

EAWAG



Swiss Federal Institute
for Environmental Science
and Technology



KTI  CTI



Neue Presstechnologie zur verbesserten Klärschlamm- entwässerung



Schlussbericht zu den Untersuchungen auf der
ARA Glarnerland (AVG)

Dübendorf, Juli 2003

Ein Projekt

der

EAWAG

und

Bucher-Guyer AG

**Abwasserverband Glarnerland
(AVG)**

unterstützt durch die

**Kommission für Technologie
und Innovation (KTI) Bern**

Bearbeitung

EAWAG

Marc Böhler
Hansruedi Siegrist

Bucher-Guyer AG

Dieter Pinnow
Dominik Müller
Werner Krauss

Abwasserverband Glarnerland

Herbert Brauchli

***Titelbild: HP2500 auf der ARA Glarnerland
bestückt mit neuen Drainageelementen
(Laschenkern + Filtertuch V1) (Foto: EAWAG)***

Inhalt

1	ZUSAMMENFASSUNG - ABSTRACT	4
2	HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG DES PROJEKTES	6
3	AUFGABENSTELLUNG	7
4	GRUNDLAGEN	8
5	DURCHGEFÜHRTE VERSUCHE	19
6	WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG	39
7	ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	40
8	WEITERES VORGEHEN UND AUSBLICK.....	41
9	SCHLUSSBEMERKUNG UND DANK	41

Literatur

Anhang

1 Zusammenfassung

Der vorliegende Schlussbericht fasst die Ergebnisse der Untersuchungen auf der ARA Glarnerland zur Entwässerung von Klärschlamm mittels einer Fruchtpresse zusammen. Er ersetzt den Zwischenbericht von Ende 2002.

Neben der Dokumentation der Praxisuntersuchungen werden die wesentlichen Grundlagen zur Einführung in die Thematik und zur besseren Einordnung der Ergebnisse genannt.

Die Entwässerungsversuche auf der ARA Glarnerland des Abwasserverbandes Glarnerland mit einer HP2500 Fruchtpresse der Firma Bucher Guyer AG bzw. der Bucher Foodtech haben gezeigt, dass mit dem für die maschinelle Klärschlamm-entwässerung neuen System eine Schlamm-entwässerung vorteilhaft ist.

In einer ersten Phase des Projektes wurden Pressparameter ermittelt, welche einen sicheren und stabilen Prozess der Entwässerung gewährleisten. In einer weiteren Phase wurden Optimierungen bezüglich des Betriebes und des Systems selbst (Drainagesystem) vorgenommen.

Es konnten mit diesem Presssystem bei einer Leistung von rd. $5\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ mit ausgefaulten Dünnschlamm 32% bis 41% Trockenrückstand erreicht werden, welches im Vergleich zu üblichen maschinellen Entwässerungsaggregaten als hoch zu bewerten ist. Neben Faulschlamm der ARA Glarnerland wurden auch Faulschlämme 5 weiterer Kläranlagen erfolgreich entwässert, wobei deutliche Unterschiede in der Entwässerbarkeit der Schlämme sichtbar wurden. Entwässerungsversuche mit Rohschlamm (von zwei verschiedenen Anlagen) führten zu guten bis sehr guten Trockenrückständen (35% und 41%) bei guten Durchsatzleistungen.

Der vom Betreiber der ARA Glarnerland als eher schlecht entwässerbar eingestufte Faulschlamm konnte in Langzeitpressversuchen bis auf 43,5% TR entwässert werden.

Vergleiche zum Einfluss des Pressdruckes zeigten auf, dass bei Erhöhung des Druckes von 5bar auf 10bar deutlich verbesserte TR-Gehalte am Ende des Pressganges erreicht werden können.

Die Entwässerung mit dem HP-System bedingt ebenfalls die Konditionierung der Schlämme. Werden Flockungshilfsmittel $\geq 12\text{ kg WS t TS}^{-1}$ vorgenommen, können die gewünschten hohen TR-Gehalte erreicht werden. Eine Optimierung des Flockungshilfsmiteleinsatzes wie Art des FHM, Dosierhöhe, Ort der Einmischung, etc. wurde vorgenommen. Eine gute Einmischung und Flockung konnte mittels eines statischen Mischers erreicht werden.

Gut ausgefaulte Klärschlämme (geringer Glühverlust) können wie erwartet auch mit diesem System besser entwässert werden. Die Abhängigkeit von Glühverlust und erreichten TR-Gehalt konnte aufgezeigt werden. Dennoch sollte dieser Schlammkennwert nicht als einzige Grösse zur Beurteilung der Entwässerbarkeit herangezogen werden. Weitere Faktoren haben einen deutlichen Einfluss auf die maschinelle Entwässerung.

Analysen der Partikelgrössenverteilung zeigten keine signifikanten Unterschiede für die Faulschlämme aus Bilten. Die Partikelverteilung einzelner Chargen des Biltener Schlammes konnte nicht in Abhängigkeit des erreichten TR-Gehaltes der Entwässerung gebracht werden. Deutliche Unterschiede zeigen sich jedoch im Vergleich zu verschiedenen Faulschlämmen fremder Kläranlagen (9 weiteren Faulschlämmen anderer Anlagen). Der Biltener Klärschlamm ist im Allgemeinen feiner. Hieraus resultieren Erschwernisse für die Entwässerung. Die Partikelgrössenverteilung kann Aussagen über die Wasseranteile machen, bestimmt jedoch nicht allein die Entwässerbarkeit.

Eine Optimierung des Drainagesystems wurde vorgenommen, wobei die Effizienz der Wasserabgabegeschwindigkeit (Kern und Textil) und die Auflockerung des Filterkuchens im Vordergrund standen. Drainagekern und Filterstrumpf (Filtertuch) wurden modifiziert bzw. optimiert. Hieraus resultierte eine Verringerung der Anzahl der Drainageelemente im Pressraum, welches die Auflockerung des Filterkuchens begünstigt (zwischen den einzelnen Elementen

ist mehr Platz zum Durchfallen der Filterkuchenstücke). Trotz verringerter Anzahl konnte durch den Einsatz des neuen Drainagekerns (Laschenkern) die wirksame Filteroberfläche erhöht werden. Weiterhin wurde ein alternatives Filtertextil (Textil V1) ermittelt und getestet. Eine höhere Wasserabgabegeschwindigkeit gegenüber dem Filtertextil M1 konnte jedoch nur zu Beginn der Versuche festgestellt werden. Insgesamt konnten durch Kombination der Massnahmen zur Optimierung des Drainagesystems die erzielten End-TR-Gehalte in der gleichen Grössenordnung wie mit Rundelementen und Filtertextil M1 erzielt werden, wobei hier nach eigener Einschätzung das mögliche Potenzial zur Erhöhung der Leistung noch nicht ausgereizt ist. Die Entwicklung und Optimierung des Drainagesystems wird zeitgleich ebenfalls im Fruchtsaftbereich eingesetzt und getestet und zeigt eine erheblich verbesserte Effizienz bzw. Ausbeute bei der Entsaftung von Früchten.

Eine durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass das vorgestellte Presssystem aufgrund der erreichbaren höheren End-TR-Gehalte gegenüber der Zentrifuge Kostenreduktionen für die Entsorgung der Nassschlämme erwirtschaften kann. Die höheren Investitionskosten für das HP-System werden nach rd. 3 Jahren (return of investment) durch die erzielten Ersparnisse kompensiert.

Insgesamt können der Verlauf und die erzielten Ergebnisse des Projektes als positiv bewertet werden. Vor allem aber konnte auch gezeigt werden, dass man mit einer etablierten Technologie neue Anwendungen erfolgreich erschliessen und als interessante Alternative anbieten kann. Der weitere Verlauf der Aktivitäten wird zeigen, ob dieses Entwässerungssystem sich im Bereich der maschinellen Klärschlammbehandlung ebenfalls etablieren kann.

Der hier vorliegende Schlussbericht gibt detailliert die Ergebnisse des Projektes wieder.

Abstract

This final report presents the results of full-scale waste water treatment plant (WWTP) sludge dewatering trials using a Bucher de-juicing press model HP2500. Besides digested sludge from the WWTP at Glarnerland, Sludge from five other WWTP's was also dewatered. The investigations show that with hydraulic system tested dry solids (DS) contents of 32-41% (with a throughput of approximately 5 m³ h⁻¹) could be reached. With extended cycle / batch time DS contents of up to 43.5% could be achieved. Dewatering trials with raw sludge (not putrefied) from two different WWTP's resulted in DS content of 35% and 41%. The dosage of coagulant aids, particle size distribution and volatile suspended solids (VSS) have a significant influence on the dewatering results. An economic efficiency calculation is presented with direct comparison to a centrifuge used at the WWTP. Return of investment is expected to be achieved within 3 years.

2 Hintergrund und Zielsetzung des Projektes

Derzeit fallen in der Schweiz rd. 200'000 t Klärschlamm (TR) pro Jahr durch die Reinigung von Abwasser an. Die Behandlung und Entsorgung des Klärschlammes verursacht einen erheblichen Kostenaufwand für die verantwortlichen öffentlichen Träger. Die Schweiz hat aufgrund einer ökologischen Risikobeurteilung beschlossen ab 2005 den Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung zu vollziehen (BUWAL, 2001), was einer Verbrennung allen Schlammes gleichkommt. Die Klärschlammverbrennung kann als kostenintensivster Entsorgungspfad angesehen werden, da eine entsprechende Vorbehandlung notwendig wird. Die autarke Verbrennung in einer KVA erfordert eine Entwässerung des Schlammes auf einen Trockenrückstand (TR) von min. 35%.

