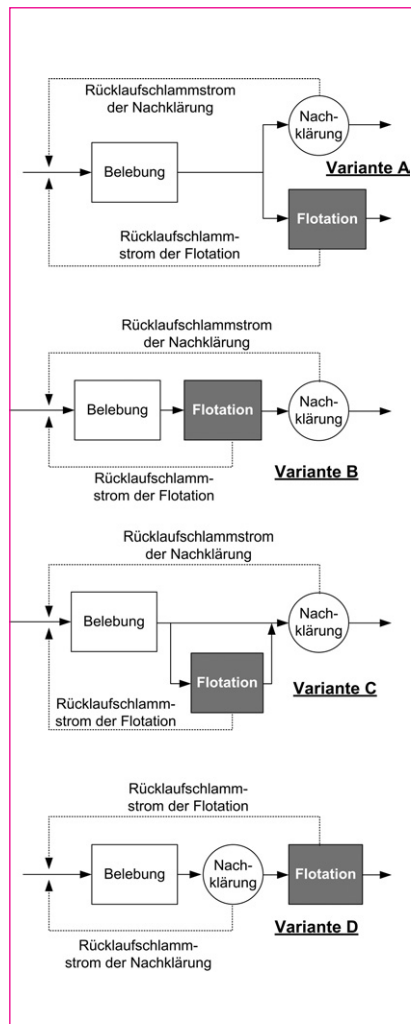


Abb. 3: Verfahrensvarianten für den Einsatz der Mikroflotation im Rahmen der biologischen Abwasserbehandlung

Neben der mechanischen Vorbehandlung ist der Einsatz der Mikroflotation in der biologischen Abwasserbehandlung an verschiedenen Stellen der Prozesskette denkbar (vgl. Variante A bis D in Abb. 3). Nachfolgend werden in stark verkürzter Form die mehrjährigen Betriebsergebnisse von drei großtechnischen Anwendungen dargestellt:

Beispiel 1:

Abtrennung von Biomasse nach einer kommunalen Tropfkörperbiologie

Zulaufmenge Mikroflotation:	800 m ³ /h
Druckwassermenge:	150 m ³ /h
Betriebsdruck:	ca. 3,5 bar
Energiebedarf pro m ³ Abwasser:	0,080 kWh
Abfiltrierbare Stoffe im Zulauf:	ca. 520 mg/l
Abfiltrierbare Stoffe im Ablauf:	ca. 1 mg/l
CSB Konzentration im Zulauf:	ca. 480 mg/l
CSB Konzentration im Ablauf:	< 15 mg/l

Beispiel 2:

Schönung des Ablaufs der Nachklärung in einer biologischen Kläranlage der chemischen Industrie.

Zulaufmenge Mikroflotation:	2.400 m ³ /h
Druckwassermenge:	80-135 m ³ /h
Betriebsdruck:	ca. 3,0 bar
Energiebedarf pro m ³ Abwasser:	0,0075 kWh
Abfiltrierbare Stoffe im Zulauf:	20-500 mg/l
Abfiltrierbare Stoffe im Ablauf:	10-20 mg/l

Wird eine Mikroflotation zur Abtrennung von Biomasse eingesetzt, besteht der Vorteil, dass das Flotat (hier Belebtschlamm) gleichzeitig entwässert wird. Wie nachfolgend dargestellt, kann die Mikroflotation jedoch auch direkt zur Überschussschlamm eindickung eingesetzt werden.

Beispiel 3:

Überschussschlamm eindickung in einer kommunalen Kläranlage.

Zulaufmenge Mikroflotation:	900 m ³ /h
Druckwassermenge:	450 m ³ /h
Betriebsdruck:	ca. 3,0 bar
TS-Gehalt im Zulauf:	3-4 g/l
TS-Gehalt im Ablauf:	50-60 g/l
Energiebedarf pro m ³ Abwasser:	< 0,132 kWh

In der Planungsphase für die Schönung des Ablaufs der Nachklärung in der o. g. Industriekläranlage, wurden durch das Industrieunternehmen Versuche zum Rückhalt abfiltrierbarer Stoffe durchgeführt. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Sandfiltration (rückspülbarer Mehrschichten-Schüttgutfilter) im Vergleich zu den Ergebnissen der Mikroflotationsversuche.

