



STAND DER TECHNIK FÜR DIE (MECHANISCHE) ENTWÄSSERUNG VON KLÄRSCHLAMM

ERMITTLUNG UND BESCHREIBUNG

STAND: SEPTEMBER 2013

Herausgeber

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Abteilungen Abfallwirtschaft und Betriebe sowie Gewässerschutz

Mitglieder der Arbeitsgruppe

Dr. Elmar Kuhn Sektionsleiter Abfallwirtschaft, AWEL
Daniel Rensch Sektionsleiter Abwasserreinigungsanlagen, AWEL
Richard Haueter Abwasserreinigungsanlagen, AWEL
Dr. Julia Kopp öbuv Sachverständige für Klärschlammbehandlung, www.kbkopp.de

Studienteilnehmer

ARA Affoltern am Albis, ARA Bauma-Saland, ARA Birmensdorf, ARA Dübendorf,
ARA Horgen-Oberrieden, ARA Kloten-Opfikon, ARA Winterthur, ARA Zürich Werdhölzli

Titelbild

©AWEL; Klärschlamm entwässerung ARA Hard, Winterthur

Publikation

<http://www.awel.zh.ch> > Betriebe und Anlagen > Abfallanlagen > Stand der Technik
> Stand der Technik für die mechanische Entwässerung von Klärschlamm, 2013

VORSPANN

Diese Publikation dient Behörden und Gesuchstellern sowie Verfügungsadressaten bei der Beurteilung der technischen Anforderungen an die mechanische Entwässerung von Klärschlamm.

Sie dokumentiert die Ermittlung des aktuellen Standes der Technik für die mechanische Klärschlamm-entwässerung durch die zuständige Behörde im Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Papiers und beschreibt insbesondere die massgeblichen Leistungsindikatoren sowie die verschiedenen dem Umweltrecht entsprechenden aktuell verfügbaren Lösungen. Andere Lösungen sind zulässig, sofern sie den massgeblichen Leistungsindikatoren ebenfalls genügen.

Bei der Ermittlung und Beschreibung des bei der mechanischen Entwässerung anwendbaren Standes der Technik wurden die Vorgaben des vom AWEL im Jahr 2011 publizierten Grundlagenpapiers zur Feststellung und Anwendung des «Standes der Technik» bei Prozessen der Abfallbehandlung befolgt.

Die Ergebnisse aus dem Bericht haben orientierenden Charakter für die Eigentümer und Betreiber der Zürcher Abwasserreinigungsanlagen (ARA). Die definierten Leistungsindikatoren und Erkenntnisse aus den Versuchen können genutzt werden, um ARA-spezifische Verbesserungspotentiale zu ermitteln und mögliche Optimierungen zu ergreifen, falls diese technisch wie energetisch sinnvoll und wirtschaftlich tragbar sind. Schliesslich soll die Übersicht verschiedener Verfahren zur Beurteilung möglicher Prozessvarianten bei einem anstehenden Ersatz oder einer Sanierung einer Klärschlamm-entwässerungsanlage dienen.

Der Prozess zur Ermittlung des Stands der Technik ist im Bericht «Grundlagen zur Ermittlung des Stands der Technik für die Entwässerung von Klärschlamm» detailliert dargestellt und kann beim AWEL, Abteilung Gewässerschutz, Sektion ARA (Tel. 043 259 91 40) bezogen werden.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BB	Belebtschlammbecken	PS	Primärschlamm
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	RLS	Rücklaufschlamm
GV	Glühverlust	TR	Trockenrückstand
ISV	Schlammvolumenindex	TS	Trockensubstanzkonzentration
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff	β	Stöchiometrisches Verhältnis für die Dosierung von Fällmittel
Nm ³ /d	Normkubikmeter pro Tag	ÜS	Überschussschlamm
oTR	organischer Anteil des Trockenrückstands	VK	Vorklärbecken
PO ₄ -P	orto Phosphat	WS	Polymere Wirksubstanz
P _{ges}	Gesamtposphor		

1 | HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG

Im Kanton Zürich wird zukünftig gemäss Klärschlammkonzept¹ der gesamte anfallende Klärschlamm nach maschineller Entwässerung zentral verbrannt und der in der Klärschlamm- asche konzentrierte Phosphor zurückgewonnen. Die neue zentrale Klärschlammverwertungsanlage (KSV) wird Mitte 2015 im Klärwerk Werdhölzli, Zürich, in Betrieb genommen. Die vorgesehene Wirbelschicht-Monoverbrennung mit vorhergehender Teiltrocknung ist an bestimmte Rahmenbedingungen, wie Durchsatzmenge und Entwässerungsgrad, gebunden. Die Kosten der Verwertung sollen auf Basis der Menge (Tonnen) entwässerten Klärschlammes verrechnet werden.

Für die Dimensionierung und den Betrieb der KSV ist es wichtig zu wissen, auf welchem Stand sich die heutige Schlamm- entwässerungstechnik befindet und wie sich die Parameter Schlammanfall, Wassergehalt und Heizwert des stabilisierten und entwässerten Schlammes künftig entwickeln könnten.

Zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der Klärschlammmenge und -eigenschaften wurden in einer Markt- übersicht die heutigen Verfahren bezüglich des Standes der Technik beurteilt und mit den heutigen Entwässerungstechniken auf den Zürcher ARA verglichen. Mögliche, etablierte Optimierungsverfahren zur Klärschlamm- entwässerung wurden beschrieben und auf ihre Einsatzmöglichkeit hin beurteilt. Daraus können Verbesserungspotentiale für den bestehenden Anlagenpark, aber auch weitergehende Optimierungen bzw. Prozessveränderungen auf Kläranlagen überprüft werden, die zu einer Veränderung der Klärschlammmenge und/ oder -eigenschaften führen.

Zur Bewertung der verfügbaren Technik zur Klärschlamm- entwässerung im Kanton Zürich sind auch Kenntnisse über die Schlammeigenschaften von zentraler Bedeutung, da diese die Grenzen der maschinellen Klärschlamm- entwässerung bestimmen.