Aufgrund dieser Tatsachen ist die Verfügbarkeit von zweckdienlichen Informationen über Möglichkeiten der Reduktion der Mengen als auch eine Optimierung der Verfahrenstechniken zur Klärschlammbehandlung angezeigt. Ein Teilschritt der Behandlung ist die Verringerung der Mengen durch eine maschinelle Entwässerung.

Die Fa. Bucher-Guyer AG hat ein Presssystem für die Fest-Flüssig-Trennung entwickelt, welches in der Frucht- und Gemüsesaftindustrie seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt wird. Vorversuche mit gut ausgefaulten Schlamm der ARA Oberes Surbtal haben gezeigt, dass mit diesem System auch Klärschlamm erfolgreich maschinell entwässert werden kann.

Vor diesem Hintergrund wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Bucher Guyer AG, der EAWAG und der ARA Glarnerland grosstechnische Versuche zur maschinellen Entwässerung von Faul- und Frischschlamm mittels einer Fruchtpresse durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, diese etablierte Verfahrenstechnik unter Randbedingungen einer Kläranlage zu testen und zu optimieren. Mit dem Anliegen, die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu fördern, hat die Kommission für Technologie und Innovation (KTI) die Versuche finanziell unterstützt.

3 Aufgabenstellung

Um eine sichere Einführung der in der Lebensmittelindustrie etablierten Technologie in das potentielle neue Marktsegment der Umweltverfahrenstechnik einzuführen, ergaben sich für den grosstechnischen Versuchsbetrieb auf einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) eine Reihe von Fragestellungen. Die im Projektproposal definierten Aufgaben waren:

- Werden die ermittelten Entwässerungsleistungen und die hohen Entwässerungsgrade auch im grosstechnischen Massstab unter Praxisbedingungen erreicht?
- Welches Optimierungspotential haben die vorhandenen Steueralgorithmen? Welche Parameter innerhalb der Algorithmen müssen gegebenenfalls angepasst werden?
- Welche Lebensdauer haben die Filterschläuche?
- Wie wirken sich abrasive Inhaltsstoffe im Klärschlamm wie z.B. Sand auf den Verschleiss einzelner Komponenten der Presse aus?
- Bei der Entleerung der HPL200-Pressen (Vorversuche) kam es bei besonders guten Entwässerungsergebnissen zum Anhaften des Filterkuchens an die Druckplatte. War dies nur ein Problem des kleinen Massstabs? Wie kann gegebenenfalls dieses Anhaften vermieden werden?
- In welchen Abständen muss die Presse gereinigt werden?
- Treten Störungen im Betrieb auf? Kann die Presse vollautomatisch im 24 h - Betrieb ohne Aufsicht betrieben werden?
- Was sind die am besten geeigneten Flockungshilfsmittel für das spezielle System der hydraulischen Presse (mehr Scherbeanspruchung als bei Kammerfilterpresse, weniger als bei Bandfilterpresse und Dekanter)?
- Welchen Nutzen hat die Zugabe von organischen Strukturbildnern wie zum Beispiel Sägespänen, Strohhacksel?
- Welche Betriebskosten sind zu erwarten? Wie ist die Wirtschaftlichkeit der hydraulischen Presse- insbesondere auch im Vergleich mit herkömmlichen Entwässerungssystemen?
- Kann das Presssystem im Dauerbetrieb den Anforderungen unter kläranlagenspezifischen Randbedingungen genügen?

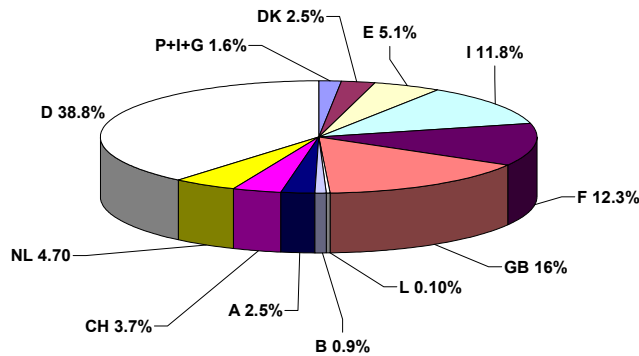
Neben diesen Bearbeitungsschwerpunkten ergaben sich im Verlauf des Projektes weitere wichtige Fragestellungen, die im Wesentlichen im Projektzeitraum 2003 bearbeitet wurden:

- Kann sich die Entwässerungsleistung durch ein leistungsfähigeres Filtergewebe und durch ein optimiertes Drainagesystem (Flach-/Laschenkern) wesentlich steigern?
- Kann durch eine bessere Verteilung der Drainageelemente im Pressraum die Auflockerung des Filterkuchens verbessert werden?
- Erreicht man eine verbesserte Konditionierung der Schlämme mittels zusätzlicher/anderer chemischer Zusatzstoffen (Nanopartikel, PAC)? Wie lässt sich die Konditionierung allgemein verbessern (Einmischung)?
- Wie gut lassen sich externe Faulschlämme anderer Kläranlagen entwässern und ist eine zufrieden stellende Entwässerung von Frischschlamm möglich?

4 Grundlagen

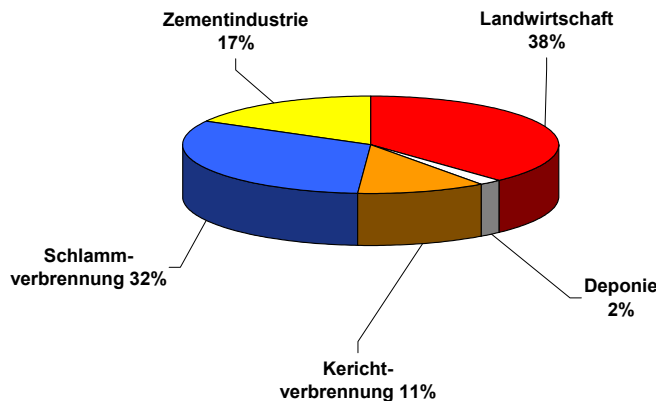
4.1 Klärschlammanfall und -behandlung

Jegliche Abwasserreinigung bedingt einen Klärschlammanfall, da Feststoffe im Abwasser als auch gelöste Schmutzstoffe, welche durch die Reinigung in Feststoffe überführt werden, vom Wasser getrennt werden sollen. Die biologische Abwasserreinigung kommunaler und gewerblicher Abwässer wird heute im Wesentlichen durch das Belebungsverfahren vollzogen und produziert Überschussschlamm (ÜSS) durch den Biomassenzuwachs. Primärschlamm (PS) fällt durch die Vorklärung des Abwassers an und beinhaltet die Feststoffe des Rohabwassers. Neben diesen beiden Hauptanteilen ergibt sich durch die chemische P-Elimination Tertiärschlamm (Fällungsprodukte). Als Frischschlamm oder Rohschlamm (RS) bezeichnet man das ungefaulte Gemisch der genannten Schlämme. Die Höhe des Schlammanfalls kann stark von der gewählten Verfahrenstechnologie als auch vom Reinigungsziel der ARA abhängig sein. Da der überwiegende Teil (über 90%) des Klärschlammes Wasser ist und dieser schwankend ist, werden bei Mengenangaben oftmals nur die Feststoffe als Trockenrückstand (TR) genannt.



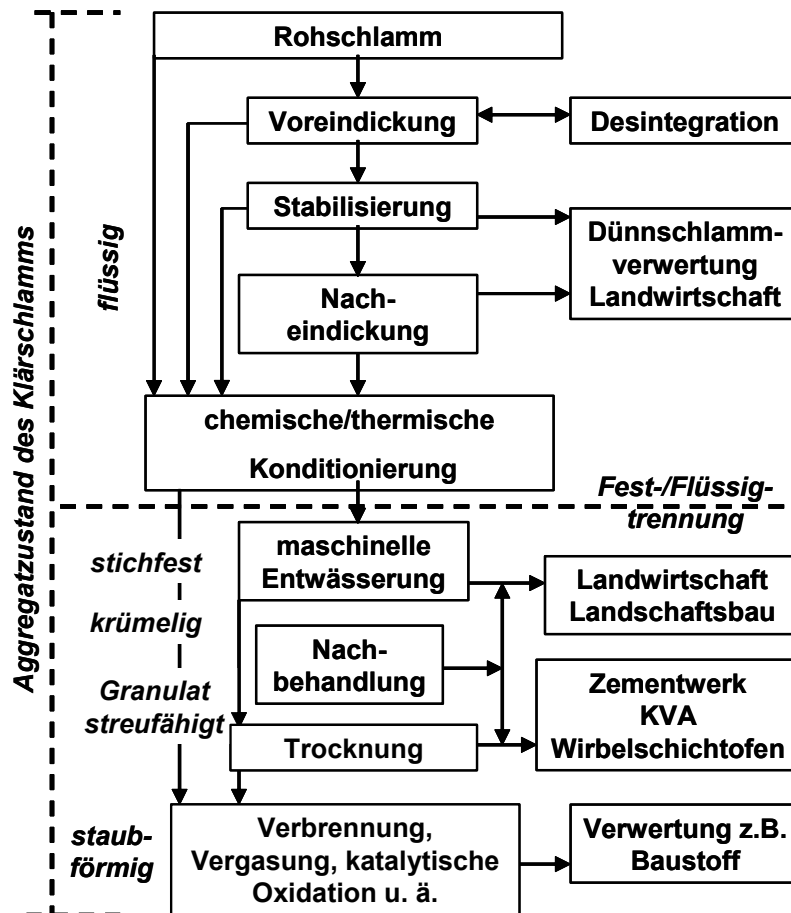
Figur 1: Klärschlammaufkommen in der EU und der Schweiz im Jahr 1994 (Sintic et al., 2001)

In der EU und der Schweiz fallen rd. 7 Mio t TR jährlich an, anteilig für die Schweiz sind dies rd. 200'000 t TR jährlich (Figur 1). Figur 2 zeigt die bisherigen Entsorgungspfade für die Schweiz, wobei auf die landwirtschaftliche Verwertung im Jahr 2000 38% mit rd. 80'000 t TR pro Jahr entfielen. Dies sind rund 4 Mio. Kubikmeter Dünnschlamm. Zukünftig wird auch dieser Anteil verbrannt werden (BUWAL, 2003).



