

Dipl.-Ing. Horst Bennoit, Steinbeis-Transferzentrum, Meschede

Prof. Dr.-Ing. Claus Schuster, Universität-GH Paderborn

Fortschritte des Flotationsverfahrens in der Abwassertechnik und Schlammbehandlung

1. Einleitung

Die Flotation ist ein wichtiges Grundverfahren der mechanischen Flüssigkeitsabtrennung, das im Bereich der Abwassertechnik und Schlammbehandlung immer häufiger erfolgreich eingesetzt wird. Dabei unterscheidet man je nach Gasblasengröße und der Art ihrer Erzeugung die Begasungs-, Elektro- und Entspannungsflotation. Von diesen Verfahren werden mit der Entspannungsflotation in der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung die besten Ergebnisse erzielt.

Bild 1 zeigt eine klassische Abwasserreinigungsanlage in der chemischen Industrie, bestehend aus einer physikalisch-chemischen Behandlung, einer mechanischen Vorklärung und einer biologischen Reinigung des Abwassers in Hoch-Reaktoren. In einer solchen Anlage gibt es grundsätzlich vier Möglichkeiten für den Einsatz einer Flotation, nämlich als Alternative zur Sedimentation bei der Vor- und Nachklärung des Abwassers sowie der 3. Reinigungsstufe und Eindickung des Schlammes. Im vorliegenden Referat wird insbesondere nach einem kurzen Überblick über den neuesten Stand der Grundlagen zur Entspannungsflotation auf die Leistungsfähigkeit des Verfahrens bei der Schlammeindickung eingegangen.

2. Grundlagen der Entspannungsflotation

2.1 Allgemeiner Überblick

Bei der Entspannungsflotation wird das Abwasser oder ein Teilstrom des Klarwassers in der Regel bei einem Druck von 4 bis 6 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 aus. Die Gasblasen bilden in der Kontakt- und Mischzone mit dem Feststoff ein Agglomerat, das an die Oberfläche des Beckens steigt. Der flotierte Feststoff wird dann durch eine geeignete Räumvorrichtung abgenommen und ausgeschleust.

Für den erfolgreichen Einsatz dieser Technologie müssen folgende Kernstücke der Entspannungsflotation beachtet werden (vgl. Bild 2):

- Hohe Luftsättigung von Abwasser und Druckwasser
- Erzeugung einer optimalen Gasblasenspektrums
- Anlagerung der Gasblasen an die Feststoffteilchen
- Geometrie und Strömungsstruktur des Flotationsbeckens

2.2 Begasungssysteme

Die Luftzugabe zum Abwasser und Druckwasser kann durch Einblasen in ein Mischrohr oder in eine Mehrphasenpumpe, mit Hilfe einer Blasensäule oder eines Abstromreaktors, über einen Injektor oder in einen Druckkessel erfolgen. Durch eine Kombination der verschiedenen Systeme ist es möglich mit geringem Energieverbrauch den erfolgreichen spezifischen Lufteintrag zu erzielen. Die Systeme können sowohl bei der Vollstrom-, Teilstrom- als auch bei der Klarwasserbelüftung eingesetzt werden. Erklärung von Bild 3.

2.3 Gasblasenspektrum

Bei der Entspannungsflotation liegt die Gasblasengröße normalerweise im Bereich eines mittleren Durchmessers von 40 bis 60 μm . Unsere experimentellen Untersuchungen mit einer Druckwassermenge bis 20 m^3/h haben ergeben, dass im Allgemeinen die Bildung von feinen Gasblasen mit steigendem Sättigungsdruck und niedriger Oberflächenspannung gefördert wird, wie aus dem Bild 4 zu ersehen ist. Von entscheidender Bedeutung auf das erzielte Gasblasenspektrum sind aber auch die eingesetzten Entspannungsarmaturen. Hierzu stehen Ventile, Düsen und Blenden-Regelschieber zur Verfügung.

