

White Paper

Flocken im Klärprozess,
der Schlüssel zur Effizienzsteigerung
um bis zu 30%:
Flockenformung

Technik, Expertise und Amortisation

Einleitung:

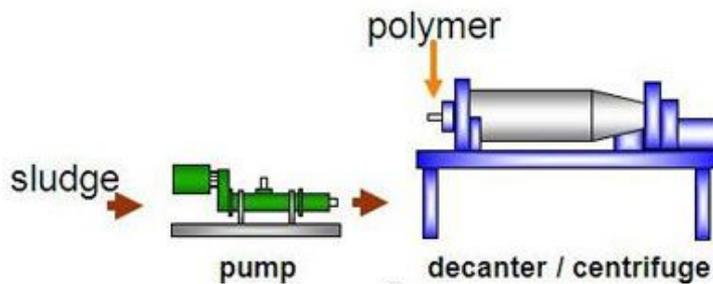


Die Prozesse zur Klärung von Abwässern (Wasser- und Feststofftrennung) werden kontinuierlich optimiert, eine Aufgabe für den verantwortlichen Leiter und seine Mannschaft. Neue Meß- und Regelungstechniken und eine kontinuierlich gewachsene Prozessenerfahrung haben zur Klärprozessverbesserung beigetragen. Die Betrachtung der in den produzierenden Prozessindustrien wichtigen Prozessgröße OEE (Overall Equipment Effectiveness) gewinnt als Kenngröße mehr und mehr an Bedeutung. Der Druck auf den Anlagenbetreiber, getrieben durch das Klärmaterial und dessen Inhaltsstoffe, aber auch durch eine veränderte gesellschaftliche und gesetzgeberische Landschaft, nimmt kontinuierlich zu. Die landwirtschaftliche Ausbringung der Klärschlämme wird zunehmend schwieriger, die kostenintensivere Verbrennung wird zunehmen. Die Kosten für die *Betriebsenergie*, die *Flockungshilfsmittel*, die *Transportkosten* und die *Abnahmekosten* für den Klärschlamm werden daher stetig steigen. An diesen vier Kostenblöcken anzusetzen führt nach einer Prozessanalyse der Spezialisten der TU Clausthal zu kurzfristig einführbaren Reduzierungen im zweistelligen Prozentbereich, mit Amortisationszeiten von deutlich weniger als einem Jahr. Einfach erreichbar durch die Integration eines überschaubaren Anlagenblocks zur Vorbehandlung des Klärschlammes. Mit einer neuartigen Konditionierungstechnik für polymer-initiierte Flockungsvorgänge kann durch das zweistufige Verfahren mit vier Freiheitsgraden für jeden Trennprozess die Flockenstruktur optimiert werden. Anwendung findet die Technologie bisher in der Abwassertechnik (Klär- und Biogaswerke), zur Schlammbehandlung (bspw. Bohrwasseraufreinigung) und in der Deponiesickerwasserreinigung. In Kombination mit marktüblichen Trennaggregaten kommt es neben der Erhöhung der Separationsleistung zu einer signifikanten Reduzierung des Polymerverbrauchs.

Kurz: Eine höhere Entwässerungsleistung ist durch gezieltere Flockung mit dem FlocFormer möglich.

Prozess/Verfahren:

In der Abwasser- und Schlammbehandlung sind polymer - initiierte Eindick- und Ent-



wässerungsprozesse
seit langer Zeit ein
zentraler Bestandteil
der
Verfahrensführung. In
jüngerer Zeit werden
Flockungsprozesse

auch zunehmend in anderen Bereichen genutzt, um aus einem Medium bestimmte Inhaltsstoffe abtrennen zu können, so zum Beispiel in der Papierindustrie. Geschichtlich bedingt lag das bisherige Augenmerk primär auf den Separationsmaschinen selbst. Im Regelfall wenig Beachtung fand und findet jedoch die Erzeugung der richtigen Flocke für den Separationsprozess. Einstufige oder statische Mischer sind in Hinsicht auf die Flockenausprägung nur begrenzt zu regeln; daher ist eine reproduzierbare Flockenstruktur nur sehr schwer realisierbar. Schwächen in der Flockenerzeugung werden durch Überdosierung des Flockungshilfsmittels kompensiert, dies wiederum verursacht höhere Kosten, optimiert aber nicht den Trennprozess.