Betrachtet man den 85%-Wert der zeitlichen Unterschreitungshäufigkeit wird ersichtlich, dass der Wirkungsgrad hinsichtlich der Abtrennung abfiltrierbarer Stoffe bei der Sandfiltration 49,4 % und bei der Mikroflotation 88,5 % beträgt.

Nach der Installation der Mikroflotationsanlage zur Schönung des Ablaufs der Nachklärung in der Industriekläranlage wurden großtechnisch umfangreiche Belastungstests durchgeführt. Aus Abbildung 5 wird ersichtlich, dass über einen Zeitraum von 80 Tagen die Zulaufkonzentration abfiltrierbarer Stoffe kontinuierlich gesteigert wurde und die Ablaufkonzentration der Mikroflotation jedoch zu keinem Zeitpunkt über 6 mg/l lag.

7. Zusammenfassung

Die Druckentspannungsflotationen im Niederdruckbereich sind durch wesentliche konstruktive Modifikationen in den vergangenen Jahren wesentlich effektiver geworden, sowohl in der Leistung als auch im Wirkungsgrad. Die Sättigungsgrade moderner Drucksättiger liegen im Grenzbereich nahe 100 %. Speziell angepasste Entspannungsventile garantieren ein homogenes sowie enges Blasenspektrum im Bereich 20 - 50 µm. Durch abwasserangepasste Einstromwinkel des Abwasser- und Recyclestromes werden hydraulische Turbulenzen vermieden. Die Gasblasenintensität, bezogen auf die Auftriebsgeschwindigkeiten der Gasblasen, kann an die spezifischen Charakteristika der Abwässer angepasst werden. Sich automatisch reinigende Luftsättigungsaggregate verhindern Verstopfungen und damit betriebsbedingte Flotatschlamm ausschwemmungen im Klarlauf. Alle diese Entwicklungen ermöglichen heute neben hoher Betriebssicherheit und energetisch günstiger Betriebsweise den Einsatz sehr kompakter Mikroflotationsanlagen. Druckentspannungsflotationen im Niederdruckbereich weisen für viele Anwendungen in der industriellen sowie kommunalen Abwasserbehandlung in technischer sowie ökonomischer Hinsicht, im Vergleich mit anderen Fest/Flüssigtrennverfahren wie der Sedimentation, der Sandfiltration und der Membrantechnik, deutliche Vorteile auf.

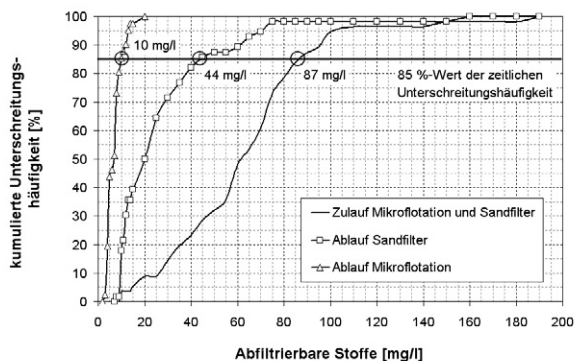


Abb. 4: Ergebnisse parallel betriebener Sandfiltrations- und Mikroflotationsversuche