Figur 2: Entsorgungspfade des Klärschlammaufkommens in der Schweiz (BUWAL, 2000)

Je nach Entsorgungspfad des Klärschlammes durchläuft dieser unterschiedliche Behandlungsstufen. Jede Behandlung beinhaltet eine gewünschte Mengenreduktion. Figur 3 zeigt die grundsätzlichen Behandlungsmöglichkeiten für den Klärschlamm. Je nach Höhe des Wasserentzug ändert sich auch der Aggregatzustand des Schlammes.



Figur 3: Behandlungsschritte für die Entsorgung von Klärschlamm bzw. dessen stofflichen Verwertung

4.2 Rechtlicher Hintergrund

In der Schweiz wird die Entsorgung des Klärschlammes seit dem 9.06.1986 durch die Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV) gelenkt. Bereits in der Klärschlammverordnung von 1981 wird Klärschlamm als Schadstoffslenke angesehen. Die Bestimmungen der Klärschlammverordnung bzw. welcher Klärschlamm in die Landwirtschaft abgegeben werden durfte, galt mit einer Übergangsfrist bis 1992. Gemäss StoV ist für eine Verwertung des Klärschlammes als Dünger keine Genehmigung beim Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) einzuholen. Im Anhang der StoV unter Kapitel 4.5 werden jedoch Bestimmungen genannt, die sowohl eine quantitative Bewertung bezüglich biologischer und chemischer Eigenschaften zulassen, als auch eine Aussage über die notwendige Vorbehandlung machen, wenn der Klärschlamm landwirtschaftlich verwendet werden soll.

Die Festlegung und Definition der Bestimmungen des Anhangs lösten erneute Diskussionen in der Gesellschaft und Politik aus, so dass das BLW, unterstützt vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft (BUWAL), eine Risikoanalyse zur landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm durchführen liess. Die Ergebnisse der 2001 abgeschlossenen Risikoanalyse (FAL, 2001) sind heute ebenfalls Grundlage für die Haltung weiterer Bundesämter wie dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) und dem Bundesamt für Veterinärwesen (BVET).

Die Erkenntnisse dieser Analyse führten zur Änderung der StoV bzw. dessen Anhänge und weiterer Bundesverordnungen. Im Wesentlichen lassen diese sich wie folgt zusammenfassen

- Die Klärschlammvorschriften im Anhang 4.5 über Düngung in der Stoffverordnung bleiben während der vorgeschlagenen Übergangsfrist bis zum endgültigen Verbot ab 2005 (geplant 01.10.2005) weitgehend unverändert
- verschärft werden dabei jene Vorschriften, die in direktem Zusammenhang mit Gesundheitsgefahren stehen:
 - a) ab Inkrafttreten der neuen Klärschlammvorschriften (ab 01.01.2003) darf auf Futterflächen und Ackerflächen mit Erträgen ganz oder teilweise zu Futterzwecken und auf Gemüseflächen kein Klärschlamm mehr verwendet werden – dies gilt auch dann, wenn der Klärschlamm hygienisiert ist
 - b) er darf ab sofort weder Kompost noch Gärgut beigemischt und auch nicht mehr landwirtschaftliche genutzten Güllegruben beigegeben werden
 - c) schliesslich darf er in der ganzen Grundwasserschutzzone S nicht mehr ausgebracht werden
 - d) (...) Klärschlamm wird – nach einer 3-jährigen Übergangsfrist – zu einem Abfall, der dann umweltverträglich beseitigt werden muss (Verbrennung ab 2005)

Da nach diesen neuen Bestimmungen Klärschlamm als Abfall definiert wird, gilt die Technische Verordnung für Abfälle (TVA), welche die **vollständige thermische Entsorgung** vorsieht.

4.3 ARA Glarnerland (AVG)

Die ARA Glarnerland gehört zum Abwasserverband Glarnerland (AVG) und reinigt das anfallende kommunale und gewerblich/industrielle Abwasser aus dem Verbandsgebiet. Die Anlage ist für Nitrifikation/Denitrifikation und chemische P-Elimination ausgelegt und hat heute eine Belastung von rd. 60'000 Einwohnergleichwerte (EGW).

Die vorhandenen Schlammbehandlungsanlagen wurden seit Inbetriebnahme der ARA den veränderlichen Anforderungen der Behandlung und Entsorgung stetig angepasst. Die aus der örtlichen Abwasserreinigung resultierenden Schlämme wurden bis Ende 2002 vor der anaeroben Stabilisierung thermisch hygienisiert (die Hygienisierung wird seit 2003 nicht mehr betrieben). Nach der anaeroben Stabilisierung im Faulturm dienen 3 Nacheindicker zur Eindickung und Stapelung des aus dem Prozess anfallenden ausgefaulten Dünnschlammes. Neben diesem Faulschlamm werden grössere Mengen FS von benachbarten Kläranlagen angenommen und in den Stapelbehältern zwischengelagert und anschliessend mit den eigenen Schlämmen maschinell entwässert. Die Qualitäten der angelieferten Schlämme können stark variieren und verändern je nach Anlieferung (Herkunft und Menge) die Zusammensetzung des zu verarbeitenden Schlammes. Für die maschinelle Entwässerung ersetzt seit Mitte 2002 eine neue Zentrifuge die vorhandene Siebbandpresse. Eine anschliessende solare Trocknung bringt den Nassschlamm auf rd. 50% TR. Sie wurde in 2003 um 2 weitere Hallen erweitert.

Insgesamt werden auf der ARA Glarnerland rd. 35'000 m³ Dünnschlamm/a (entsprechend rd. 900 t TR/a, Tendenz steigend) verarbeitet und entsprechend den Entsorgungspfaden entwässert bzw. getrocknet. Aufgrund der rechtlichen Situation ist der Anteil von rd. 2/3 Verwertung in der Landwirtschaft (1996) durch heute nahezu 100% Verbrennung ersetzt worden (AVG, 1996 und mündliche Mitteilung Anlagenbetreiber).

4.4 Schlammkenngrössen

Eine Vielzahl von Schlammkenngrössen beschreibt die Qualität von Klärschlamm suspensionen. Nur die im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen bzw. relevanten Grössen werden hier kurz erläutert:

4.4.1 Trockenrückstand und Glühverlust

Trockenrückstand (TR) und Glühverlust (GV) stellen zentrale Kenngrössen für die betriebliche Beurteilung von Klärschlamm auf einer ARA dar.

Der Trockenrückstand beschreibt den Klärschlammanteil nach Entzug sämtlichen Wassers, und wird häufig als Trockenmassenanteil in Massenprozent [kg/kg] angegeben. Werden spezifische Angaben gemacht, beziehen diese sich auf die Trockenmasse (m_T). Der TR ist die Summe aller gelösten und ungelösten Inhaltsstoffe der Klärschlamm suspension nach Trocknung bei 105°C. In der Praxis wird oftmals der Trockensubstanzgehalt (TS) angegeben, der jedoch eigentlich definitionsgemäss die gelösten Inhaltsstoffe nicht erfasst.

Die organischen Anteile des Trockenrückstandes, welche bei 550°C verglühen, werden als Glühverlust (GV) bezeichnet (Angabe in Prozent). Der GV beeinflusst massgeblich andere Kennwerte. In diesem Zusammenhang sind die Dichte der Schlamm partikel, die Kompressibilität des Schlammkuchens, die Wasserbindung und der Bedarf an Konditionierungsmittel zu nennen. In der Regel weist ein Schlamm mit hohem organischen Anteil (hoher GV) eine geringe Dichte auf, ist kompressibel, bindet in den organischen Anteilen viel Wasser und benötigt einen relativ hohen Bedarf an Konditionierungsmitteln und wird als eher schlecht entwässerbar eingestuft.

4.4.2 Wasseranteile im Klärschlamm

Klärschlamm suspensionen bestehen zu einem überwiegenden Teil aus Wasser (rd. 95%), welches sich in verschiedene Anteile unterscheiden lässt. Für die Begrifflichkeit der verschiedenen Wasseranteile bestehen in der Literatur Unschärfen. Einen guten Überblick gibt Kopp (2001). Grösse der Wasseranteile und Partikelgrössenverteilung können in einem engen Zusammenhang stehen.