Dieser Kurzbericht gibt:

- eine Definition von Kennwerten zur Charakterisierung des Entwässerungsverhaltens von Klärschlamm unter Berücksichtigung geeigneter Analysemethoden.
- einen Vergleich der Maschinenteknik in Bezug auf die Austragsfeststoffkonzentration, den spezifischen Verbrauch von polymeren Flockungsmitteln und die elektrische Energie.
- eine Definition von Leistungsindikatoren für die Beurteilung der Klärschlamm- entwässerung und zur Bemessung des Standes der Technik.
- eine Zusammenstellung von Verfahren zur Optimierung der Klärschlamm- entwässerung und Beurteilung ihrer Einsatzmöglichkeiten.



1) Basierend auf dem Regierungsratsbeschluss 572/2007 erarbeitete die Baudirektion ein Konzept zur Sicherstellung einer langfristigen, ökologischen und ökonomischen Klärschlamm- entsorgung.

2 | GRUNDLAGEN ZUR KLÄRSCHLAMM-ENTWÄSSERUNG / KONDITIONIERUNG

Im Kanton Zürich betreiben nahezu alle Abwasserreinigungsanlagen eine Schlammstabilisierung in Form einer mesophilen Faulung. Je nach Herkunft und Entstehung hat der zu entwässernde Faulschlamm einen unterschiedlichen Wassergehalt. Mittels einer maschinellen Schlamm entwässerung wird durch die Abtrennung von Wasser das Schlammvolumen reduziert. Die nachgeschalteten Prozesse der Schlammbehandlung, insbesondere die heute üblichen Verwertungswege über Transport, Trocknung und (Mit-)Verbrennung des Schlammes, werden dadurch in Bezug auf den energetischen und betrieblichen Aufwand verbessert.

Bei der Schlamm entwässerung erfolgt eine physikalische Fest-Flüssig-Trennung. Während der Entwässerung werden Schlammteilchen durch einwirkende Kräfte aneinander gepresst und die Flüssigkeit als Filtrat oder Zentrat abgegeben. Dafür stehen zwei grundsätzlich unterschiedliche Methoden zur Verfügung:

Bei der Filtration (Bandfilterpressen, Kammer-/Membranfilterpressen, Schlauchfilterpressen, Schneckenpressen) wird Schlammwasser durch ein Filtermedium und einen sich darauf bildenden Filterkuchen gepresst. Die Trennschärfe ist abhängig vom Filtermedium.

In einer Dekanterzentrifuge erfolgt die Trennung beider Phasen durch Sedimentation unter Einwirkung einer durch Rotation erzeugten Schwerkraft. Die Schwere-trennung im Zentrifugalfeld beruht auf der unterschiedlichen Dichte der festen und flüssigen Phase.

Die chemisch-physikalischen Eigenschaften eines Klärschlammes werden im Wesentlichen durch die Abwasserzusammensetzung sowie die Verfahrenstechnik der Abwasser- und Schlammbehandlung bestimmt. Diese Klärschlamm-eigenschaften bestimmen wiederum das Entwässerungsergebnis massgeblich. Weil die Entwässerungsmaschinen nur einen bestimmten Grad an Fest-Flüssig-Trennung leisten können, ergeben sich auch verfahrenstechnische Grenzen.

Möglichst konstante Prozessbedingungen sind die Grundvoraussetzung für gute Ergebnisse bei einer maschinellen Schlamm entwässerung. Dazu gehören ein kontinuierlicher Stoffstrom im Zulauf der Anlage und eine möglichst gleichmässige Schlammbeschaffenheit.

Die Entwässerbarkeit lässt sich durch eine statische Voreindickung und Konditionierung verbessern. Unter Konditionierung sind Verfahren zu verstehen, die zu einer Verbesserung der Eindick- und Entwässerbarkeit führen. Eine Klärschlammkonditionierung kann durch chemische und/oder physikalische sowie thermische Verfahren erfolgen.

Für die Klärschlammkonditionierung werden verschiedene maschinelle Einrichtungen und Chemikalien eingesetzt. Am häufigsten werden organische polymere Flockungsmittel zugegeben. Durch Ausgleich der elektrostatischen Abstossungskräfte zwischen den in der Regel anionisch geladenen Schlammteilchen kommt es zur Bildung von Mikro-flocken. Deren Agglomeration führt zu Makroflocken, was die bessere Abtrennung von Wasser ermöglicht und diese beschleunigt. Die Makroflocken müssen eine ausreichende Scher- und Druckstabilität erreichen, damit sie beim Trennprozess nicht wieder frühzeitig zerfallen. Voraussetzung dafür ist nicht nur eine sorgfältige Auswahl eines geeigneten polymeren Flockungsmittels und die Bestimmung der erforderlichen Menge, sondern insbesondere auch dessen optimale Aufbereitung und Dosierung.

Im Klärschlamm enthaltenes Wasser ist in unterschiedlicher Art und Stärke an den Feststoffen gebunden. Da nur nicht oder leicht in die Schlammstruktur eingebundenes Wasser, der sogenannte freie Wasseranteil, bei einer maschinellen Klärschlamm entwässerung abgetrennt werden kann, stellen letztlich die Struktur der Schlammteilchen und deren Wasserbindung die Grenze des Prozesses dar. Das Entwässerungsergebnis selbst wird somit massgeblich durch die Entwässerungseigenschaften des Klärschlammes und nur bedingt durch die eingesetzte Maschine bestimmt.

Zur Beurteilung des erreichbaren Entwässerungsergebnisses wird der Kennwert TR(A) genutzt. Dieser anhand thermogravimetrischer Messungen abgeleitete Kennwert entspricht dem Trockenrückstand, der sich im entwässerten Schlamm einstellt, wenn der freie Wasseranteil (physikalisch nicht gebunden) abgetrennt ist. Er ermöglicht eine direkte Aussage über das grosstechnisch erreichbare Entwässerungsergebnis und wird seit Jahren zur Festlegung und Kontrolle von Garantiewerten bei der maschinellen Entwässerung eingesetzt (KOPP, 2001).

3 | STAND DER TECHNIK ZUR KLÄRSCHLAMMENTWÄSSERUNG

Für die Beschreibung des Stands der Technik braucht es fundierte Kenntnisse

- der Entwässerungsaggregate für die Klärschlammmentwässerung,
- des Einsatzes und der fachgerechten Aufbereitung der polymeren Flockungsmittel und
- des Einflusses weiterer Parameter auf das Entwässerungsergebnis.