2.4 Anlagerung der Gasblasen

Die Anlagerung der Gasblasen an die Feststoffteilchen und Mikroorganismen kann bekanntlich durch folgende Mechanismen erfolgen (vgl. Bild 5):

- Haftvorgänge über elektrostatische und chemische Bindungen
- Einlagerung und Einbau von Gasblasen in die Gefüge von Flocken
- Entstehen von Gasblasen auf der Oberfläche von Feststoffen

Diese komplizierten Anlagerungsmechanismen können von der Oberflächeneigenschaften und Ladungsverhältnissen der Teilchen bzw. Mikroorganismen beeinflusst werden. Das Trennergebnis einer Flotationsanlage ist meistens bei einem Ladungsausgleich der Feststoffteilchen am besten. Dieser wichtige Einflußparameter für die Trennprozesse in der Abwasserreinigung soll am Beispiel von Belebtschlamm und Faulschlamm-Zentrat erläutert werden. Das Zeta-Potential von Belebtschlamm liegt normalerweise zwischen -6 und -10 mV, In diesem Bereich wird eine kompakte Flocke mit einem Schlammindex von ≤ 100 ml/g erreicht. Liegt das Zeta-Potential außerhalb dieses Bereichs, so verschlechtern sich die Schlammeigenschaften. Wie aus Bild 6 zu ersehen ist, weist der belebte Schlamm in diesem Beispiel einen hohen Anteil von 60 % mit einem Zeta-Potential von -6 mV auf. Weiterhin erkennt man einen Anteil von 40 %, der eine Ladung von $+2$ mV besitzt. Dieser nicht zu vernachlässigende Anteil wird durch die hohe positive Ladung der Zentrates bewirkt, die aus der Schlammbehandlung in die Belebung geleitet werden. Dieser Anteil der positiven Ladung ist für die Probleme bei der Flockenbildung in der Nachklärung verantwortlich.

2.5 Dimensionierung der Entspannungsflotation

In der Praxis erfolgt die Dimensionierung der Flotationsbecken sowohl auf der Basis der Klärflächenbeschickung bzw. –belastung als auch der Durchflutzeit. Die Durchflußzeit sollte für einen sicheren Trennprozeß mindestens für kleine Anlagen 15 min und für Großanlagen 30 min betragen. Bei der Klärflächenbeschickung muß man beim Vergleich mit der Sedimentation folgende unterschiedliche Definitionen beachten (vgl. Bild 7):

- Hydraulische Flächenbeschickung
- Abwasser-Flächenbeschickung
- Feststoff-Flächenbelastung

Die Bemessungsgrößen sind von der Steig- und Horizontalgeschwindigkeit des Gasblasen-Feststoff-Komplexes sowie von der Strömungsstruktur im Flotationsbecken abhängig. Sie können durch die Steuergrößen wie Sättigungsdruck und Druckwassermenge beeinflusst werden.

Die Bestimmung der Steiggeschwindigkeit des Gasblasen-Feststoff-Komplexes kann mit Hilfe einer diskontinuierlichen Flotationsapparatur bestimmt werden. Sie sollte bei der Abtrennung und Eindickung von Feststoffen bzw. Belebtschlamm aus dem Abwasser zwischen 10 und 40 m/h liegen. Von entscheidender Bedeutung für die Dimensionierung von Großanlagen, d.h. Anlagen mit einer Klärfläche $> 10 \text{ m}^2$, ist die zulässige Horizontalgeschwindigkeit. Sie kann nicht mit kontinuierlichen Versuchsanlagen von einigen Quadratmeter Klärfläche bestimmt werden.

3. Hochleistungsverfahren zur Schlammeindickung

3.1 Beschreibung der Betriebsanlage

Nach diesem kurzen Überblick über die wichtigsten Grundlagen der Entspannungsflotation soll ein neues Verfahren zur Eindickung von Überschussschlamm vorgestellt werden. Ziel der Verfahrensentwicklung war eine Anlage mit möglichst geringem Flockungsmittel- und Energieverbrauch bei gleichzeitig hoher Leistung. Wie aus Bild 8 zu ersehen ist, tritt der Überschussschlamm mit einer Menge von 140 bis 400 m³/h und einem Feststoffgehalt von 6 bis 15 g/l mit 200 m³/h Zentrat aus der Schlammbehandlung in Flotationsanlagen ein.

Die vollautomatische Flotationsanlage besteht aus zwei Aufbereitungslinien mit je einem Flotationsbecken von 70 m² Klärfläche. Die Flotationsanlage ist mit einer Vollstrom- und Klarwasserbelüftung ausgestattet. Anschließend wird der eingedickte Schlamm einer Dekantierzentrifuge zugeführt und in dieser auf einen Trockenstoffgehalte von ≥ 8 Gew.% aufkonzentriert. Der Dickschlamm wird mit dem Vorklärschlamm gemischt und den Faultürmen zugeführt.