Für die Effizienz von Separationsprozessen, wie Filtrationen oder Trennungen im Schwerfeld, hat neben der eigentlichen eingesetzten Trenntechnik die Konditionierung des Mediums einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis. Unter Konditionierung wird hierbei die Vorbereitung des Mediums für den Trennprozess verstanden. Für die Konditionierung finden in Abwasseranwendungen sehr häufig organische Flockungshilfsmittel Anwendung. Die Zugabe dieser organischen Polymere bewirkt eine Flockung der kolloidalen Bestandteile der Medien. Dabei werden die erzielten Flockenstrukturen sehr stark davon beeinflusst, wie die Einbringung des Konditionierungshilfsmittels in den Schlamm erfolgt.

Um diese bisherigen Nachteile und Schwächen aufzuheben und eine regelbare und reproduzierbare Flockenstruktur erzeugen zu können, wurde in Zusammenarbeit mit der TU Clausthal ein neuartiger zweistufiger Flockungsreaktor entwickelt. Neben den prozessspezifischen Zielvorgaben musste die Integrierbarkeit in bestehende Prozesse durch eine hybride, kompakte Bauweise gestützt werden.

Hohe Trennleistung durch 'gute' Flocken

Voraussetzung für eine hohe Trennleistung ist die Konzentration und das möglichst vollständige Zusammenfügen der abzutrennenden kolloidalen Inhaltsstoffe in mecha-



Flockenbildung

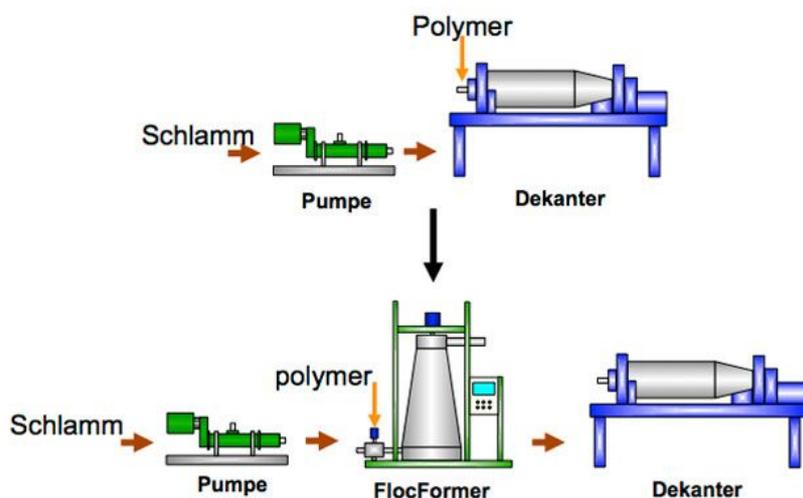
nisch belastbare und somit filterbare Flockenstrukturen. Hierbei muß besonderes Augenmerk auf das Einbinden von Feinstpartikeln in die Flockenstruktur gelegt werden, sie sollen mit gebunden werden und nicht im Wasser abgehen.

„Das Restwasser muss klar sein.“

Konventionelle Konditionierungstechnik ist selten in der Lage, dieser Anforderung zu genügen. Die Einmischung des Polymers in einstufige Inline-Mischer oder statische Mischapparaturen ist aufgrund der geringen Zahl an Stellgliedern wenig effektiv. Beim Inline-Mischer lässt sich lediglich die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rührwerks regeln. Die Bildung einer Flockenstruktur, die eine bestimmte Größe und gleichzeitig eine bestimmte Stabilität bedarf, ist hiermit nicht möglich. Die Durchmischungsintensität im statischen Mischer ist direkt abhängig vom fließenden Volumenstrom. Eine Änderung der Mischcharakteristik lässt sich bei festgelegtem Volumenstrom also nicht realisieren.

Durch 'Flocculation Engineering' können die bestimmenden Faktoren der Konditionierung, wie beispielsweise Verweilzeit, Energieeintrag in den Teilschritten des Prozesses sowie der Verbrauch des Flockungshilfsmittels, gezielt gesteuert werden. Mit dem neuartigen zweistufigen Flockungsverfahren besteht nun die Möglichkeit, die Teilprozesse Flockenentstehung (durch die Polymerzuführung) und Flockenausprägung (im zweistufigen Flockenreaktor) separat zu beeinflussen.

Der Flockungsreaktor im Prozess, Wirkungsweise



Der Flockungsvorgang wird in einem zweistufigen Reaktor mit vier Freiheitsgraden durchgeführt. Zunächst wird in einem Mischer das Flockungshilfsmittel homogen unter turbulenten Bedingungen in das

Medium eingebracht. Es findet eine Totalflockung statt. Anschließend werden die zu diesem Zeitpunkt großvolumigen und scherinstabilen Flocken in einem Flockenformungsreaktor gezielt erodiert, kompaktiert und für die Separation optimiert ausgeprägt.