Zum eigentlichen Betrachtungsperimeter für die Festsetzung des Stands der Technik zur Klärschlammmentwässerung gehören die maschinelle Entwässerung des Faulschlammes, die Aufbereitung der polymeren Flockungsmittel und die Klärschlammkonditionierung. Eingangsgröße ist der stabilisierte Schlamm, zumeist aus einer Faulung, Ausgangsgröße der

entwässerte Klärschlamm. In Abbildung 1 auf Seite 7 ist der Betrachtungsperimeter für den Klärschlammmentwässerungsprozess blau markiert und schematisch dargestellt.

Da die Verfahrenstechniken der Abwasser- und Schlammbehandlung die Entwässerungseigenschaften stark beeinflussen, sind diese in Abbildung 1 ebenfalls aufgeführt. Ausgehend vom Betrachtungsperimeter lassen sich nun Kennwerte (Leistungsindikatoren) definieren, welche von einer zeitgemässen Entwässerung eingehalten werden sollen. Diese sind in unten stehender Tabelle zusammengestellt. Es zeigt sich, dass mit den heute für die Klärschlammmentwässerung eingesetzten Maschinentechniken (Dekanterzentrifugen, Bandfilter-, Schnecken- und Schlauchfilterpressen) bei fachgerechter Schlammkonditionierung der Zielwert für den Stand der Technik in der Regel erzielt wird.

Tabelle 1 Darstellung der Leistungsindikatoren der Klärschlammmentwässerung

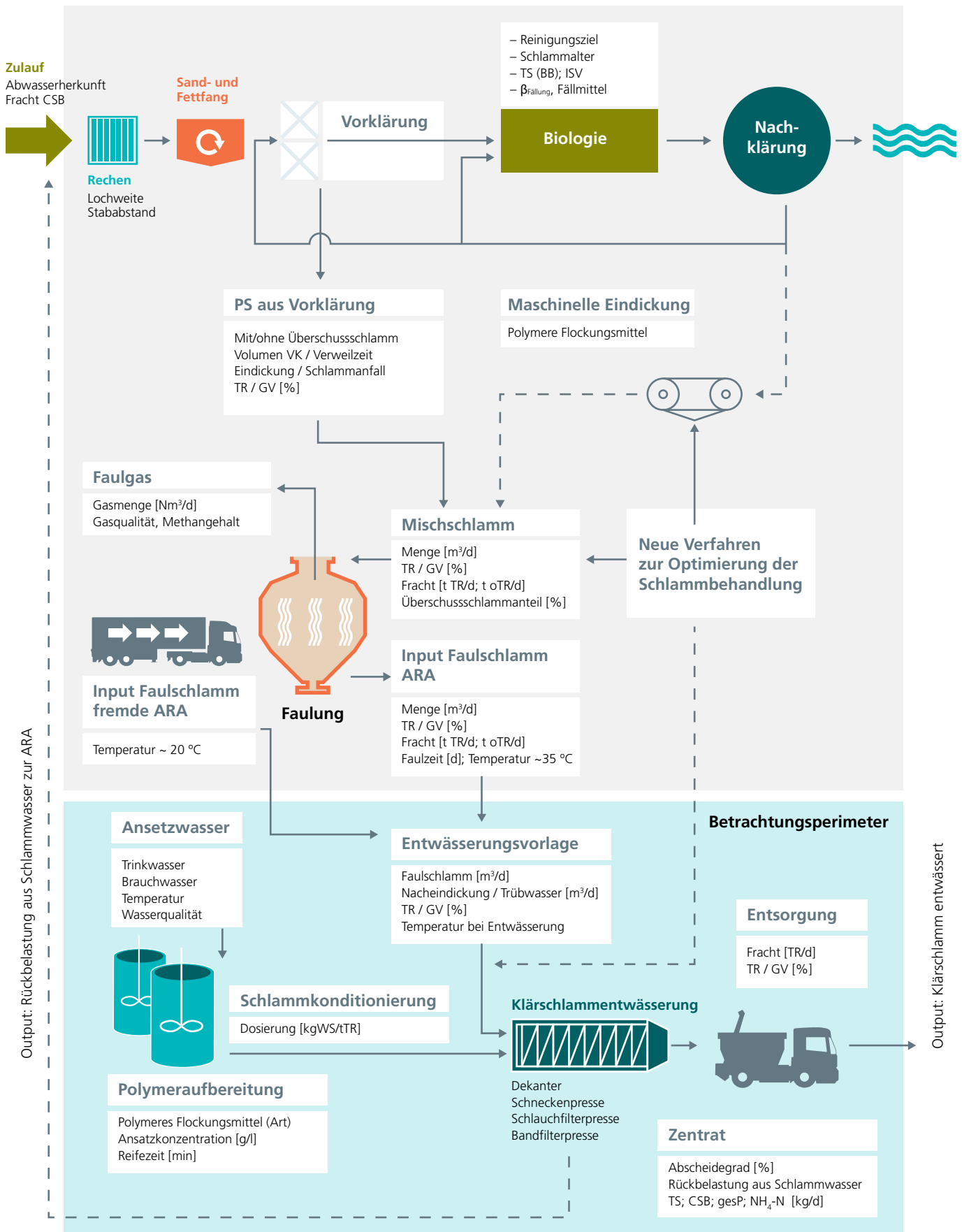
Prozessschritt	Kennwert und Einheit		Zielwert für den «Stand der Technik»
Beschickung des Aggregats	TR-Fracht	[kg TR/h]	kontinuierliche Frachtbeschickung
Polymer Aufbereitung	Stammlösung	Reifezeit [min]	45 min nach Befüllen Verbrauch binnen 1–4 h 2-Kammer-Batchanlage
Klärschlammkonditionierung	Polymerprodukt Dosis	[kg WS/t TR]	Stabile Flockenstruktur bei effizienter Dosierung
Entwässerung	Energieverbrauch	[kWh/m ³]	0.2 – 1.6 [kWh/m ³] exkl. Peripherie** 0.6 – 2.2 [kWh/m ³] inkl. Peripherie**
Entwässerung mit Dekanterzentrifuge	entw. Schlamm	[% TR]	Abtrennung des freien Wassers Erreichen TR(A)* Abscheidegrad > 95 %
Entwässerung mit Bandfilterpresse	entw. Schlamm	[% TR]	Abtrennung des freien Wassers TR(A)* – 2 % TR Abscheidegrad > 95 %
Entwässerung mit Schneckenpresse	entw. Schlamm	[% TR]	Abtrennung des freien Wassers TR(A)* – 2 % TR Abscheidegrad > 95 %
Entwässerung mit Schlauchfilterpresse	entw. Schlamm	[% TR]	Abtrennung des freien Wassers TR(A) + 1 % TR*** Abscheidegrad > 95 %