3.2 Betriebsergebnisse der Flotationsanlage

Bild 9 zeigt die Betriebsergebnisse über einen größeren Zeitraum. Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, wird bei einem Feststoffgehalt im Flotationszulauf von 5 bis 8 g/l und einer Schlamm-Flächenbeschickung von 4,5 m³/m²h eine Feststoff-Flächenbelastung von 30 kg/m²h erzielt. Im Vergleich zum bisherigen Stand der Technik bedeutet das die 3fache Flotationsleistung. Besonders zu beachten ist dabei, daß nur eine Druckwasserzugabe von 30 bis 40 %, bezogen auf den Flotationszulauf, erforderlich ist. Der erforderliche spezifische Lufteintrag von 10 bis 15 g Luft/kg Feststoff wird teilweise durch die energetisch günstige Vollstrombelüftung realisiert.

Besonders deutlich wird das Leistungsvermögen der Flotationsanlage, wenn man den Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen im Flotatwasser über der Feststoff-Flächenbelastung aufträgt. Hierzu gibt Bild 10 einen anschaulichen Überblick. Selbst bei der maximalen Feststoff-Flächenbelastung von 30 kg/m²h wird der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen im Flotatwasser von 60 mg/l nicht überschritten. Der Flockungsmittel-Verbrauch beträgt hierbei $\leq 0,3$ kg/t TS.

Unter diesen Betriebsbedingungen ist der Flotatschlamm auf eine optimale Feststoffkonzentration von 30 bis 35 g/l für die Dekantierzentrifuge eingestellt.

3.3 Betriebsergebnisse der Zentrifugenanlagen

Die eingesetzten Dekantierzentrifuge ist für einen Durchsatz von 70 m³/h Schlamm mit einem ausgetragenen Trockenstoffgehalt im Feststoff von 8 bis 10 Gew.% dimensioniert. Interessanterweise wird trotz des höheren Feststoffgehalts im Zulauf der Dekantierzentrifuge als üblich, der Flockungsmittel-Verbrauch von 0,9 bis 1,4 kg/t TS auf die Hälfte reduziert. Die Ursache hierfür beruht darauf, dass bei der maschinellen Eindickung von Überschussschlamm der Flockungsmittel-Verbrauch als Antischleppmittel sowohl bei der niedrigen als auch bei der hohen Feststoffkonzentration im Dekanterzulauf konstant ist.

3.4 Energieverbrauch der Betriebsanlage

Der Energieverbrauch zur Eindickung des Überschussschlammes liegt bei den maschinellen Trennverfahren natürlich wesentlich höher als bei der statischen Eindickung. Jedoch bei annähernd gleicher Eindickung und somit unter vergleichbaren Verhältnissen hat das Flotationsverfahren im Allgemeinen den geringsten spezifischen Energiebedarf. Bild 11 zeigt den Energieverbrauch der Anlage für 320 m³/h Überschussschlamm, d. h. für die maximale Belastung einer Aufbreitungslinie. Wie aus dem Bild zu ersehen ist, beträgt der spezifische Energieverbrauch für die Flotation 125 W/m³ und für die Zentrifugation 1200 W/m³. Daraus ergibt sich für die Überschussschlamm-Eindickung ein Gesamtenergieverbrauch von 390 W/m³.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ich das neue Hochleistungsverfahren zur Eindickung von Überschussschlamm durch folgende Vorteile auszeichnet:

- Hohe Flexibilität der Anlage bei sich ändernden Betriebsbedingungen durch Steuerung der Druckwassermenge der Flotationsanlage
- Geringer Feststoffgehalt im Flotationswasser bei gleichzeitigem hohem Trockenstoffgehalt im Dickschlamm
- Geringe Rückbelastung der biologischen Reinigungsstufe durch Feststoffe und insbesondere Restpolymere in den Zentraten
- Niedrige Investitions- und Betriebskosten durch hohe Leistung der Anlage bei geringem Flockungsmittel- und Energiebedarf

Schwerpunkt künftiger Entwicklungsarbeiten ist eine weitere energetische Verbesserung der Druckwassererzeugung bei der Flotation sowie die Anwendung der Entspannungsflotation als Nachklärung in der Belebungsanlage.