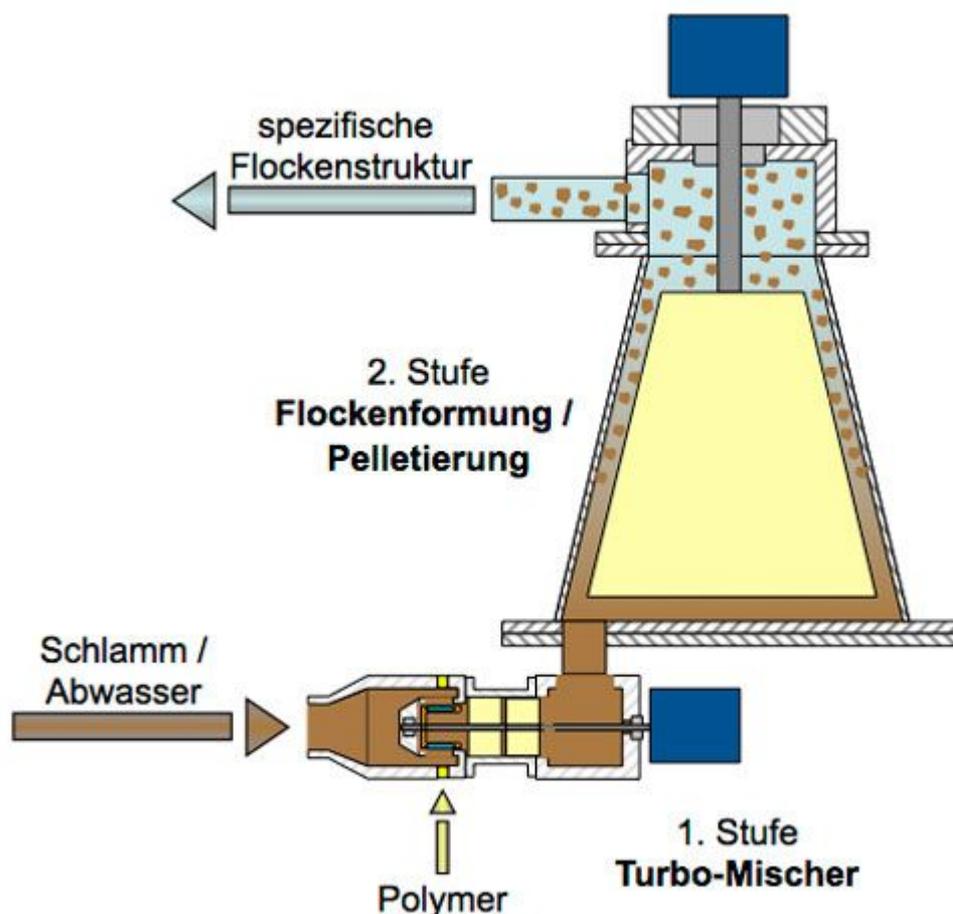


Als Flockenformungsreaktor dient ein modifizierter Kegelmischer. Ein innerer Kegel rotiert koaxial in einer äußeren Kegelschale. Die Strömungsverhältnisse im Kegelspalt sind nicht konstant, sondern ändern sich mit der axialen Position im Kegel. An der Kegelspitze treten aufgrund des größeren Durchmessers höhere Umfangsgeschwindigkeiten auf als in der Nähe der Kegelspitze. Diese spezifischen Strömungsverhältnisse ermöglichen die Koexistenz von laminaren und laminar-zellularen Strömungszuständen in einem Apparat.

Der Umschlagpunkt von der laminaren in die laminar-zellulare Strömung wird beim Kegelmischer vornehmlich von der auftretenden Rotationsgeschwindigkeit sowie von den

Radienverhältnissen im Kegelspalt bestimmt. Zusätzlich zur Änderung der Rotationsgeschwindigkeit kann der innere Kegel im äußeren Kegel axial verschoben

werden. Auf diese Weise wird Einfluss auf die Radienverhältnisse im Kegelrührer genommen. Der Betriebspunkt des Rührers kann durch Änderungen der Rotationsgeschwindigkeit und der Spaltweite bewusst beispielsweise an höhere Volumenströme oder Massenströme angepasst werden. Ein optimiertes Strömungsregime wird somit sichergestellt.