* = oder andere Prognosekennwerte (siehe dazu DWA-M 383)

** = Energieverbrauch abhängig von Aggregat und Peripherie (Beschickungspumpe und Konditionierungsanlage)

*** = aufgrund der hohen Scherkräfte bei der Entwässerung in der Schlauchfilterpresse ist der Bedarf an polymeren Flockungsmitteln erhöht

Abbildung 1 Einflussbereich auf die Entwässerungseigenschaften



Die mittleren zu erwartenden Ergebnisse für die Austragsfeststoffkonzentration, den spezifischen Flockungsmittelbedarf und den Energieverbrauch der Entwässerungsaggregate sind in unten stehender Tabelle zusammengestellt. Sie können zur Abschätzung der erzielten Leistungsdaten von Entwässerungssystemen bei verschiedenen Schlammarten dienen.

Tabelle 2 Leistungsdaten Entwässerungssysteme (DWA-M 366, 2012 und VSA, Handbuch Energie in ARA, 2010)

Entwässerungsaggregat		Dekanter-zentrifuge	Bandfilter- presse ¹⁾	Schlauchfilter- presse	Schnecken- presse ¹⁾
Austrags-Feststoffkonzentration					
Primärschlamm	[% TR]	32 – 40	30 – 38	32 – 42	30 – 38
Mischschlamm aus PS + ÜS (Fracht-Verhältnis ~1:1)	[% TR]	26 – 32	24 – 30	26 – 33	24 – 30
Faulschlamm	[% TR]	22 – 30	20 – 28	22 – 31	20 – 28
Verbrauch polymerer Flockungsmittel					
Spez. Flockungsmittel- verbrauch	[kg WS/t TR]	8 – 14	6 – 12	8 – 15	6 – 15
Energieverbrauch					
Spez. Energieverbrauch ²⁾	[kWh/m ³]	0,9 – 1,6	0,4 – 0,8	0,8 – 1,0	0,2 – 0,6
Spez. Energieverbrauch ³⁾	[kWh/m ³]	1,5 – 2,2	1,0 – 1,4	1,6 – 1,8	0,6 – 1,0
Spez. Energieverbrauch ²⁾	[kWh/t TR]	40 – 60	20 – 30	30 – 40	8 – 20
Spez. Energieverbrauch ³⁾	[kWh/t TR]	60 – 90	40 – 50	60 – 70	20 – 40
Stromverbrauch pro EW	[kWh/EW a]	0,74 – 1,0	0,2 – 0,45	0,9 – 1,0	0,17 – 0,28

1) bei Zulauf-Feststoffgehalt TR > 3 % und < 7 %

2) Energieverbrauch Maschine in Abhängigkeit vom Zulauf-Feststoffgehalt und der Durchsatzmenge

3) Energieverbrauch Maschine inkl. Beschickungspumpe und Konditionierungsanlage

4 | HEUTIGE ENTWÄSSERUNGSVERFAHREN IM KANTON ZÜRICH

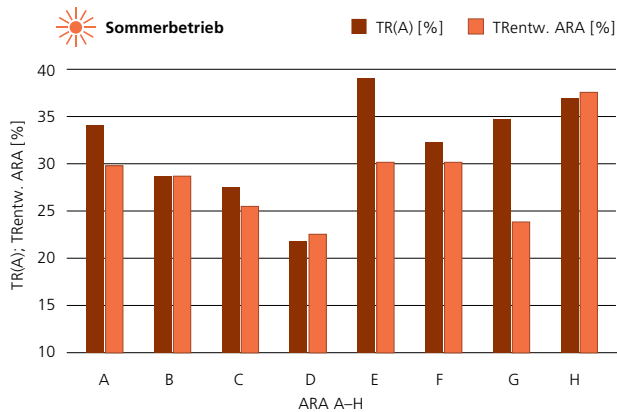


Abbildung 2 Sommerbetrieb: Vergleich TR(A) und TR

Rund drei Viertel der Zürcher ARA, die eine eigene Schlamm-entwässerung betreiben, verwenden Dekanterzentrifugen. In je 3 ARA sind Schnecken- und Bandfilterpressen sowie in einer ARA eine Schlauchfilterpresse im Einsatz. Zur Ermittlung der Entwässerungsleistung wurden 8 ARA mit unterschiedlichen Grössen und Anforderungen an die Reinigungsleistung sowie unterschiedlichen Typen von Entwässerungsaggregaten ausgewählt und während des Sommer- und Winterbetriebs untersucht. Den Vergleich der tatsächlichen mit der möglichen Entwässerungsleistung zeigen die Abbildungen 2 und 3 grafisch auf.

Bei den ARA A–D, welche alle eine ganzjährig betriebene Denitrifikationsstufe sowie in einem Fall auch eine biologische Phosphorelimination aufweisen (ARA D), konnten im Mittel 27 % TR erreicht werden – mit einer grossen Streubreite untereinander. Auf diesen Anlagen wird ausschliesslich mit Dekanterzentrifugen entwässert. Das Mittel der erreichbaren Entwässerbarkeit, durch die Messung des freien Wasseranteils bestimmt, lag bei 28 % TR (Kennwert TR(A)). Im Winterbetrieb vermindert sich die Entwässerbarkeit im Mittel um 3 %-Punkte.

Bei den ARA E–H ohne ganzjährige Stickstoff-Elimination wurden im Mittel 30,5 % TR erreicht, bei einem Kennwert TR(A) im Mittel von 34 % TR.

Vergleicht man den Kennwert TR(A) im Sommer- und Winterbetrieb mit den tatsächlichen Betriebswerten, zeigen sich deutliche Unterschiede bei den erreichbaren Entwässerungsergebnissen in Abhängigkeit von Reinigungsziel und Jahreszeit. Die spezifischen Gegebenheiten der einzelnen ARA (industrielle Einleiter, Art der Phosphorelimination) widerspiegeln sich ebenfalls im Entwässerungsverhalten (z. B. ARA D).