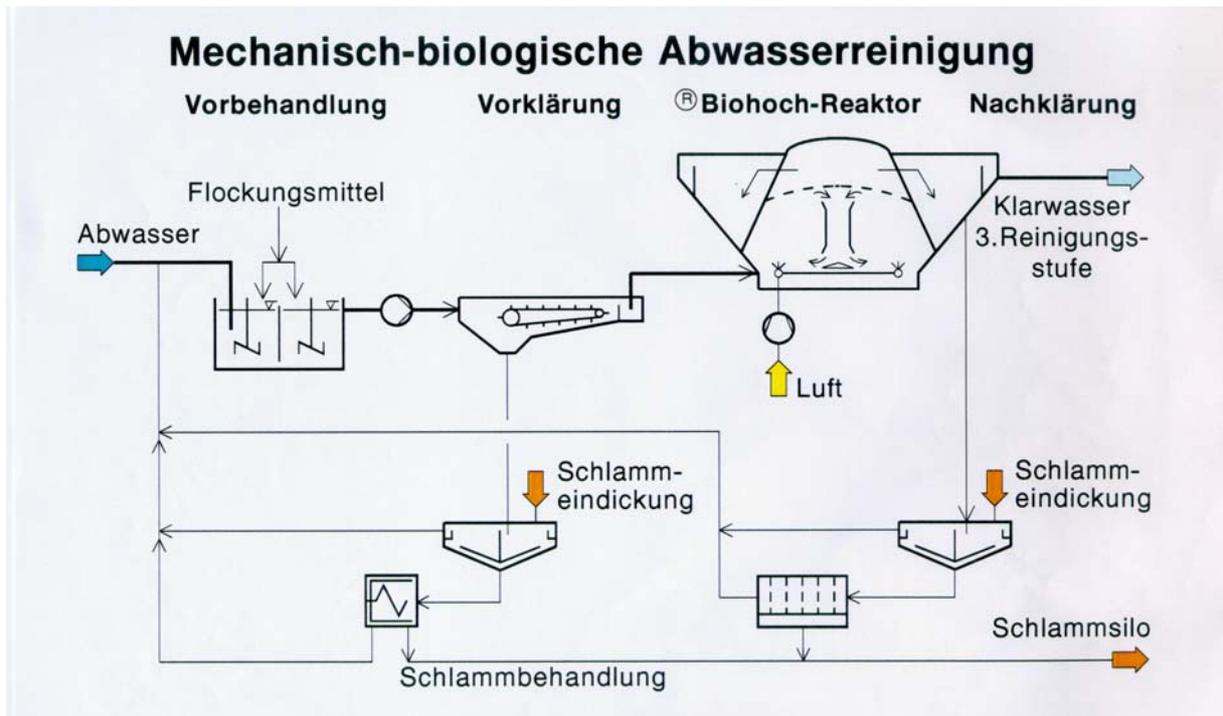


Bild 1: Mechanisch-biologische Abwasserreinigung

Entspannungsflotation

Verfahrensfließbild und Kernstücke

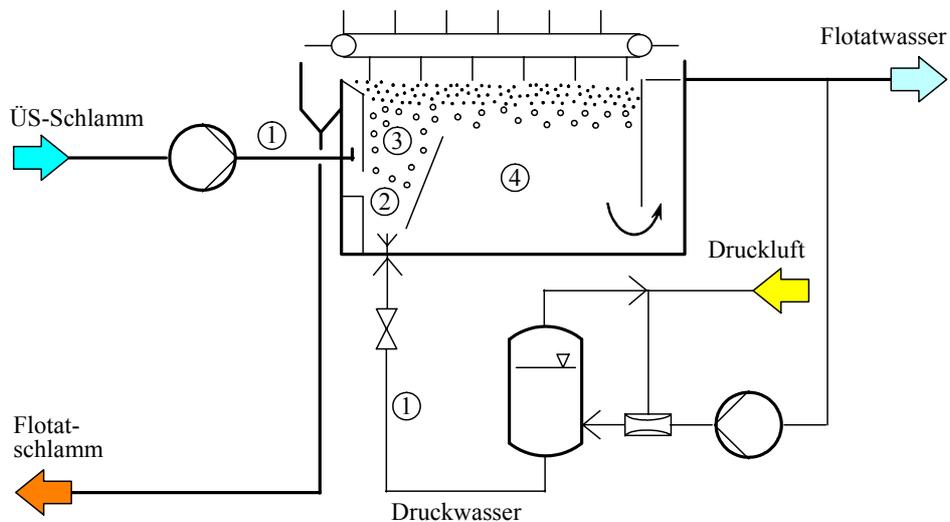


Bild 2: Kernstücke der Entspannungsflotation

Begasungssysteme für die Flotation