Fließschema der zweistufigen Konditionierung

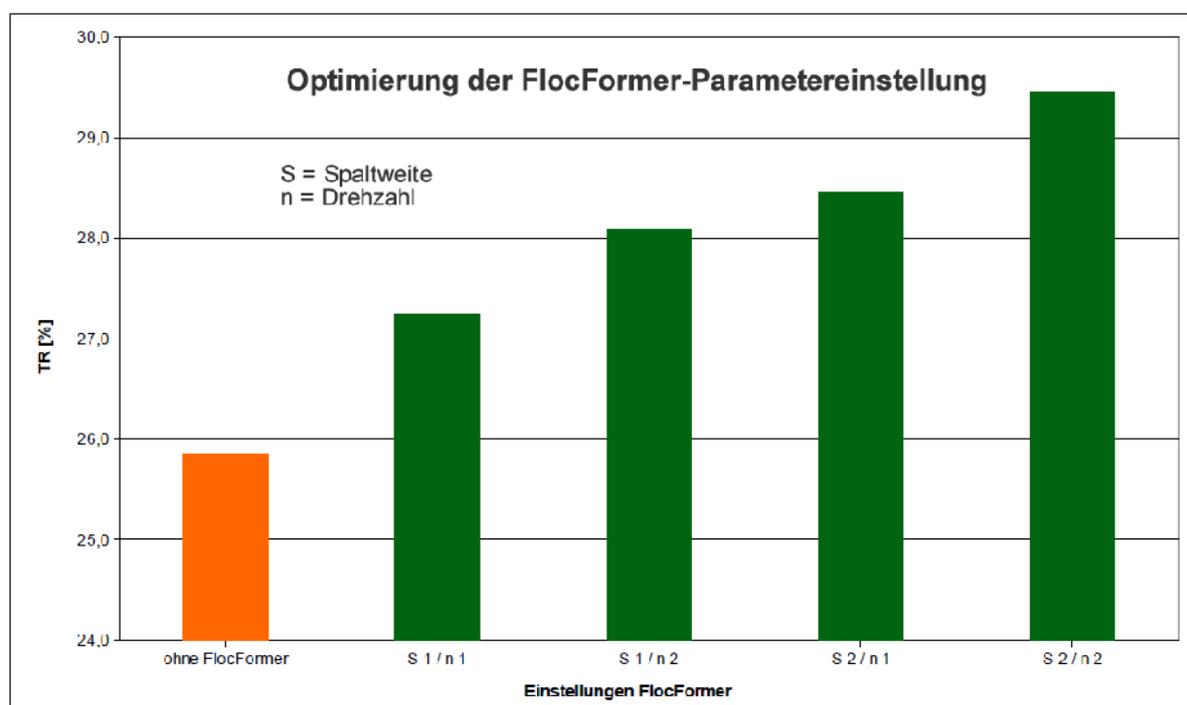
Als zusätzliche, weiterreichende Einflussgröße wird neben der perikinetischen und der orthokinetischen Flockung der Effekt der mechanischen Synerese im Flockenformungsreaktor genutzt, um eine Pelletierungsflockung zu realisieren. Durch das Abrollen der Flocken auf den Flächen der Kegel werden lokale, ungleichmäßige, äußere mechanische Kräfte auf die Flocken aufgebracht, die somit verdichtet werden. Die Endprodukte der zweistufigen Konditionierung sind Flockenpellets. Diese Pellets lassen sich sehr gut entwässern oder separieren. Durch die vier verschiedenen Freiheitsgrade können spezifische Flocken für die unterschiedlichsten Separationsmaschinen und Medien erzeugt werden. Die gewünschte Flockenstruktur ändert sich von Maschinentyp zu Maschinentyp und von Medium zu Medium.