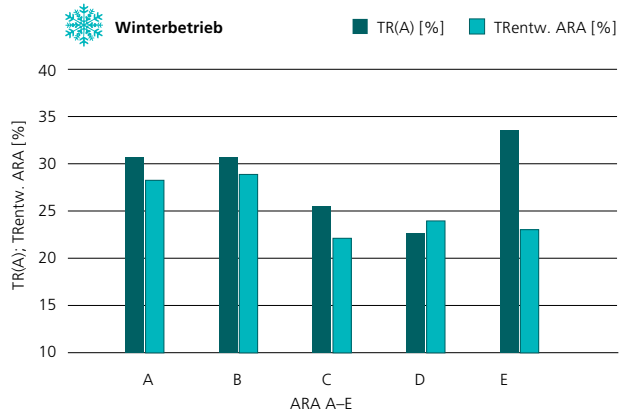


Abbildung 3 Winterbetrieb: Vergleich TR(A) und TR

Hinsichtlich des untersuchten Sommer- und Winterbetriebes kann festgehalten werden, dass sich im Sommer die betrieblichen Ergebnisse mit denen des Stands der Technik [TR(A)] grösstenteils decken. Im Winter, mit sinkenden Temperaturen und sich ändernden Schlammereigenschaften, nimmt die erreichbare Entwässerbarkeit TR(A) in der Regel ab. Betrieblich werden oft keine optimalen Entwässerungsergebnisse erreicht.

Oftmals beobachtet wird auch die Verschlechterung des Entwässerungsergebnisses aufgrund der Steigerung der Denitrifikationsleistung. Abbildung 4 zeigt den Einfluss der Denitrifikationsleistung auf das Entwässerungsergebnis, welche auf der ARA REAL, Emmen (LU), mit der stufenweisen Inbetriebsetzung einzelner neuer Verfahrensstufen dokumentiert wurde.

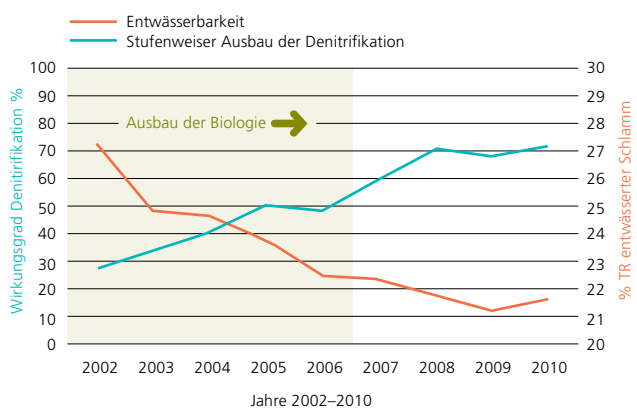
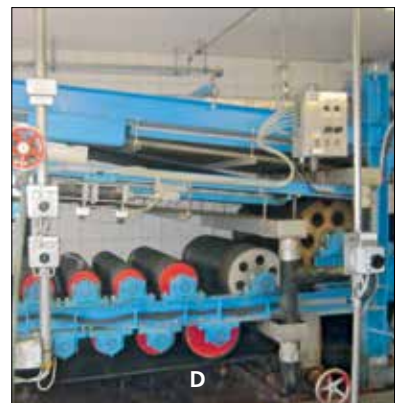
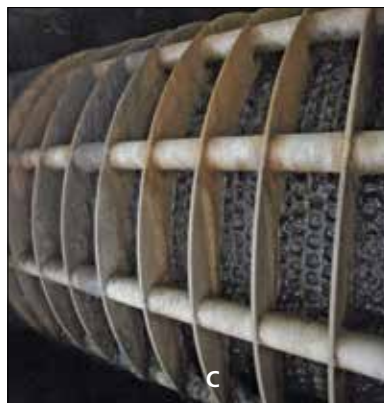
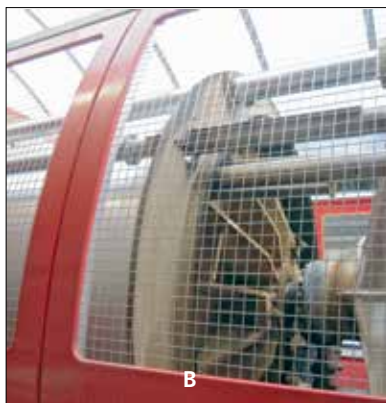


Abbildung 4 Einfluss der stufenweisen Erhöhung der Denitrifikationsleistung auf die Entwässerungsleistung. Daten ARA REAL, Emmen (Hr. Alexander Kleiner, REAL-Luzern)

5 | FAZIT AUS DEN UNTERSUCHUNGEN



Die Untersuchungsergebnisse zeigen deutlich, dass mit **Dekanterzentrifugen** das Entwässerungsergebnis nach dem Stand der Technik, das heisst die Abtrennung des freien Wassers, erreicht werden kann.

Schlauchfilterpressen erreichen ebenfalls optimale Entwässerungsergebnisse mit einem sehr hohen Abscheidegrad. Aufgrund der hohen Scherkräfte ist aber mit einem höheren Einsatz polymerer Flockungsmittel zu rechnen.

Schneckenpressen und Bandfilterpressen erreichen einen um etwa 2 % geringeren TR-Austrag als TR(A), benötigen dafür aber deutlich weniger Energie.

Voraussetzung für ein optimales Entwässerungsergebnis ist eine möglichst gleichmässige Schlammbeschaffenheit, ein kontinuierlicher Feststoffeintrag in die Entwässerungsmaschine sowie der Einsatz geeigneter und sachgemäss aufbereiteter polymerer Flockungsmittel.

Beim Ansetzen der Polymerlösung muss darauf geachtet werden, dass diese mindestens 45 Minuten reifen kann und die Lösung danach innert Tagesfrist verbraucht wird. Es wird eine redundante Aufbereitung empfohlen, so dass ein Teil der Polymerlösung angesetzt werden kann, während der andere verbraucht wird. Durchlaufanlagen sind zu vermeiden. Durch die Optimierung der Schlammkonditionierung ist zu erwarten, dass sich das betriebliche Entwässerungsergebnis um 1 % TR steigern lässt und der Verbrauch an Flockungsmittel um etwa 1 – 1,5 kg Wirksubstanz pro Tonne TR reduziert werden kann. Schlamm-entwässerungsversuche mit unterschiedlichen Flockungsmitteln zur Optimierung der Dosierungsmenge und zur Ermittlung einer ausreichenden Flockenscherstabilität sind zu empfehlen.