Der freie Wasseranteil ist nicht an die Partikel gebunden und stellt den grössten maschinell abtrennbaren Wasseranteil dar. Er ist aufgrund der Beweglichkeit zwischen den Flocken bei der maschinellen Klärschlamm entwässerung nach einer guten Flockung leicht abtrennbar. Ein weiterer Anteil ist das Zwischenraumwasser, welches kapillar gebunden ist. Als gebundenes Wasser versteht man das an Partikeloberflächen gebundene Wasser (Haftwasser, Oberflächenwasser) und Wasser, welches im Inneren von Zellen (Zellinnenwasser) eingeschlossen ist. Zwischenraumwasser und gebundenes Wasser lassen sich nur schwer bzw. überwiegend nicht maschinell abtrennen und verbleiben im Schlammkuchen (Kopp, 2001, Vesilind, 2003).

4.4.3 Partikelgrössenverteilung

Es ist davon auszugehen, dass die Partikelgrössenverteilung einen direkten Einfluss auf das Entwässerungsverhalten von Klärschlamm hat (Luggen, 1976). Die Möglichkeiten und die Reproduzierbarkeit der Partikelmesstechnik sind jedoch oftmals noch unbefriedigend, sodass eine Quantifizierung des erzielbaren Entwässerungsergebnisses, basierend auf Partikelgrössenmessungen, kritisch zu bewerten ist (ATV, 1992, Kopp, 2002). Folgende grundsätzliche Aussagen können aus der Messung der Partikelgrösse abgeleitet werden:

- die durchschnittliche Partikelgrösse verkleinert sich mit zunehmender Faulzeit bzw. Behandlungszeit (mechanische Beanspruchung). Dadurch bedingt wird das Verhältnis Partikeloberfläche zur Partikelgrösse mit Verminderung der Letzteren vergrössert, der Polymermittelbedarf steigt dadurch

- des Weiteren steigt der Anteil Haftwasser, welcher mittels maschineller Entwässerung schwer bis gar nicht abzutrennen ist
- die Abnahme der Partikelgrösse bedingt eine Zunahme der Porenanzahl und ist dadurch mit einem Anstieg des kapillar gehaltenen Wassers verbunden
- die Abnahme der mittleren Partikelgrösse verursacht eine Vereinheitlichung der Grössenverteilung (Breite der Verteilung). Durch die Faulung werden grosse Partikel zerkleinert, sehr kleine Partikel verschwinden, so dass der Anteil Zwischenraumwasser der Poren zwischen den Partikeln steigt
- ein gegenläufiger Effekt bedingt, dass mit zunehmender Faulzeit der Glühverlust verringert wird und dadurch die Entwässerbarkeit steigt

4.5 Schlammkonditionierung - Zusatzstoffe

Zur Klärschlammkonditionierung zählen alle Verfahren, die zu einer Verbesserung der Entwässerbarkeit führen und kann durch chemische und/oder physikalische Operation erzielt werden.

Klärschlammteilchen weisen negative (anionische) Oberflächenladungen auf, die u. a. durch exopolymere Substanzen und Proteine verursacht werden. Die negativen Oberflächenladungen wiederum verursachen elektrostatische Abstoßkräfte der Teilchen untereinander. Eine effektive Schlammabwasserung ist deshalb nur nach einer vorherigen Konditionierung möglich. Vorrangig kommen chemische Mittel zum Einsatz, bei denen kationische Konditionierungsmittel eingesetzt werden. Die kationischen Ladungsträger kompensieren die anionische Oberflächenladung der Schlammteilchen und die elektrostatischen Abstoßkräfte werden so vermindert, dass eine Flockenbindung eintritt. Durch die Flockung verbessert sich die Wasserabgabegeschwindigkeit der Feststoffsuspension. Messgrösse für die elektrostatischen Abstoßkräfte ist das Zetapotential. Die optimale Dosiermenge für einen Klärschlamm entspricht der Menge an Konditionierungsmittel, die benötigt wird, um die elektrostatischen Abstoßkräfte vollständig zu destabilisieren (Kopp, 2001).

Als kationische Ladungsträger wurden organische Flockungshilfsmittel (Polymere, FHM) und anorganische Flockungsmittel/Fällungsmittel (Polyaluminiumchlorid, PAC) eingesetzt. Dabei laufen stets zwei Reaktionen gleichzeitig ab; die der Koagulation und Flocculation (Döll, 1986). Bei der Koagulation werden die elektrostatischen Abstoßkräfte destabilisiert und bei der Flocculation erfolgt eine Brückenbildung durch adsorbierte Polymere zwischen den Schlammteilchen und der Bildung von Makroflocken (Mithopoulos, 1995).

Neben diesen chemischen Konditionierungsmitteln wurden Nanopartikel auf Basis von Siliziumdioxid eingesetzt. Es dient ebenfalls in Kombination mit einem kationischen FHM mit seiner Anionenaktivität zur Reduktion der Oberflächenladung der Teilchen, da diese partiell kationisch nach der eigentlichen Flockung aufgeladen sein können.

Strukturbildner, wie zum Beispiel Reishülsen oder Sägemehl können als Zusatzstoffe die Drainagefähigkeit eines Entwässerungsgutes deutlich erhöhen. Da durch die Zugabe eines solchen Strukturbildners eine Massenzunahme erfolgt, ist im Klärschlammbereich die Anwendung wenig sinnvoll. Es wurde zur Abschätzung ein Versuch mit Reishülsen auf der HP14 gefahren, wobei keine Verbesserung der Wasserabgabegeschwindigkeit beobachtet werden konnte.

4.6 Verfahren und Grenzen der maschinellen Klärschlamm-entwässerung

Die maschinelle Klärschlamm-entwässerung ist ein wichtiger Teilschritt in der gesamten Verfahrenskette der Klärschlammbehandlung. Das Ziel der Fest-Flüssigtrennung ist es stets eine Volumenreduktion der anfallenden Menge zu erreichen und den Klärschlamm für seine weitere Behandlung entsprechend den Anforderungen vorzubereiten.

Oftmals ist eine weitestgehende maschinelle Entwässerung angestrebt, da die Effizienz und Insbesondere die daraus resultierenden Kosten der nachfolgenden Behandlungsverfahren und der Entsorgung massgeblich beeinflusst werden. Dies verdeutlicht die Tatsache, dass eine Halbierung des Wasseranteils in einer Klärschlamm-suspension nur zu einer Verdopplung des TR-Gehaltes führt.

Übliche maschinelle Entwässerungsaggregate erreichen die in der Tabelle 1 angegebenen Entwässerungsgrade. Die Werte sind in Abhängigkeit von der Entwässerbarkeit der Schlämme und der Durchsatzleistung der Maschinen zu bewerten (Jung et al., 1995).

Tabelle 1: Erreichbare TR-Gehalte üblicher Entwässerungsaggregate (Jung et al., 1995), erweitert um HP-System

Entwässerungs- aggregat	Konditionierungsmittel			erreichbarer TR-Gehalt ²	Energie- verbrauch ³
	Ca(OH) ₂ [kg/m ³]	FeCl ₃ [kg/m ³]	Polymer [kg WS /t TR] ¹		
Dekanter/Zentrifuge	-	-	ca. 3 - 8	rd. 20 - 32	rd. 1.8 – 2.0
Hochleistungsdekanter	-	-	ca. 4 - 8	rd. 25 - 35	rd. 1.8 – 2.2
Kammerfilterpresse	ca. 15	ca. 5 – 7.5	-	rd. 28 – 40 ⁴	rd. 1.5
Membranfilterpresse	ca. 3 - 4	ca. 1 – 1.5	ca. 3.5 - 5	rd. 30 – 45 ⁴	rd. 1.2
Bandfilterpresse	-	-	ca. 2.5 - 5	rd. 20 - 28	rd. 0.3 – 0.5
HP2500	-	-	ca. 12	rd. 32 - 41	2.0

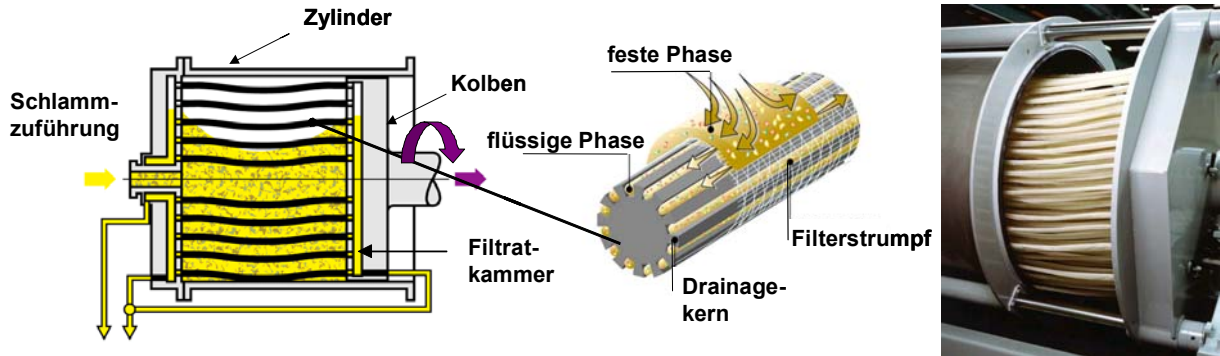
1) bezogen auf den Wirkstoffgehalt 2) abhängig von der Entwässerbarkeit des Schlammes 3) abhängig vom Durchsatz [m³/h] 4) Entwässerungsergebnis (brutto, inklusive Kalk und Eisen)

Die angegebenen Bandbreiten aus der Literatur können ggf. unter- oder gar überschritten werden. So werden gemäss mündlicher Mitteilung die Faulschlämme der ARA Bern (Tropfkörperanlage) mit Dekantern durchschnittlich auf einen TR-Gehalt von 40% entwässert, hingegen die wenig gut entwässerbaren Faulschlämme der ARA Werdhölzli mit einer Kammerfilterpresse auf nur durchschnittlich 28% TR (Polymerkonditionierung).