Optional kann ein Flockungssensor zur Charakterisierung der Flockenstruktur

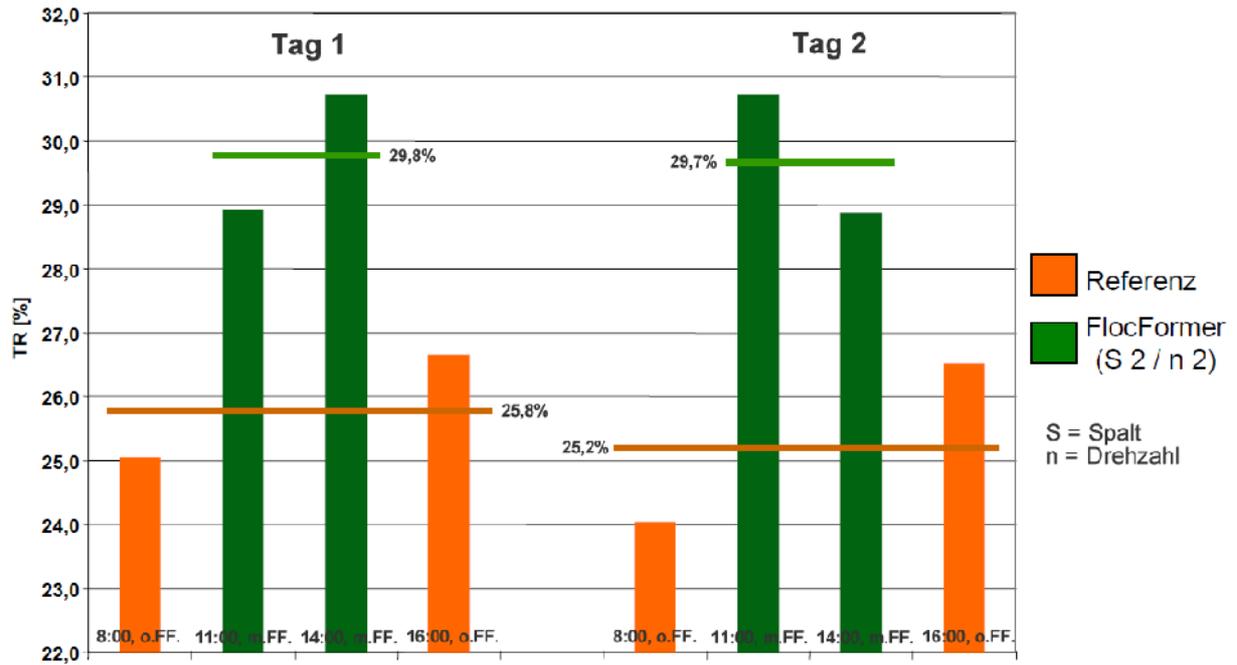
Am Beispiel von Bandfilterpressen lässt sich der vorteilhafte Filtrationseffekt gut veranschaulichen:

Die Bandfilterpresse unterteilt sich in die Bereiche Schwerkrafft filtration (Vorentwässerung), und gegebenenfalls mehrere Druckpresszonen. Die gebildeten Flocken werden im Zulauf der Schwerkrafft filtration aufgegeben. Hier seiht die flüssige Phase sehr schnell und sehr weitreichend ab. Dies hat zur Folge, dass die Bandgeschwindigkeit der Filterpresse reduziert werden kann. Dadurch wird eine längere Verweilzeit in der Presse realisiert, was zu einem höheren Entwässerungsergebnis führt. Unterstützt wird dies durch eine im FlocFormer erzeugte scherstabile Flockenstruktur.

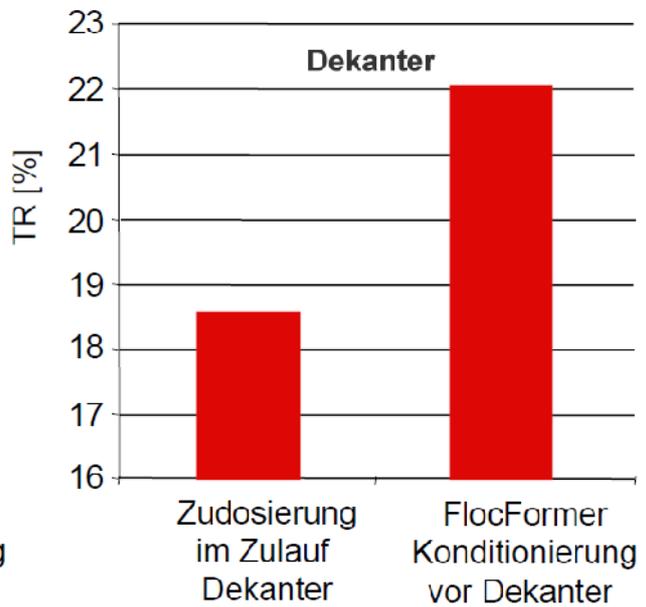
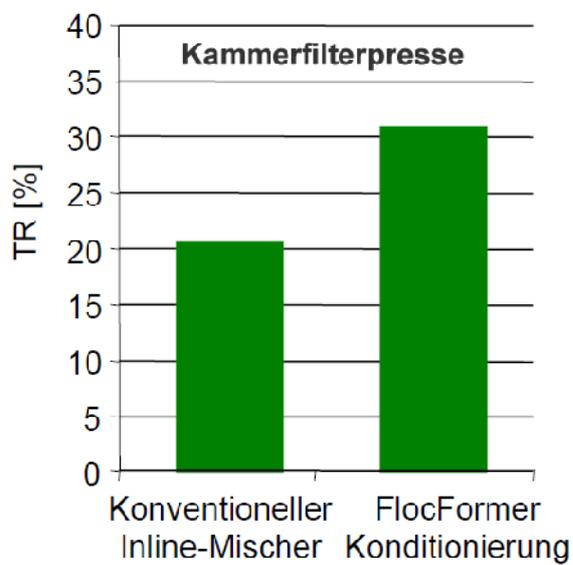
Entwässerungsergebnisse nach Optimierung der FlocFormer-Spaltweite und -Drehzahl:



Ergebnisse über zwei Betriebstage:

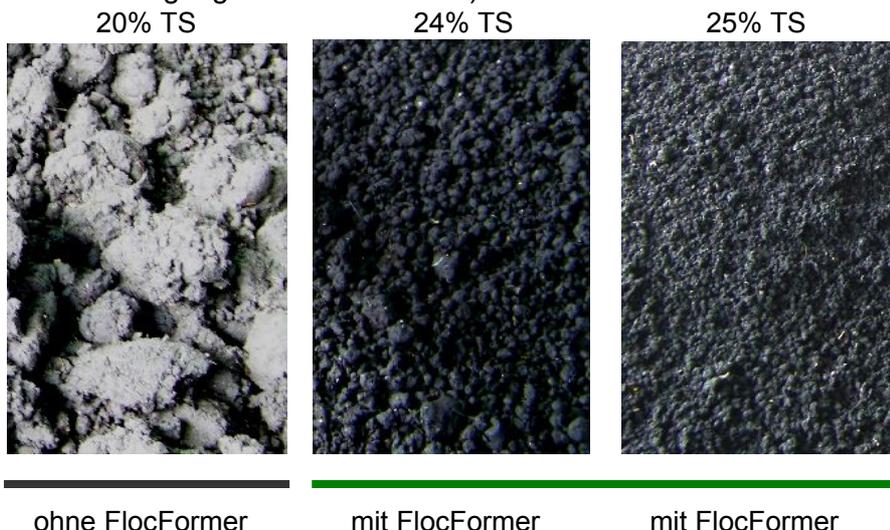


Vergleich Ergebnisse mit Kammerfilterpresse und Dekanter:



Optischer Vergleich der Klärschlammkonsistenz nach dem Trennprozess

(Beispiel für einen Ausgangswert von 20% TS):



Das Ergebnis:

In Abhängigkeit vom Anwendungsfall ist eine Erhöhung der Separationsleistung bzw. Entwässerungsleistung zwischen **10 bis 30 %** und eine Reduzierung der Polymermenge um bis zu **25 %** erreichbar.

Eine reduzierte Verweilzeit des zu entwässernden Schlammes im Dekanter führt im Idealfall zu geringerer Laufzeit und zu Energieeinsparungen um bis zu **5 %**.

Der Füllgrad der Abfuhrcontainer verbessert sich durch die krümeligere Struktur um **10 bis 15 %**.

Da die Entsorgungskosten nach den Energiekosten ein wesentliches Kostenpaket für den Betreiber sind, ist mit dem Einsatz des Flockenconditionierers FlocFormer eine Verbesserung im zweistelligen %-Bereich möglich.

Expertisen der Entsorgungsexperten



„Der Einsatz des [FlocFormers](#) hat unsere Klärschlamm-entwässerung im Dekanter optimiert. Das Verfahren ist klasse und spart Betriebskosten.“

Jörg Hinke
Betriebsleiter
EURAWASSER
Betriebsführungsgesellschaft mbH
Niederlassung Goslar



„Die [FlocFormer-Technologie](#) hilft uns die Kosten der Aktivkohlestufe deutlich zu reduzieren. Die Anlage läuft seit 2,5 Jahren stabil.“

Martin Sieloff
Abteilungsleiter und Deponieleiter
Landkreis Osterode am Harz
Kreismülldeponie Hattorf



Deponiesickerwasserreinigung mit FloccFormer 2L

Auch die Separationsleistung von Zentrifugen lässt sich durch die externe, vorgeschaltete Konditionierung steigern. Voraussetzung ist, dass die gebildeten Flocken über eine hohe Stabilität verfügen. Das wird durch das Verfahren unterstützt. Die neuartige Konditionierungstechnik

hat sich bis heute in mehr als 40 Betriebsversuchen bewährt. Der Schwerpunkt der bisherigen Anwendungen lag in der Abwassertechnik. Im kommunalen Klärschlammereich konnten die Entwässerungsleistungen von Kammerfilterpressen, Trommelsieben, Schneckenpressen, Bandfilterpressen, Bucherpressen und Dekantern verbessert werden. Neben der Erhöhung der Entwässerungsleistung kann im Regelfall der Polymerverbrauch signifikant reduziert werden.