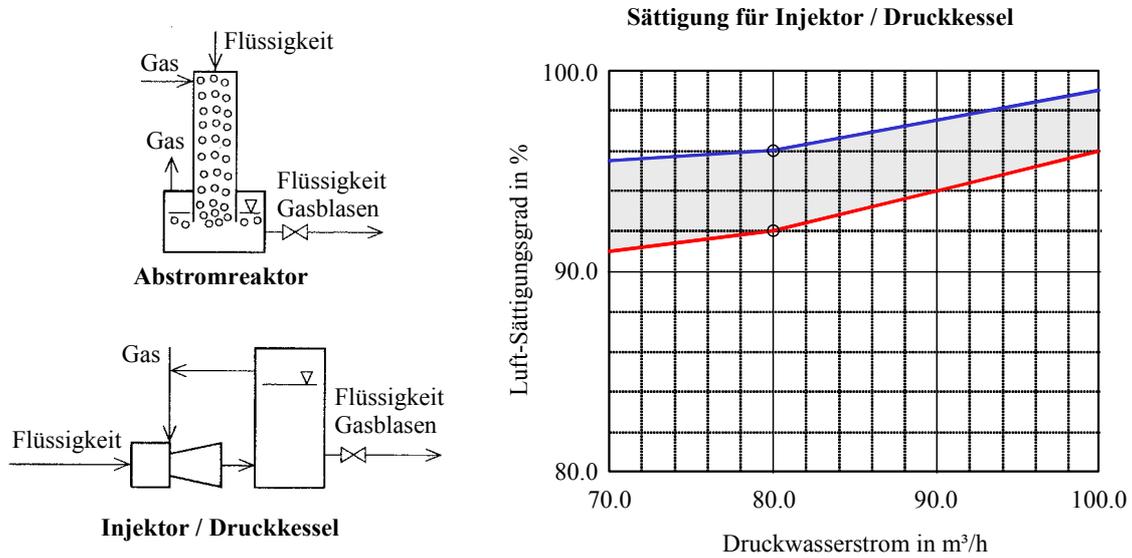


Bild 3: Begasungssysteme für die Flotation

Luftblasendurchmesser Abhängigkeit vom Sättigungsdruck

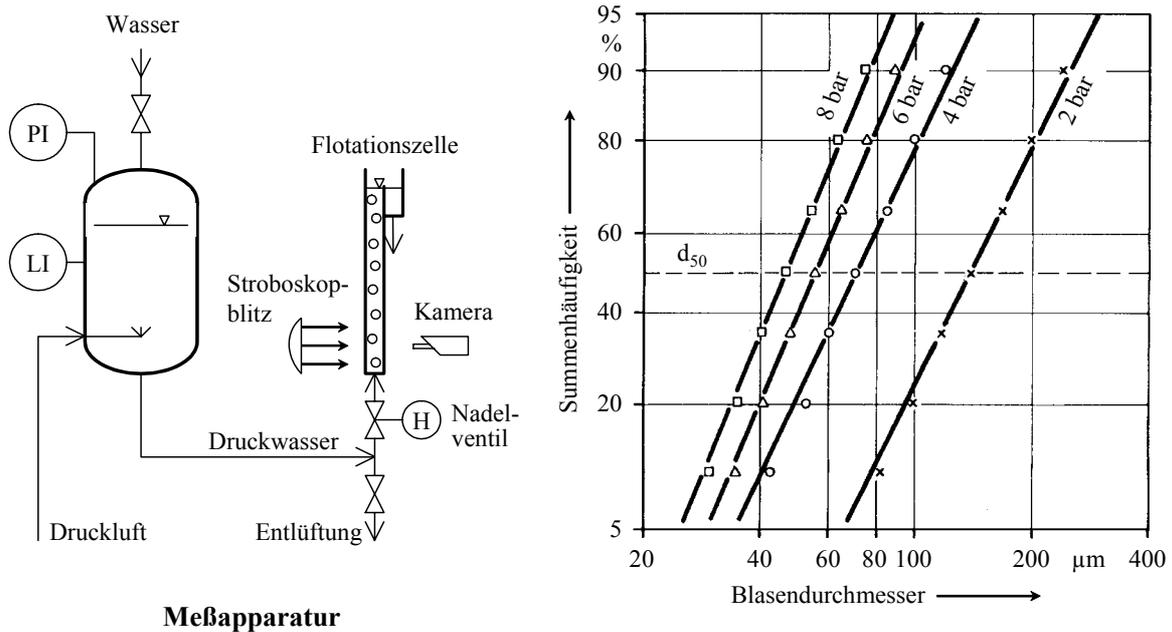


Bild 4: Luftblasendurchmesser in Abhängigkeit vom Sättigungsdruck

Anlagerung von Gasblasen an Feststoffe unterschiedlicher Struktur