4.7 Hydraulik Presssystem HP-Serie

Die Firma Bucher Foodtech AG (Niederweningen) hat ein effizientes Fest-Flüssig-Trennsystem für die Entsaftung von Früchten entwickelt und bereits 1964 patentiert. Das Hydraulik Presssystem ist seit dieser Zeit sehr gut in den Markt eingeführt und dominiert aufgrund der hohen Entsaftungsleistung (Saftausbeute) den Fruchtpressenbereich. Je nach geforderter Durchsatzleistung stehen heute verschiedene Grössen der Fruchtpresse zur Verfügung (HP14; HPL200, HP1600; HP2500; HP3000, HP5000; HP10000). Die Zahl der Typenbezeichnung steht für das Volumen der Presse. Für die Untersuchungen zur Entwässerung von Klärschlamm wurde im Wesentlichen eine HP2500 verwendet. Für Einzelversuche wurde eine HP14 und HPL200 genutzt.

Die wesentlichen Komponenten der hydraulischen Presse sind ein Zylinder-Kolbensystem (Figur 4). Die Presseeinheit ist drehbar gelagert (Volumen 2500l) und rotiert durchgehend während eines Pressganges. Hauptkomponente des Systems ist das Drainagesystem, welches bei der HP2500 aus bis zu 130 flexiblen Drainageelementen besteht. Jedes dieser Drainageelemente besteht aus einem Drainagekern und einem Filterstrumpf. Der Filterstrumpf besteht aus einem sehr robusten und widerstandsfähigem Textil. Der Drainagekern ist mit Kanälen ausgestattet, welche das Schlammwasser in die Filtratkamern abführen.



Figur 4: Hydraulik Presssystem HP und Funktionsprinzip des Drainageelementes, rechts ein geöffneter Zylinder mit den Drainageelementen

Es handelt sich um ein Chargensystem, welches diskontinuierlich zwischen den einzelnen Zyklen mit Pressgut befüllt wird. Ein gesamter Pressgang kann aus bis zu 40 einzelnen Zyklen bestehen, wobei in Abhängigkeit des $TR_{Anf.}$ -Gehaltes eine Gesamtfüllmenge von 8 bis 10 m^3 Dünnschlamm bei der HP2500 erreicht werden kann. Figur 5 zeigt die einzelnen Teilschritte eines Zyklus. Nach jeder Pressphase wird der Presskolben zurückgezogen, während sich das Presssystem gleichzeitig langsam dreht. Durch das Zurückziehen des Kolbens entsteht ein leichter Unterdruck, wodurch Luft zurückströmt und die Filter frei spült. Gleichzeitig wird der Presskuchen durch die Rotation gründlich aufgelockert und neue Drainagewege können bei erneutem Druckanstieg im Kuchen erzeugt werden. Der Druck wird dabei kontinuierlich gesteigert (bis auf 10 bar).

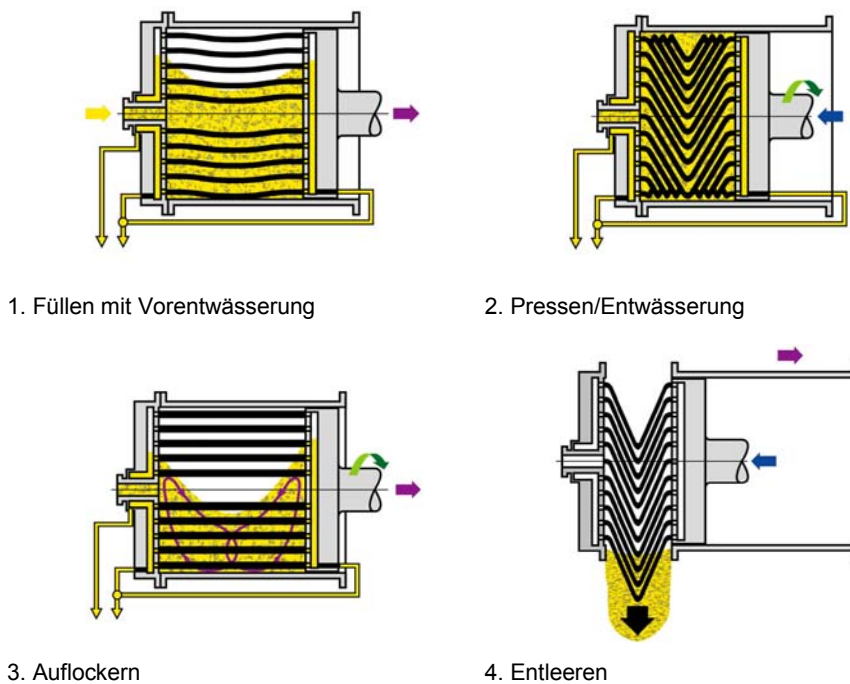


Figure 5: Funktionsschritte der Entwässerung mit der hydraulischen Presse

Durch das wiederholte Auflockern und wieder Anpressen kann eine optimale Entwässerung erzielt werden. Nach Beendigung des Pressprogramms wird der Mantel hydraulisch geöffnet, während sich das Presssystem wiederum gleichzeitig langsam dreht. Der Filterkuchen fällt in das Ausfallgehäuse und wird über eine Transportvorrichtung weggefördert. Eine Reinigung der Presse kann bei Bedarf vollautomatisch über einen integrierten Waschautomat erfolgen.

Das Bucher Foodtech Hydrauliksystem ist über eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) voll automatisiert. Eine Vielzahl von internen Parametern und Algorithmen ermöglichen einen sicheren Betrieb der Maschine, wobei bei Bedarf für jeden Einzelzyklus die Betriebszustände, Entwässerungsleistungen, Ausbeute, Druckanstieg, Alarme, etc. angegeben und über einen externen Logger erfasst werden können.

Da in der Fruchtsaftindustrie mit schwankenden Qualitäten der Rohware zu rechnen ist und die Entwässerbarkeit schwanken kann, beinhalten einige HP-Systeme eine Selbstoptimierungssteuerung. Ziel der Selbstoptimierung ist es, unabhängig von den Entwässerungseigenschaften eines Produktes und der Erfahrung des Pressenbedieners die maximale Leistung oder den maximalen Entwässerungsgrad zu erzielen. Das Prinzip der Selbstoptimierung besteht darin, dass der Systemzustand (Filtratstrom, Füllmenge, Filtratmenge, Druck etc.) zu jedem Zeitpunkt bekannt ist. Implementierte Algorithmen ermitteln dann jeweils aufgrund der Vorgeschichte die optimale Einstellung der Parameter und führen diese während des Prozesses nach. Die Selbstoptimierung übernimmt die Steuerung bzw. Einstellung der verfügbaren Parameter. Der Betreiber muss lediglich die Vorgabe machen, ob auf die Leistung oder den Entwässerungsgrad optimiert werden soll.

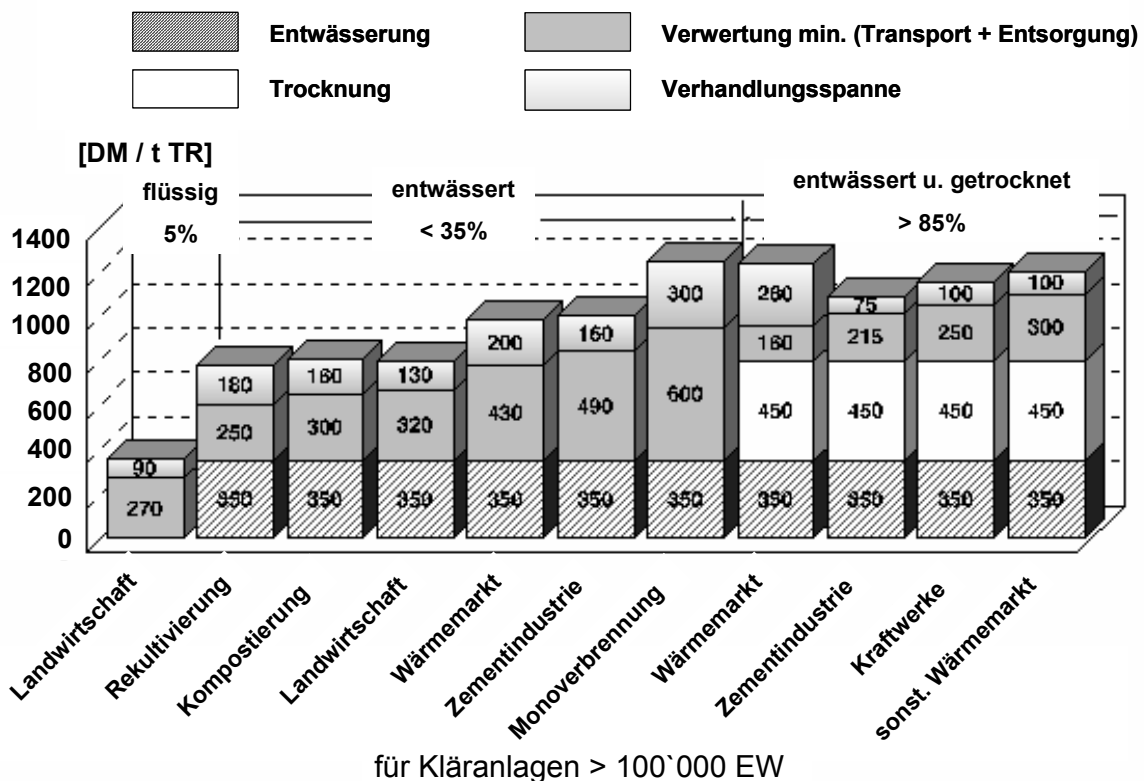
Da die Entwässerungseigenschaften von Klärschlamm ebenfalls Schwankungen unterliegen könnte die Selbstoptimierung auch hier einen optimalen Betrieb ermöglichen. Die Versuche auf der ARA Glarnerland wurden ohne Selbstoptimierung gefahren. Um einen stabilen Prozessablauf zu erhalten, wurden die entsprechenden Parameter schrittweise empirisch in Einzelversuchen bestimmt (vgl. Abschnitt 5.4.1).