Die Zusatznutzen für die Umwelt:

- Die Klärschlämme kommen trockener in die Verbrennungsanlage, die Energieausbeute steigt signifikant an, der Vortrocknungsaufwand sinkt
- Die i.a. auf der Straße bewegte Trockenschlammtonnage nimmt (s.Bsp.) um 19%, also um ca. 1/5, ab (mit ca. 3 Mio t Klärschlamm aufkommen /anno in Deutschland also ein Transportmasse-Reduzierungspotential von bis zu 600 Tsd t/anno, das sind ca. 30 Tsd eingesparte LKW-Fahrten, weg von der Straße)
- ein rechenbarer Gesamtnutzen für die Umwelt ist damit eindeutig nachweisbar

Zur Abtrennung von im Wasser vorhandenen organischen und oxydierbaren Stoffen (Maßzahl ist der CSB-Wert (Chemischer Sauerstoffbedarf) wird das zweistufige Flockungsverfahren ökonomisch auch in der Deponiesickerwasserbehandlung eingesetzt.

Einsatzmöglichkeiten

Weitere Anwendungen sind überall dort denkbar, wo durch Polymere geflockt wird. Der FlocFormer führt i.a.R. auch bei nicht-polymer-gebundenen Flocken zu einer signifikanten Verbesserung der Separationsleistung.

Beispielhaft sei hier aufgeführt, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit:

- Kläranlagen,
- Deponiesickerwasseraufbereitung,
- Biogaserzeugung,
- Papierindustrie,
- Fruchtsaftherstellung,
- Lebensmittelindustrie,
- Abwasserbehandlungen,
- Schlammaufbereitungen (bspw.Bohrschlämme) und
- Eindickungen aller Art.

Eine Amortisationsrechnung „Prozessgewinn durch FlocFormer“

Das Kostenreduzierungspotential „Reduzierung der Klärschlammmasse“ und „Reduzierung des Polymereinsatzes“, nachfolgend an einem realen Einsatz mit einem TS-Ausgangswert von 22% aufgezeigt. Mit FlocFormer wurden 27% TS erreicht. Selbst bei Ausgangswerten von 30% TS werden signifikante Potentiale eingefahren.

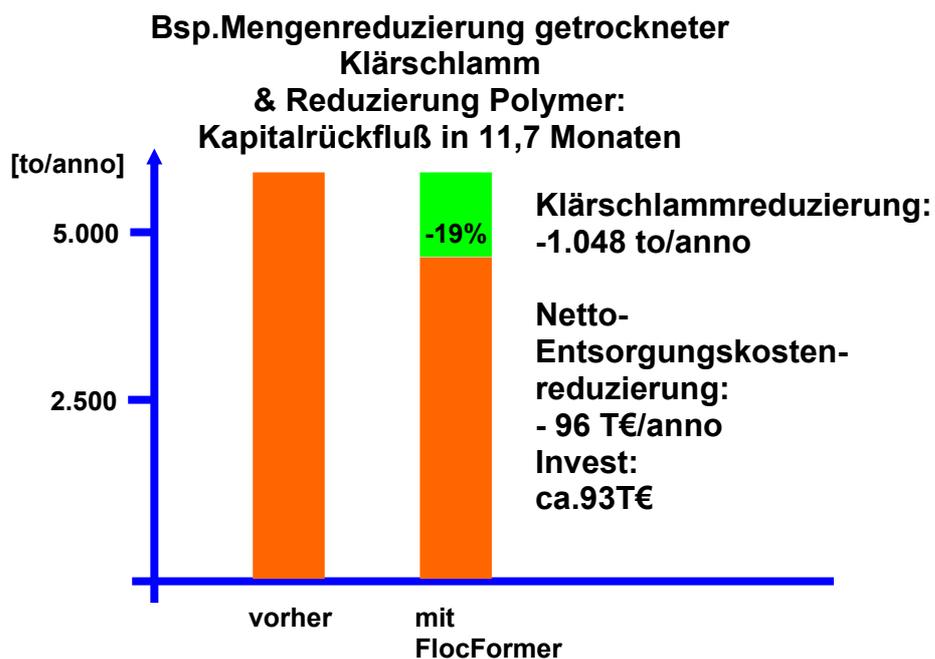
Das Ergebnis:

Bei einer angenommenen minimalen Nutzungsdauer des FlocFormer von acht Jahren ergibt sich eine durchschnittliche jährliche Verzinsung des eingesetzten Kapitals **von 102 %** (95.778 Euro x 100/93.500 Euro) für die restliche Nutzungsdauer von 7 Jahren.