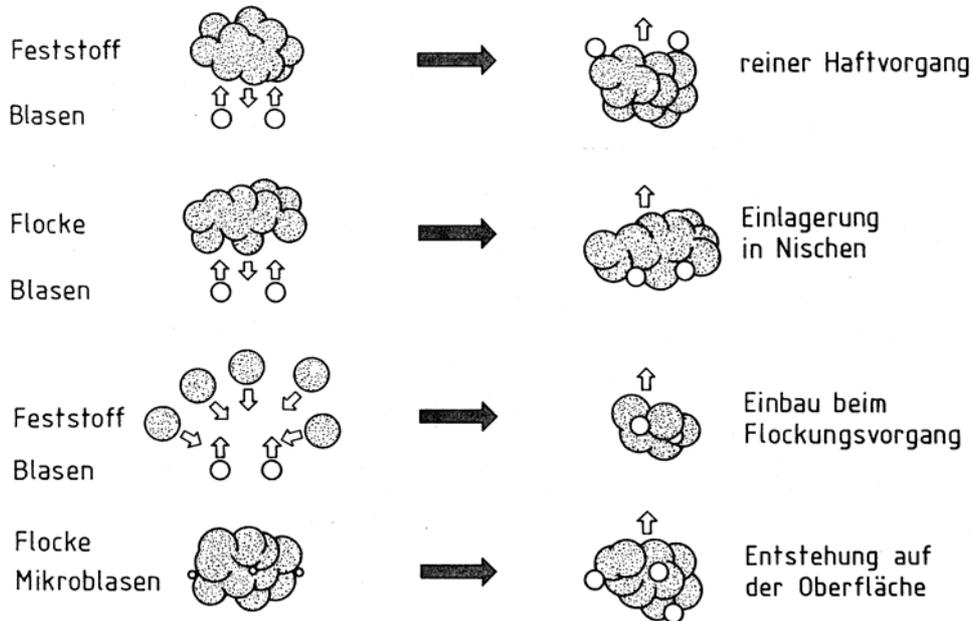


Bild 5: Anlagerung der Gasblasen an Feststoffe

Oberflächenladung der Feststoffe Überschußschlamm und Faulschlamm-Zentrat

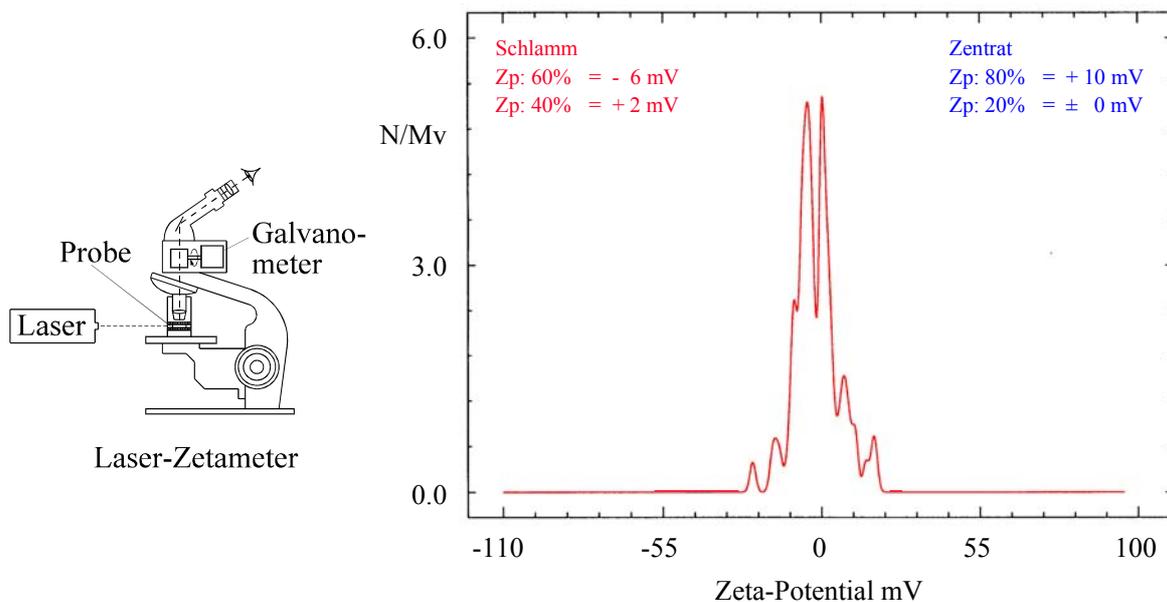
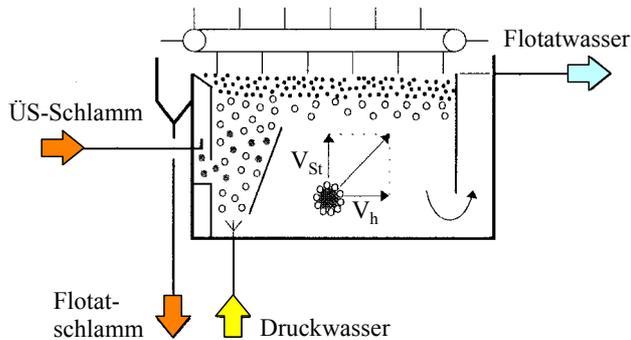


Bild 6: Oberflächenladung der Feststoffe im Schlamm und im Zentrat

Entspannungsflotation

Strömungsstruktur und Flächenbeschickung



- Steiggeschwindigkeit V_{St}
- Horizontalgeschwindigkeit V_h
- Strömungsstruktur

- Hydraulische Flächenbeschickung
- Schlamm-Flächenbeschickung
- Feststoff-Flächenbelastung