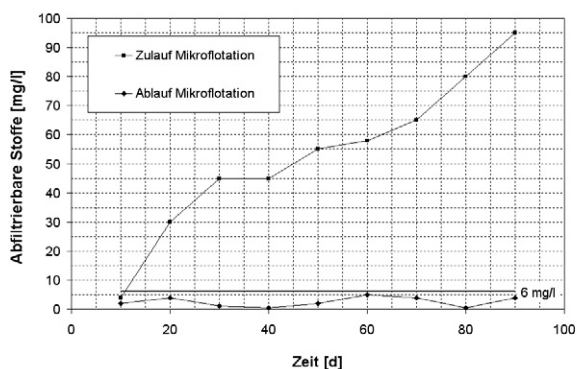


Abb. 5: Ergebnisse eines großtechnischen Belastungstests

8. Literatur

- [1] Kleinert, P.: Neuere Entwicklungen bei Flotationsverfahren in der Abwasserreinigung und Schlammverdickung, in: Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Bd.38. R. Oldenburg Verlag, München 1984.
- [2] Köhler, R.: Technologie und Anwendung der Entspannungs-Flotation in der Abwasserreinigung. Wasser, Luft und Betrieb, 19, 1975.
- [3] ATV-Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses 2.5, Feststoffabtrennung durch Entspannungsflotation, Hennef, 1999.
- [4] Hempel, Dietmar, Abwassertechnik in der Produktion Bd.2, 1992, VK Fachverlage.
- [5] Harisch, B.: Die wirtschaftliche Anwendung der Flotation mit sehr kleinen Luftblasen zur Reinigung von Abwasser, Kommissionsverlag Oldenburg, München 1960.
- [6] Patente DE 3501 175 C2, EP 208696, US 4 735 750, N 51760-SS-863684, CAN 571 069-3. Fa. Enviplan-Ingenieurgesellschaft, Lichtenau-Henglar, Westfalen.
- [7] Benoit, H.: Anwendung der Entspannungsflotation bei der Abwasserreinigung in der chemischen Industrie, in: Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung. Preprints GVC-Diskussionstagung, Baden-Baden 1988.
- [8] Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V., VDMA-Einheitsblatt, VDMA 24430, 2001.
- [9] Neis, U.: Flotation: Möglichkeiten, Verfahren, Wirtschaftlichkeit, Institut für Siedlungswasserwirtschaft Universität Karlsruhe, Fortschritte bei der Anwendung des Flotationsverfahrens in der kommunalen Abwasserreinigung, 1981, Bd. 25 - 62.
- [10] Hahn, H. H.; Mihopoulos, J.: Anwendung der Entspannungs- und Elektroflotation in der Abwassertechnik, gekoppelt mit dem Flockungsprozeß, in: Neue Entwicklungen in der Flotation, Heft 66 der Schriftenreihe der GDMB, Clausthal Zellerfeld.
- [11] Edzwald, J.; Kwingler, B. J.: Chemical and physical aspects of dissolved-air flotation for the removal of algae, Aqua, Vol. 39, 1990.
- [12] Wark, J. W.: The physical chemistry of flotation: The significance of the contact angle, in J. Physical Chemistry, Vol. 47, 1960.
- [13] Breidenbach, M.: Untersuchung über Möglichkeiten der Einflussnahme auf das Entspannungsverhalten von Ventilen bei der Flotation, Diplomarbeit, Uni-GH Paderborn, Techn. Chemie und chem. Verfahrenstechnik, 1991.

ACHEMA 2006

Frankfurt am Main · May 15–19

World Forum
of the Process Industries

**"I trust in
Chemistry
Markets"**

EXHIBITION GROUPS

Research and Innovation ·
Engineering, Plant Design and
Construction · Mechanical and
Thermal Processes · Laboratory
and Analytical Techniques ·
Instrumentation, Control and
Automation · Pumps, Compres-
sors, Valves and Fittings · Pharma-
ceutical Technology · Packaging
and Storage Techniques · Mate-
rials Technology · Industrial and
Labour Safety · Biotechnology ·
Environmental Protection

**INTERNATIONAL CON-
GRESS** with more than 800
lectures and special events

SPECIAL SHOW Innovative
Service Concepts · Chemical Lo-
gistics · Supply Chain Manage-
ment · Chemical Parks · Contract
Production

www.achema.de