4.8 Kosten der Schlammbehandlung

Folgende Angaben sollen einen Überblick über die Kostenverteilung und Höhe der Klärschlammbehandlung und Entsorgung geben. Da regional Unterschiede bezüglich der bestehenden Entsorgungspfade und -kapazitäten bestehen, können die Angaben nur als Richtwerte für eine allgemeine Einschätzung gelten. Kostenentwicklungen sind schwer abzuschätzen. Die Höhe der tatsächlichen Kosten ergibt sich immer aus den örtlichen Gegebenheiten.

Je nach Art und Kombination der Behandlungsverfahren und des späteren Entsorgungspfad-fallen die Kostenanteile für die Entsorgung unterschiedlich hoch aus. Die Effizienz der eingesetzten Verfahren und Hilfsmittel, aber auch die Qualität des Schlammes hat grossen Einfluss auf die einzelnen Kostenfaktoren. Auch spielen Verhandlung und örtliche Faktoren eine Rolle.

Figur 6 zeigt eine aus Literaturdaten zusammengestellte Verteilung der Kostenanteile für verschiedene Entsorgungspfade aus dem Jahr 1994 für Deutschland (DM Angaben, Baumgart, 1995) und veranschaulicht die mögliche Spannweite.



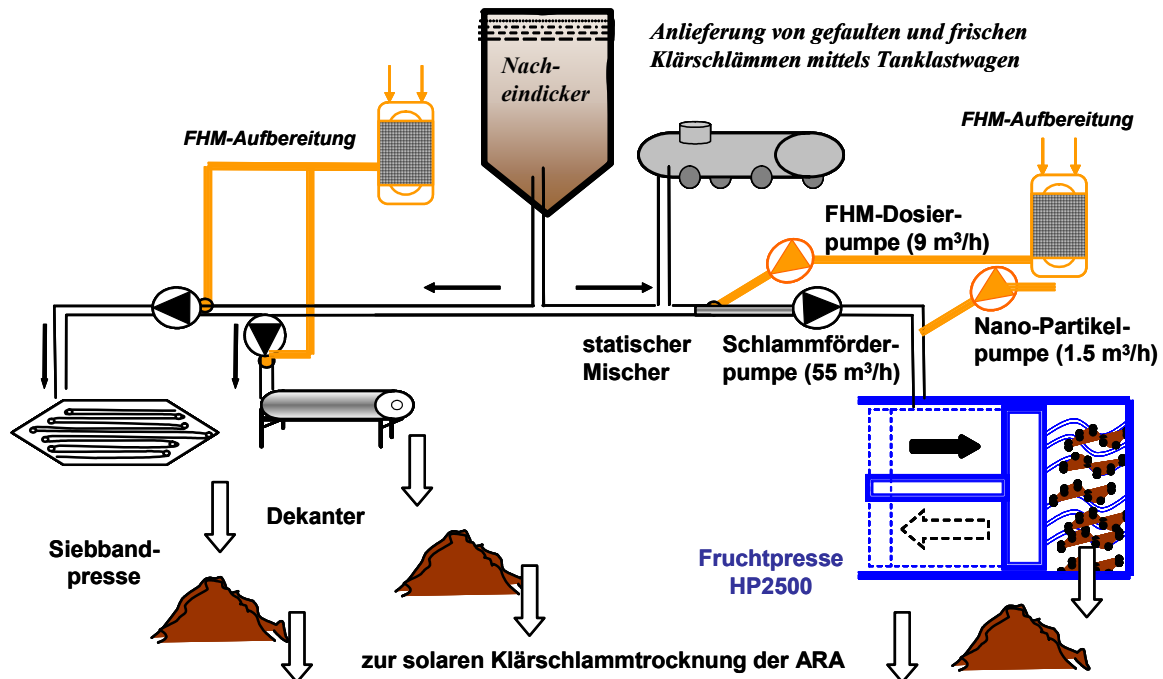
Figur 6: Verteilung der Kosten der Klärschlammbehandlung bzw. -entsorgung (Baumgart, 1995)

In der Schweiz fallen je nach Entsorgungspfad rd. 600 bis 1100 Sfr./ t TR an (Kt. Basel-Landschaft, 1998).

Nach einer neueren Studie (Steirer, 1999) werden für die Annahme von mechanisch entwässerten Klärschlamm mit einem TR-Gehalt von etwa 30% in kalorischen Kraftwerken Kosten von rd. 50 € / t entwässertes Schlamm angegeben, welche hier als eher niedrig eingeschätzt werden. Für die Mitverbrennung in Kraftwerken (thermische Verwertung in KVA) werden als gesicherte Kosten rd. 165€ / t entwässertes Schlamm von Meyer (1998) eingeschätzt. Für die in diesem Bericht vorgenommene Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird für den Transport und die Annahme ein Preis von 145 € / t TR entwässertes Schlamm (220 SFr.) für die Verbrennung angesetzt und entspricht den örtlichen Verhältnisse des Abwasserverbandes Glarnerland (Angabe AVG).

4.9 Aufbau und Betrieb der Infrastruktur

Der seit Anfang Juni 2002 laufende Testbetrieb der Presse verlangte eine stetige Ergänzung, Anpassung und Optimierung der Infrastruktur. Figur 7 zeigt schematisch das aufgebaute Verfahrensfließbild der grosstechnischen Versuche auf der ARA. Positioniert waren die Anlagen zwischen Schlammagerplatz und Schlammmentwässerung/Schlammeindicker der Kläranlage. Die Fruchtpresse HP2500 stand während des gesamten Versuchsbetriebes im Freien. Neben der Fruchtpresse wurden zur maschinellen Entwässerung eine ältere Siebbandpresse und ein neuer Hochleistungsdekanter betrieben.



Figur 7: Verfahrensfließbild der aufgebauten Infrastruktur bzw. Schlammbehandlung der ARA Glarnerland

Als ärgerlich und zeitaufwendig zeigten sich die Probleme bei der Schlammezuführung mittels provisorischer Leitung vom Schlammeindicker zur Presse. Die verwendeten Rohrleitungen (DN 100, neu) aus PE platzten bei unebener Verlegung häufig. Ebenfalls zeigte sich anfangs die Regelung und Bestimmung der Durchflussmengen und Feststofffrachten des Schlammes, der Flockungshilfsmittel (FHM) und Nano-Partikellösung als schwierig. Die eingesetzten Pumpen mussten daher häufiger ausgelagert werden. Für die Mengenermessung der Schlammezuführung wurde ein neuer induktiver Durchflussmesser installiert. Da sich nach einigen Testläufen zeigte, dass eine wesentlich leistungsstärkere FHM-Dosierpumpe benötigt wurde, wurde seitens der BG AG eine neue Exenterschneckenpumpe angeschafft. Eine Optimierung der Dosierstelle der FHM und Einmischung wurde vorgenommen (Bau und Einbau eines statischen Mixers, Dosierung gegen die Fließrichtung vor die Schlammförderpumpe, vgl. Figur 7). Um unabhängig vom Kläranlagenbetrieb zu sein, wurde eine eigene FHM-Aufbereitung aus zwei FHM-Anlieferbehältern mit Rührwerk und Wasseranschluss aufgebaut. Die Dosierung und -mischung der Nano-Partikellösung erfolgte auf halber Strecke der Schlämmeleitung zur Presse. Zur verbesserten Einmischung wurde eine Rückschlagklappe in die Rohrleitung integriert. Für den Transport des entwässerten Schlammes wurde ein Förderband installiert, welches den entwässerten Schlamm direkt auf den Schlammagerplatz förderte (Figure 8). Zur Abführung des anfallenden Faulwassers bzw. Filtrates der Entwässerung wurde eine fliegende Leitung verlegt, die das Prozesswasser zur separaten Prozesswasservorbehandlung transportierte.