Bild 7: Strömungsstruktur und Flächenbeschickung bei der Flotation

Eindickung von Überschussschlamm

Flotation und Dekantierzentrifuge

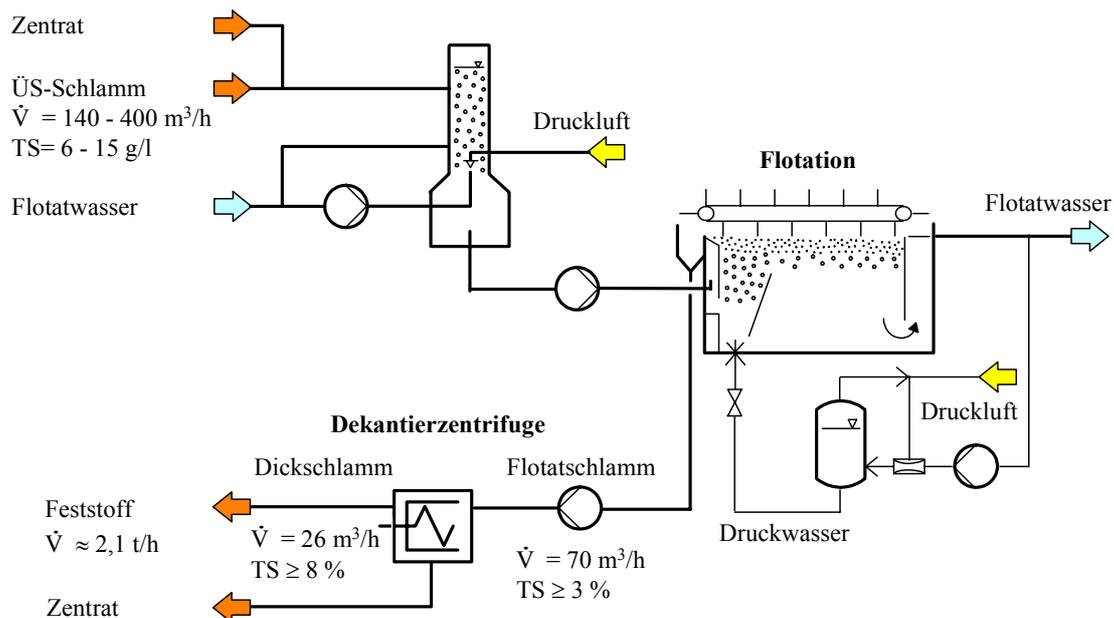


Bild 8: Hochleistungsverfahren zur Eindickung von Überschussschlamm

Eindickung von Überschussschlamm

Entspannungsflotation

Betriebs- und Leistungsdaten			Literatur	Neuanlage
Druckwasserzugabe	Q_R	%	150 - 300	30 - 40
Sättigungsdruck	Δp	bar	3 - 6	4 - 5
Spezifischer Luftenintrag	L_{TS}	g/kg	15 - 50	10 - 15
Schlamm-Flächenbeschickung	q_A	m^3/m^2h	0,5 - 2,0	2,0 - 4,5
Feststoff-Flächenbelastung	B_A	kg/m^2h	3,0 - 10	10 - 30
TS-Gehalt Flotatwasser	TS_{ef}	mg/l	100 - 500	8 - 60
TS-Gehalt Flotatschlamm	TS_F	g/l	20 - 50	30 - 50

Bild 9: Leistungsdaten der Überschussschlammeindickung

Feststoffgehalt im Flotatwasser

Abhängigkeit von der Feststoff-Flächenbelastung

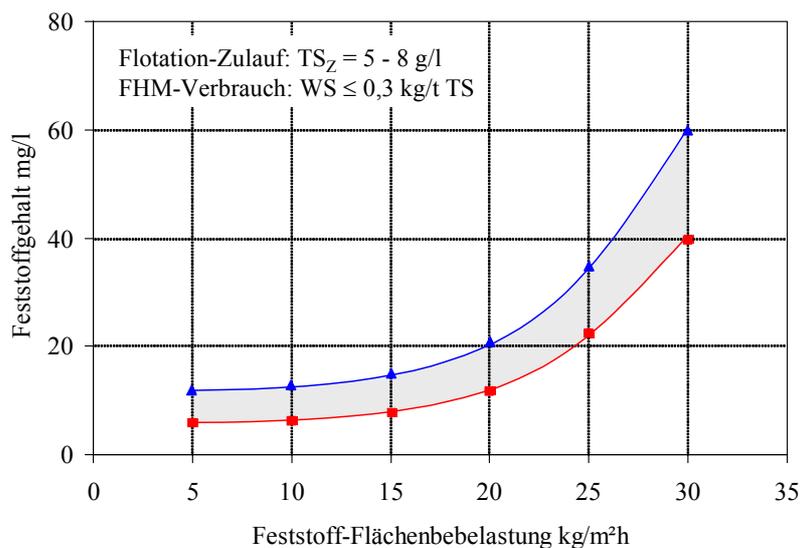


Bild 10: Feststoffgehalt im Flotatwasser

Eindickung von Überschußschlamm

Energieverbrauch der Anlage für 320 m³/h Schlamm

Flotationsanlage		Zentrifugenanlage	
Druckwasserpumpen	30 kW/h	Dekantierzentrifuge	70 kW/h
Luftverdichter	3,2 kW/h	Schlammpumpe	7,5 kW/h
Räumer und Schnecke	1,8 kW/h	Zentratpumpe	3 kW/h
Restverbraucher	5 kW/h	Restverbraucher	3,5 kW/h
Summe Energieverbrauch	40 kW/h	Summe Energieverbrauch	84 kW/h
Spez. Energieverbrauch	125 W/m ³	Spez. Energieverbrauch	1200 W/m ³
Gesamtenergieverbrauch	390 W/m ³		

Bild 11: Energieverbrauch bei der Überschußschlammeindickung