Verfahren

- A Dekanterzentrifuge
- B Schlauchfilterpresse
- C Schneckenpresse
- D Bandfilterpresse

Die Untersuchung verdeutlicht, dass die Entwässerungseigenschaften eines Klärschlammes im Wesentlichen durch die Zusammensetzung und Konzentration des Abwassers, des Mischschlammes (Primärschlamm, Überschussschlamm, externe Schlämme) sowie der für die erforderliche Reinigungsleistung angewandten Verfahrenstechnik bestimmt werden.

Auf Anlagen, welche eine weitergehende Nährstoffelimination betreiben, werden in der Regel deutlich geringere Entwässerungsergebnisse erzielt, als auf Anlagen die ausschliesslich Kohlenstoff eliminieren und nitrifizieren. Das Schlammalter hat somit einen wesentlichen Einfluss auf die Entwässerungseigenschaften.

Schliesslich nimmt bei der Phosphatentfernung das erreichbare Entwässerungsergebnis in der Abfolge Fällung mit Eisen-salzen, Fällung mit Aluminiumsalzen, biologische Phosphor-Elimination ab.

Die Anlagen-Randbedingungen sind praktisch nicht beeinflussbar, da sie dem vornehmlichen Ziel der Abwasserreinigung, d. h. einer weitgehendsten Entfernung von Schad- und Nährstoffen, folgen.

6 | WEITERGEHENDE VERFAHREN ZUR OPTIMIERUNG DER SCHLAMMENTWÄSSERUNG

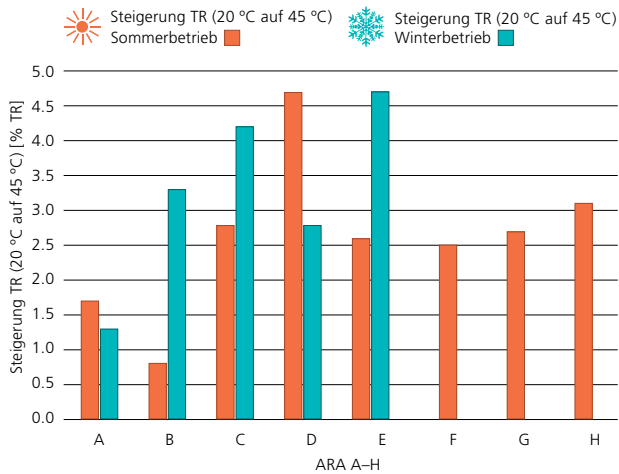


Abbildung 5 Verbesserung der Entwässerungsleistung in % TR durch Erwärmung des Faulschlammes

Verbesserte Temperaturführung und weitere Erwärmung

Neben einer optimalen Betriebsführung existieren auf dem Markt verschiedene Verfahren, mit denen die Entwässerbarkeit eines Klärschlammes verbessert werden kann. Diese werden nachfolgend vorgestellt und verglichen.

Heute wird meist der stabilisierte Klärschlamm vor der Entwässerung in Stapeltürmen oder Becken zwischengespeichert. Dies ermöglicht eine Entwässerung des Schlammes während der Betriebszeiten, eine Restausgasung und statische Nacheindickung mit einem ersten Abzug von Faulwasser, führt aber auch zu einer Abkühlung des Faulschlammes in Abhängigkeit von der Aussentemperatur. Mit sinkender Temperatur erhöht sich die Viskosität des Schlammes, was zu einem schlechteren Entwässerungsergebnis (TR) führt. Abbildung 5 zeigt die Verbesserung der Entwässerbarkeit durch Erwärmung von 20 °C auf 45 °C desselben Schlammes der 8 Zürcher ARA.

Eine nachträgliche Erwärmung des Schlammes oder die Aufheizung von angelieferten Fremdschlammes kann zu einer Verbesserung des Entwässerungsergebnisses führen. Dazu muss aber aus ökologischer und betriebswirtschaftlicher Sicht genügend Abwärme auf entsprechendem Temperaturniveau aus anderen Prozessen zur Verfügung stehen. Eine obere Grenze der Temperaturführung wird durch die Verwendbarkeit der Polymerlösung vorgegeben. Höhere Temperaturen als 60 °C sollten in der Regel nicht angestrebt werden.

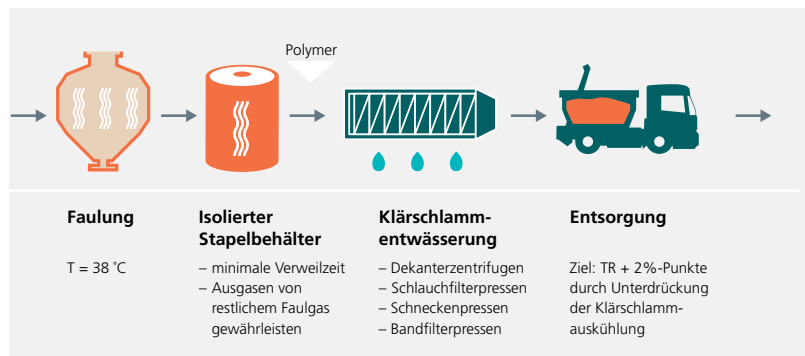


Abbildung 6 Beispiel einer Verfahrensführung zur Unterdrückung der Auskühlung

Ist eine längere Stapelung des ausgefaulten Schlammes betrieblich nicht unbedingt nötig, so ist eine möglichst direkte Entwässerung ohne starke Abkühlung, jedoch mit gezielter Ausgasung, wie sie die Abbildung 6 zeigt, in Betracht zu ziehen. Kann damit die Auskühlung des Schlammes nach der Faulung soweit unterdrückt werden, dass der Faulschlamm stets mit 35 °C entwässert wird, so könnte ein um bis zu 2 % TR besseres Entwässerungsergebnis erreicht werden.

Fällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat

Verfahren zur Ausfällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) eignen sich ausschliesslich für Anlagen mit biologischer Phosphor-Elimination. Im anfallenden Faulschlamm wird vor der Entwässerung mittels Zugabe von Magnesiumfällmittel und einer Luftstrippung (Ausgasen von CO₂) gezielt MAP in Reaktionsbehältern gefällt. Die resultierende Reduktion der gelösten Phosphatkonzentration verhindert primär die Verkrustung von Rohrleitungen, führt aber auch zu einer verbesserten Entwässerungsleistung. Bei Versuchen mit MAP-Fällung wurden Steigerungen von etwa 5 % TR gemessen. Da sich durch den Prozess der biologischen Phosphor-Elimination (Bio-P) das Entwässerungsergebnis vermindert, kann meist durch die MAP-Fällung lediglich das Niveau des Referenzzustandes bezüglich des erreichbaren TR-Gehaltes ohne Bio-P erreicht werden.

Thermische Hydrolyseverfahren

Bei den thermischen Hydrolyseverfahren wird der eingedickte Überschussschlamm oder der gesamte Frischschlamm erwärmt und je nach Verfahren bei 70 °C mit Laugenzugabe während 120 Minuten oder bei 150 °C während 30 – 60 Minuten aufgeschlossen, bevor der Schlamm in die Faulung geführt wird. Ziel ist es, die Schlammeigenschaften soweit zu verändern, dass Proteine vermehrt anaerob abgebaut werden. Dadurch sind bei der anschließenden Entwässerung bessere Ergebnisse zu erzielen. Thermische Hydrolyseverfahren für Überschussschlamm zeigen eine durchschnittliche Steigerung des Entwässerungsergebnisses um etwa 5 bis 7 % TR. Wird auf grösseren ARA der Überschussschlamm maschinell eingedickt, kann die Einbindung einer thermischen Hydrolyse geprüft werden. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb ist aber genügend Abwärme auf entsprechendem Temperaturniveau aus anderen Prozessen.

Kemi-Cond-Verfahren

Bei diesem Verfahren wird der anfallende Faulschlamm vor der Schlammentwässerung konditioniert. Durch die Zugabe von Schwefelsäure und Wasserstoffperoxid in Reaktionsbehältern erfolgt bei saurem Milieu eine Ausfällung von Proteinen, was zu einer Verminderung der Wasserbindung und somit zu besseren Entwässerungsergebnissen führt. Versuche mit dem Kemi-Cond-Verfahren lieferten Steigerungen des Entwässerungsergebnisses um bis zu 7 % TR. Bei einem dauerhaften Einsatz von Schwefelsäure können jedoch vermehrt Korrosionen an den Entwässerungs- und Austragsaggregaten auftreten. Zudem besteht bei einer Überdosierung die Gefahr einer Mobilisierung von Schwermetallen. Bei der Prüfung dieses Verfahrens müssen die zusätzlichen Sicherheitsaspekte sowie der erhöhte Chemikaleinsatz berücksichtigt werden.

Vergleich der Verfahren

Für einen vergleichenden Überblick sind in Tabelle 3 Versuche, bei denen die Verfahren zur Verbesserung der Entwässerbarkeit untersucht wurden, zusammengefasst.

Tabelle 3 Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse beim Einsatz neuer Verfahren zur Optimierung der Schlammentwässerung (Laborergebnisse, 2009–2012, Fr. Julia Kopp)

Klärschlammbehandlungsverfahren	Anzahl Datensätze	Verbesserung Entwässerbarkeit [%TR Punkte]		
		Mittelwert	Min.	Max.
Schlammvorerwärmung auf 45 °C	22	2,8	1,8	6,0
MAP-Fällung im Faulschlamm	10	5,1	1,8	6,4
thermische Hydrolyse des ÜS bei 145 – 165 °C	14	7,3	2,1	11,3
thermisch alkalische Hydrolyse des ÜS bei 70 °C	14	4,9	2,0	8,0
Kemi-Cond-Verfahren	10	7,6	2,3	15,7

Zusatzinformationen zur Tabelle:

Schlammvorerwärmung:

Verbesserung der Entwässerbarkeit gilt für die Erwärmung des Schlammes von 20 °C auf 45 °C; Kontrolle über Laborfilterpresse

MAP-Fällung:

erfordert Bio-P; mittlerer Verbrauch $MgCl_2$ (30%ig) mit $\beta = 2$ betrug 6,4 ml/l; mittlere PO_4 -P- Konzentration Schlammwasser vor MAP-Fällung = 378 mg/l (min = 87 mg/l, max. = 954 mg/l); mittlere PO_4 -P- Konzentration Schlammwasser nach MAP-Fällung = 11,7 mg/l (min = 5,7 mg/l, max. = 16 mg/l)

Thermische Hydrolyse des ÜS bei 145 – 165 °C (Cambi bzw. Lysotherm-Stulz Verfahren):

Aufschlussgrad des behandelten ÜS :
Mittelwert = 43,9 %; min = 26,9 %; max = 57,4 %;
Behandlung für 30 min bei 8 bar und 145 °C

Thermisch alkalische Hydrolyse des ÜS bei 70 °C (Pondus Verfahren):

Aufschlussgrad des behandelten ÜS :
Mittelwert = 39,0 %; min = 34,4 %; max = 46,0 %;
Behandlung für 120 min bei 70 °C und unter vorheriger Zugabe von 2 l/m³ Faulschlamm (50 %-ige) Natronlauge

Kemi-Cond-Verfahren:

Dosierung von 6–7 kg H_2SO_4 /m³ (96 %) (auf pH 4.5) und 0.75 kg H_2O_2 (100 %) je m³ Faulschlamm

7 | ERKENNTNISSE UND HINWEISE FÜR DIE ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG

Eine optimale Entwässerung des Faulschlammes wirkt sich unmittelbar auf die zu entsorgenden Schlammengen und die Entsorgungskosten jeder ARA aus.

Die Untersuchungen zeigen auf, dass die heute im Kanton Zürich verwendeten Anlagen mit Stand der Technik betrieben werden. Es besteht jedoch Optimierungsbedarf bei der Schlammkonditionierung und Anwendung von polymeren Flockungsmitteln, wie in Kapitel 5 dieses Berichts erläutert.