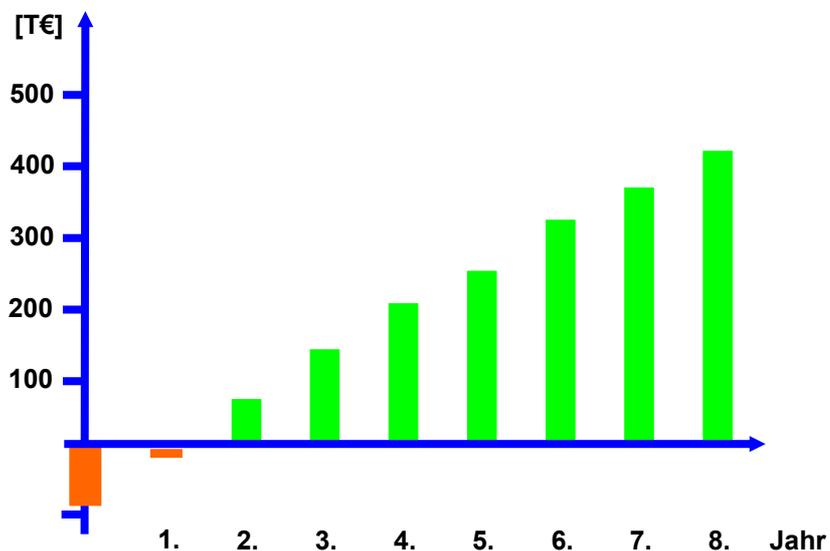
Der Kapitalwert der Investition von 93.500 Euro beträgt bei einem 10 %-igen Diskontierungssatz und gleichbleibenden jährlichen Einnahmenüberschüssen von 95.778 Euro **417.284 Euro**.

Zusammengefasst: Die Rentabilität der Investition (vor Abzug der Zinsen), beträgt im angenommenen Fall 102 % per anno!

Der Nutzen (grafisch)



Bsp.Diskontierter Einnahmenüberschuß (417.284 € in 8 Jahren)



Die Rechnung

(hier für eine realisierte Zusatzentwässerungsleistung von 22% auf 27% TS berechnet. Auch bei installierten Anlagen mit 'besten' Ausgangswerten von ca.30% TS werden noch signifikante Verbesserungspotentiale eingefahren.)

Bezeichnung	Wert	Dim.
Maximaler Volumenstrom	36,00	m ³ /h
Trockensubstanz Zulauf	1,92	%
Trockensubstanz Masse	0,69	t/h
Derzeitige Entwässerung	22,00	%
Derzeit zu entsorgende Masse	3,15	t/h
Entwässerung FlocFormer	27,00	%
Künftig zu entsorgende Masse	2,56	t/h
Massenreduzierung	0,59	t/h
Betriebsdauer pro Jahr	1.768,00	h/a
Jahresmassenreduzierung Entsorgung	1.047,67	t/a
Entsorgungsaufwendungen	90,00	Euro/t
Reduzierung Entsorgungsaufw.	94.290,30	Euro/a
Polymereinsparung	1,00	kg/t
Jahresmasse TR Schlamm	1.222,04	t/a
Polymermasse	1.222,04	kg/a
Aufwand Polymer	4,00	Euro/kg
Reduzierung Polymeraufwendungen	4.888,17	Euro/a
Reduzierung Entsorgung u. Polymer	99.178,46	Euro/a
Betriebskosten, Wartung, etc. FlocFormer	3.400,00	Euro/a
Netto-Aufwandsreduzierung	95.778,46	Euro/a
Netto-Investitionssumme	85.000,00	Euro
Aufwendungen Anschluss FlocFormer	8.500,00	Euro
Gesamt-Investitionssumme	93.500,00	Euro
Kalkulationszinsfuß	6,00	%
Kapitalrückflussdauer	0,98	Jahre

Gerne rechnen wir mit Ihren Daten/Ausgangswerten.

Weitere Zusatznutzen auf einen Blick

- Die Klärschlämme kommen trockener in die Verbrennungsanlage, die Energieausbeute steigt
- Die auf der Straße bewegte Tonnage nimmt um ca.20% ab.
(bei ca. 2.000 für den FlocFormer relevante Kläranlagen in D ein enormes Transportmengenreduzierungspotential)
- die zugeführte Polymermenge wird reduziert
- ein Gesamtnutzen für die Umwelt ist eindeutig nachweisbar