Figur 8: HP2500 zwischen Faultürmen und Schlammagerplatz der ARA Glarnerland (linkes Bild, vor der Presse das Förderband; FHM-Aufbereitungsstation mit FHM-Dosierpumpe (Mitte); Schlammpörderpumpe mit stat. Mischer (rechts))

Da in Versuchen mit der Laborpresse HP14 sich ein neuer Drainagekern und ein neues Filtergewebe als günstig erwiesen hatten, wurde im Januar 2003 das komplette Drainagesystem (Rundkern + Filter M7) mit dem neuem System (Laschenkern + Filter V1) ausgetauscht. Für einen Betrieb der Anlagen im Januar bis April wurde ein provisorisches Zelt aufgebaut, um die Fruchtpresse vor Witterungseinflüssen zu schützen. Für die Versuche mit externen Schlämmen bzw. ungefaultem Rohschlamm wurde eine zusätzliche fliegende Leitung verlegt, die ein direktes abzapfen des Schlammes aus den Anlieferankwagen erlaubte.

Die im Untersuchungszeitraum verwendete Software der computergestützten Prozessführung wurde fortlaufend aktualisiert (Updates). Insbesondere zeigte sich die neu entwickelte Prozessdatenerfassung als sehr komfortabel, da diese für jeden einzelnen Zyklus die wesentlichen Prozessparameter wie Ausbeute, Leistung, Füllmenge, Druckstufe, Hubstatus, etc. protokolliert.

Alle Massnahmen zum Aufbau und Betrieb der Infrastruktur wurden im besonderen Masse durch das ARA-Personal materiell und technisch unterstützt.

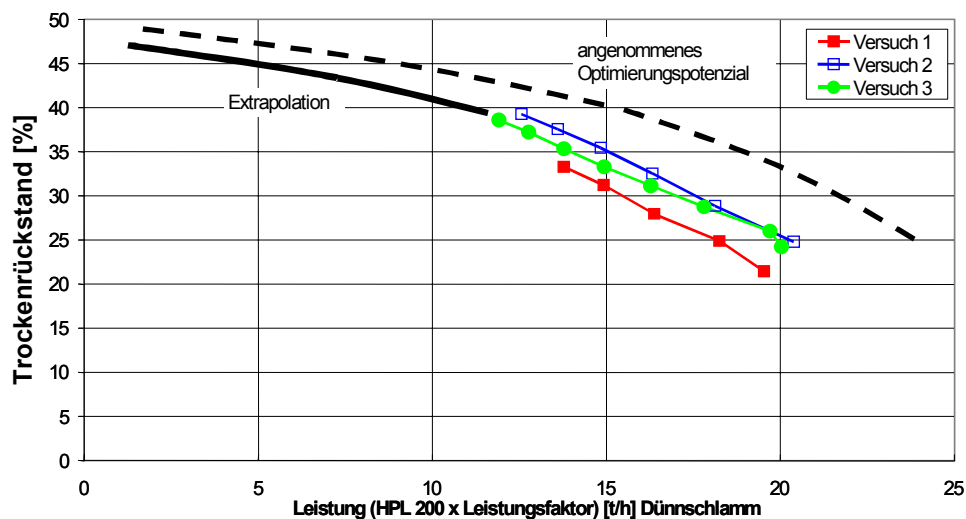
5 Durchgeführte Versuche

5.1 Versuche HPL200

Die BG AG hat Vorversuche mit einer HPL200 Pilotanlage durchgeführt. Ziel der Vorversuche war es, die grundsätzliche Eignung der hydraulischen Presse für die maschinelle Entwässerung von Klärschlamm zu überprüfen, das Optimierungspotential einzuschätzen und schliesslich den weiteren Untersuchungsbedarf zu definieren. Da die Ergebnisse Grundlage zum Entstehen des Projektes waren, sind sie hier nochmals aufgenommen und dargestellt.

Für die Versuche wurde anaerob stabilisierter Schlamm aus der kommunalen Kläranlage "Oberes Surbtal" verwendet. Für die Konditionierung wurden verschiedene Flockungshilfsmittel in unterschiedlichen Konzentrationen eingesetzt. Die Entwässerungsversuche wurden per Hand ohne den Einsatz der Optimierungsalgorithmen gefahren.

Zur Ermittlung der Leistung und des Entwässerungsgrades wurden die Mengenströme und Gesamtmengen (Schlamm, Filtrat, Filterkuchen) sowie der TR des eingesetzten Schlammes und des Filterkuchens durch die BG AG bilanziert. Figur 9 zeigt den Zusammenhang zwischen Leistung und erzielbarem TR im Filterkuchen (Leistungsfaktor aus Fruchtsaftbereich, ermittelte Leistung mit FHM-Anteil).

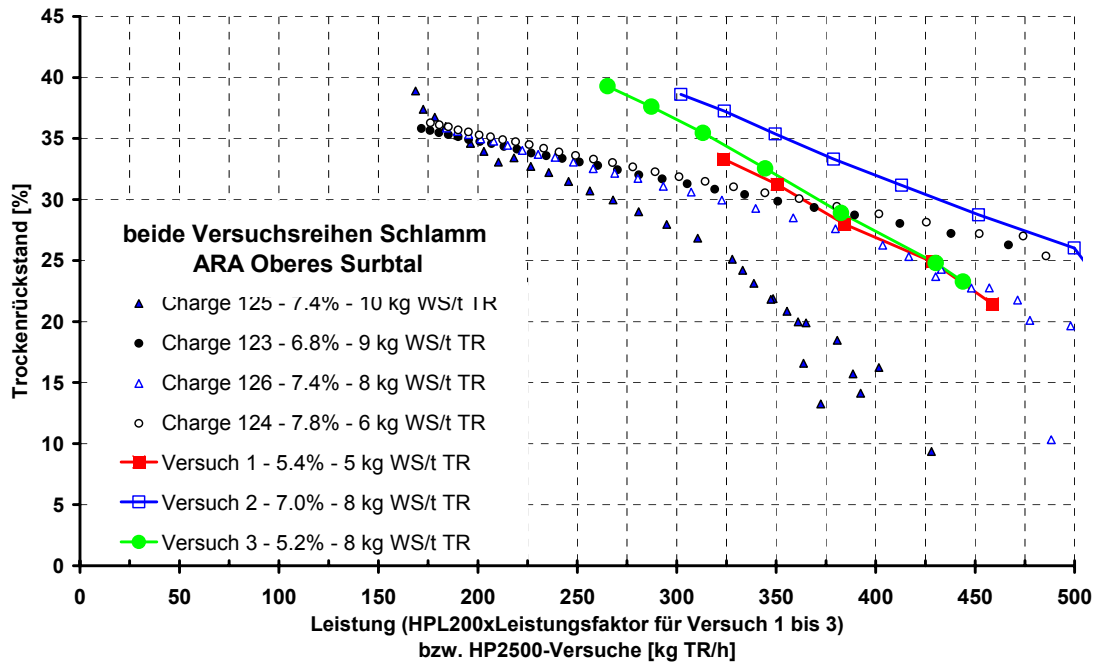


Figur 9: TS-Leistungsdigramm für eine HP5000
(Basis Versuche HPL200, Schlamm ARA Oberes Surbtal)

Die Grafik zeigt, dass mit zunehmender Anforderung an den TR-Gehalt die Durchsatzleistung der Maschine sinkt. Der TR-Gehalt konnte in den Versuchen bis auf 38 - 40 % TR gesteigert werden. Generell konnte aus diesen Vorversuchen festgestellt werden, dass der getestete Schlamm als gut entwässerbar einzustufen war. Der Schlamm war mit einem niedrigen GV sehr gut stabilisiert bzw. ausgefaltet, welches die Entwässerungsfähigkeit des Schlammes wesentlich begünstigen kann.

Die durchgezogene schwarze Linie zeigt eine Extrapolation aufgrund von Erfahrungswerten aus der Fruchtsaftextraktion. Die gestrichelte schwarze Linie zeigt das Potential zur Leistungssteigerung unter Verwendung der Selbstoptimierungsalgorithmen. Auch hier wurde auf die Erfahrungswerte aus der Fruchtsaftextraktion zurückgegriffen.

Da die Qualität eines Schlammes schwanken kann und damit auch die Entwässerbarkeit, wurde zur Bestätigung der Ergebnisse aus den Vorversuchen Schlamm aus der Kläranlage Oberes Surbtal mit einer HP2500 (Chargen 123-126) entwässert und die Ergebnisse gegenüber gestellt (vgl. Figur 10).



Figur 10: TS-Leistungsdigramm für HP2500
(aus Versuchen mit HP2500 bzw. Versuche HPL200, hier um den FHM-Anteil reduziert)

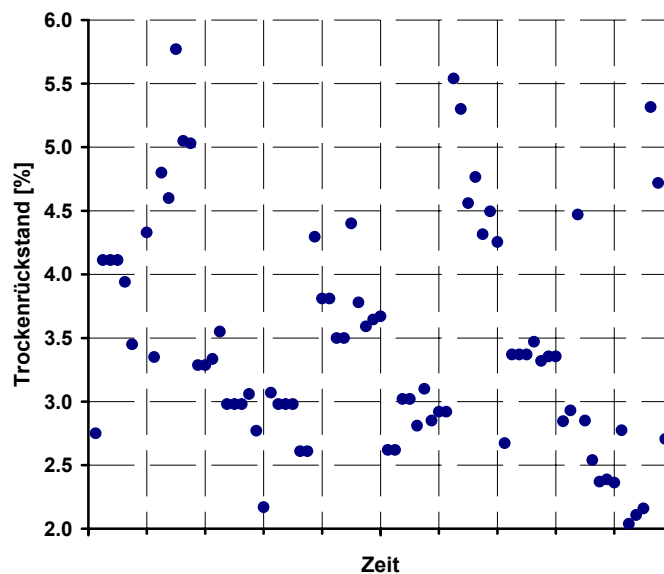
Mit der HP2500 können ebenfalls die hohen TR-Gehalte erzielt werden und es werden über 35% TR erreicht. Die Durchsatzleistung Dünnschlamm kann im Vergleich zu den Vorversuchen mit der HPL200 (mit Leistungsfaktor für HP2500 ermittelt, reduziert um FHM-Menge) nicht erreicht werden. Die Durchsatzleistung ist um ca. 35% niedriger. Die eher optimistisch berechneten Durchsatzleistungen aus den Vorversuchen resultieren aus der Verwendung neuer Filtertücher, welche zu Beginn höhere Leistungen erzielen, als bereits „eingefahrene“ Filtertücher aus der Praxisteststellung. Ein weiterer Grund ist wahrscheinlich der aus dem Fruchtsaftbereich stammende Leistungsfaktor, welcher für die Rohware Schlamm gegebenenfalls zu hoch angesetzt ist.