Im Betrieb haben sich auf ARA mit weitergehender Nährstoffelimination bereits heute mehrheitlich Dekanterzentrifugen, vereinzelt Schlauchfilterpressen, durchgesetzt. Der Einsatz von Schneckenpressen ist eine prüfenswerte Alternative für kleinere ARA. Insbesondere bei geringeren Durchsatzmengen erreichen die Dekanterzentrifugen, aufgrund des gewählten kleinen Trommeldurchmessers, eine geringere Kraftentwicklung und dadurch nicht mehr optimale Entwässerungsergebnisse, was somit deren höheren Energieeinsatz in Frage stellt. Anstelle des Betriebs einer eigenen Entwässerungsanlage kann ein Transport von flüssigem Schlamm in eine nahe gelegene ARA oder Schlammbehandlungsanlage möglicherweise ökonomisch und ökologisch sinnvoller sein.

Aufgrund der steigenden Anforderungen an die ARA-Reinigungsleistung, wie Stickstoffumwandlung bzw. -elimination, muss eher von einer Verschlechterung der Entwässerungsergebnisse ausgegangen werden. Das kann in Kauf genommen werden, steht doch dieser «Einbusse» das vornehmliche Ziel der Abwasserreinigung, d. h. Schad- und Nährstoffe weitgehendst aus dem Abwasser zu entfernen, gegenüber.

Weitergehende Verfahren, wie die Erwärmung oder chemische Behandlung von Faulschlamm, müssen bei Bedarf im Einzelfall ökologisch und ökonomisch geprüft werden. Die Angaben in der Studie können bei einer Beurteilung als Vergleichswerte dienen.

Die Ergebnisse aus diesem Bericht, insbesondere die definierten Leistungsindikatoren und Erkenntnisse aus den Versuchen, sollen den Eigentümern und Betreibern der Zürcher ARA dazu dienen, ARA-spezifische Verbesserungspotentiale zu ermitteln und mögliche Optimierungsmassnahmen zu ergreifen, falls diese technisch wie energetisch sinnvoll und wirtschaftlich tragbar sind.

Die Übersicht verschiedener Verfahren kann zur Beurteilung möglicher Prozessvarianten bei einem anstehenden Ersatz oder der Sanierung einer Klärschlammwässerungsanlage herangezogen werden. Dazu zwei Hinweise aus der Praxis:

Im Rahmen einer Ausschreibung für Entwässerungsanlagen empfiehlt es sich auch, die Werte bei maximaler Beschickung und unter Dauerlast (75 % vom Maximum) abzufragen. Die Entwässerungsaggregate sollen mit vertretbaren Reserven ausgelegt werden, da sich die Durchsatzleistung der Aggregate aufgrund veränderter Schlammeigenschaften vermindern kann.

Der Einsatz von Schneckenpressen kann eine Alternative zu Dekanterzentrifugen sein.

Schliesslich wird den Betreibern empfohlen, Entwässerungskenndaten und Betriebsdaten sorgfältig zu bestimmen, zu dokumentieren und regelmässig auszuwerten, um frühzeitig auf sich im Jahresgang verändernde Schlammeigenschaften reagieren zu können. Eine mögliche Zusammenstellung von Messparametern findet sich im Anhang zum Bericht.

8 | ANHANG

«MÖGLICHE BETRIEBSDATEN BZW. -PARAMETER»

Anlagenbereich	erhobene Betriebsdaten bzw. Parameter	Einheit
Zulauf	Abwassermenge	[m ³ /d]
	Anteil industrieller Einleiter der CSB Zulauf	[%]
Vorklärung	CSB-, ges. N-, ges. P-Fracht im Ablauf Vorklärung	[kg/d]
	Vorklärzeit	[m ³]
	TR Primärschlamm und GV	[%]
	Anfall Vorklärschlamm	[t TR/d]
Kenndaten Biologie	Volumen Belebung	[m ³]
	TR Überschussschlamm und Glühverlust	[%]
	Anfall Überschussschlamm	[t TR/d]
	TS (BB)	[g/l]
	Schlammalter (gesamt und aerob)	[d]
	Schlammvolumenindex	[ml/g]
Fällmitteleinsatz	Art der P-Elimination, eingesetztes Fällmittel (Fe ^{2+/3+} /Al ³⁺)	
	Fällmittelverbrauch	[kg/d]
Schlammfäulung	Rohschlammanfall	[t TR/d] und [m ³ /d]
	Rohschlamm TR und Glühverlust	[%]
	Überschussschlammanteil-Anteil am Rohschlamm	[%]
	Faulzeit	[d]
	Faulraumtemperatur	[°C]
	Faulschlammmenge	[m ³ /d]
Schlamm entwässerung	Durchsatz Entwässerungsaggregat	[m ³ /h]
	Temperatur Faulschlamm bei Entwässerung	[°C]
	TR Faulschlamm	[%]
	GV Faulschlamm	[%]
	TR nach Entwässerung	[%]
	pH-Wert des Faulschlamm	[-]
	elektrische Leitfähigkeit vom Faulschlamm	[mS/cm]
	TS im Zentrat/Filtrat	[mg/l]
	Abscheidegrad	[%]
	PO ₄ -P-Konzentration im Zentrat/Filtrat	[mg/l]
Polymere Flockungsmittel	Dosierung polymerer Flockungsmittel	[kg WS/t TR]
	Rückstellprobe, Chargennummer, Einsatzzeitraum	[-]
	Produkt und Wirkstoffgehalt	[%]
	Ansatzkonzentration Gebrauchslösung	[% WS]
	Ansatzwasser (Brauch-/Trink-/Brunnenwasser)	Qualität
	Reifezeit bei der Polymeraufbereitung	[min]

9 | LITERATUR

- DWA-M 350 (2013) «Aufbereitung polymerer Flockungsmittel»
DWA Hennef, Germany
ISBN: 978-3-942964-79-1
- DWA-M 366 (2013) «Maschinelle Schlamm entwässerung»
DWA Hennef, Germany
ISBN: 978-3-942964-05-0
- DWA-M 383 (2008) «Kennwerte der Klärschlamm entwässerung»
DWA Hennef, Germany
ISBN: 978-3-941089-29-7
- Kopp, J. (2001) «Wasseranteile in Klärschlamm suspensionen – Messmethode und Praxisrelevanz»
Inst. für Siedlungswasserwirtschaft TU Braunschweig, Heft 66
- AWEL (2013) «Grundlagen zur Ermittlung des Stands der Technik für die Entwässerung von Klärschlamm»
- VSA (2010) »Handbuch Energie in ARA«