Die Voruntersuchung auf der HPL200 hat deutlich gezeigt, dass das Presssystem für die Klärschlamm entwässerung eingesetzt werden kann und dass mit den Ergebnissen ein guter Hinweis für ein späteres Upscaling gegeben wird. Auch hat sich gezeigt, dass je nach Anforderungen geringe bis mittlere TR bei hohem Durchsatz Dünnschlamm bzw. hohe TR-Gehalte bei reduziertem Durchsatz mit ein und derselben Maschine gefahren werden können.

5.2 Laboruntersuchungen

5.2.1 Trockenrückstand - und Glühverlust-Bestimmung

Im Labor der ARA und der EAWAG wurden rd. 300 TR-Bestimmungen gemacht. Vergleichsmessungen mit Doppelbestimmung an der EAWAG ergaben eine hohe Zuverlässigkeit der TR-Messungen mit dem Gerät der ARA. Figur 11 zeigt die schwankenden Trockenrückstände des Dünnschlammes am Anfang der Pressversuche ($TR_{Anf.}$). Ursächlich hierfür sind zum Teil die Anlieferungen von externen FS aber auch Umpumpvorgänge zwischen und innerhalb der Nacheindickern. Verursacht durch die Schwankungen des TR musste die FHM-Dosierung stetig angepasst werden, um die gewünschte Dosierhöhe zu erreichen. Eine Online-TR-Messung für eine mögliche Steuerung der FHM-Dosierung war wenig erfolgreich, da die Sonde eine stracke Drift aufwies.



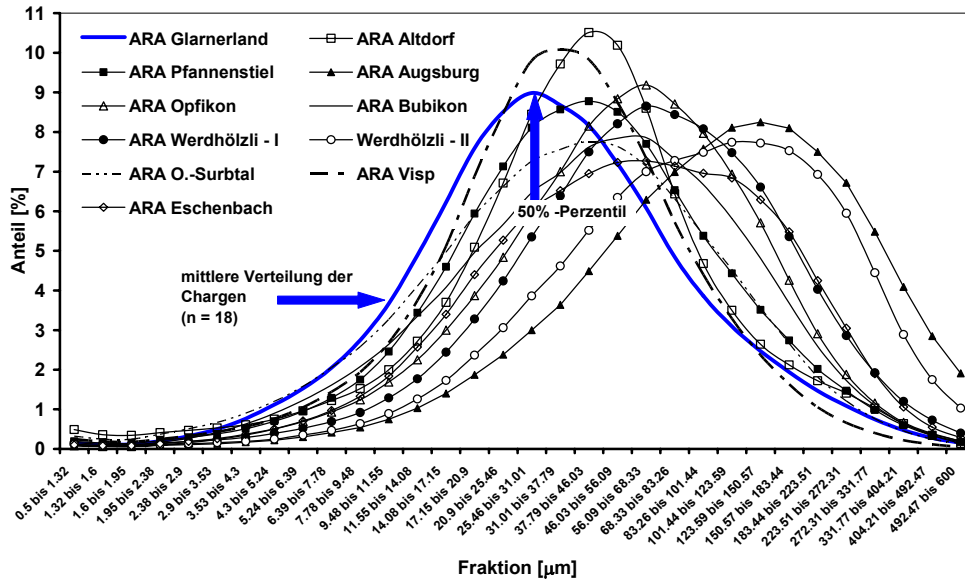
Figur 11: TR des Dünnschlammes für Bilten

Bei den Messungen des TR der Nassschlammproben (am Ende des Pressganges) wurde ein Vergleich zwischen grob- bzw. feinkörnigem Material vorgenommen. Hier konnten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden.

Von rd. 40 Proben wurde der Glühverlust (GV) bestimmt. Für die Biltener Dünnschlämme konnte ein durchschnittlicher GV von rd. 46 - 48% festgestellt werden. Nach Angaben des Betreibers jedoch liegt nach ARA-Messungen der GV durchschnittlich bei 50%. Nach Prüfung der Messmethodik bei EAWAG und ARA konnte jedoch kein Unterschied festgestellt werden. Die Probenahmestelle jedoch ist seitens der ARA direkt beim Überlauf aus dem Faulraum in die Nacheindicker und nicht direkt im Zulauf zu den Entwässerungsaggregaten. Es ist anzunehmen, dass im Nacheindicker ein weiterer anaerober Abbau stattfindet und das zudem die eher gut ausgefaulten externen Schlämme kleinerer Anlagen den GV senken. Der Einfluss des GV auf die Entwässerungsleistung wird im Abschnitt 5.4.5 dargestellt.

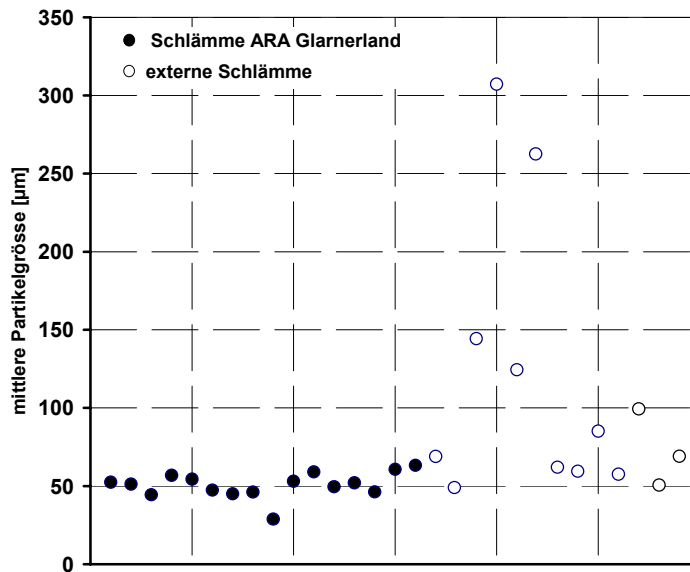
5.2.2 Partikelgrößenverteilung

In Abständen wurde der Schlamm auf Verteilung der Partikelgrößen untersucht. Insgesamt wurden 25 Faulschlämme (FS) aus Bilten und Stichproben von weiteren Kläranlagen untersucht. Zudem wurde eine Stichprobe des Belebtschlammes und von zwei Rohschlammern (Primär+ÜSS) untersucht. Für den Biltener Schlamm konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Chargen festgestellt werden und ggf. in Abhängigkeit zur Entwässerungsleistung der Fruchtpresse gebracht werden. Figur 12 zeigt die mittlere Verteilung der Partikelgrößen der untersuchten Chargen im Vergleich zu FS anderer Kläranlagen.



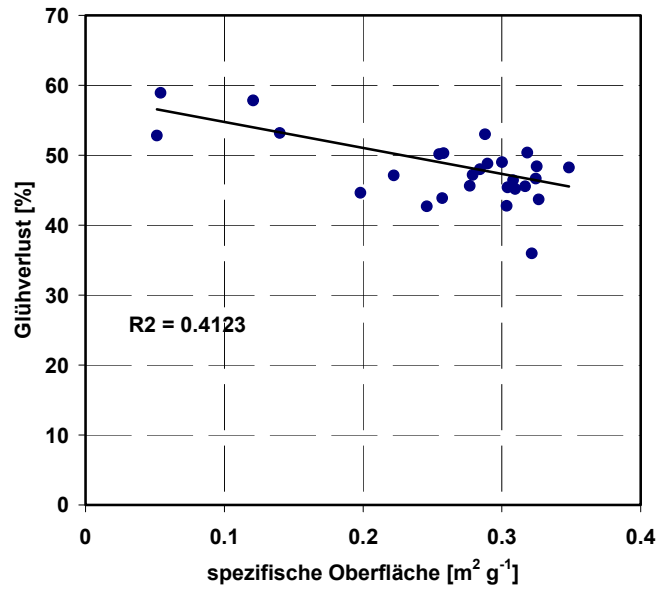
Figur 12: Prozentuale Verteilung der Partikelfractionen

Der Biltener FS ist im Mittel feiner als die anderen FS. Figur 13 zeigt die mittlere Partikelgrösse der untersuchten Schlämme. Eine Abnahme der Partikelgrösse bedingt eine Zunahme der Porenanzahl und daher einen Anstieg des kapillar gehaltenen Zwischenraumwassers.



Figur 13: Mittlere Partikelgrösse der untersuchten Schlämme

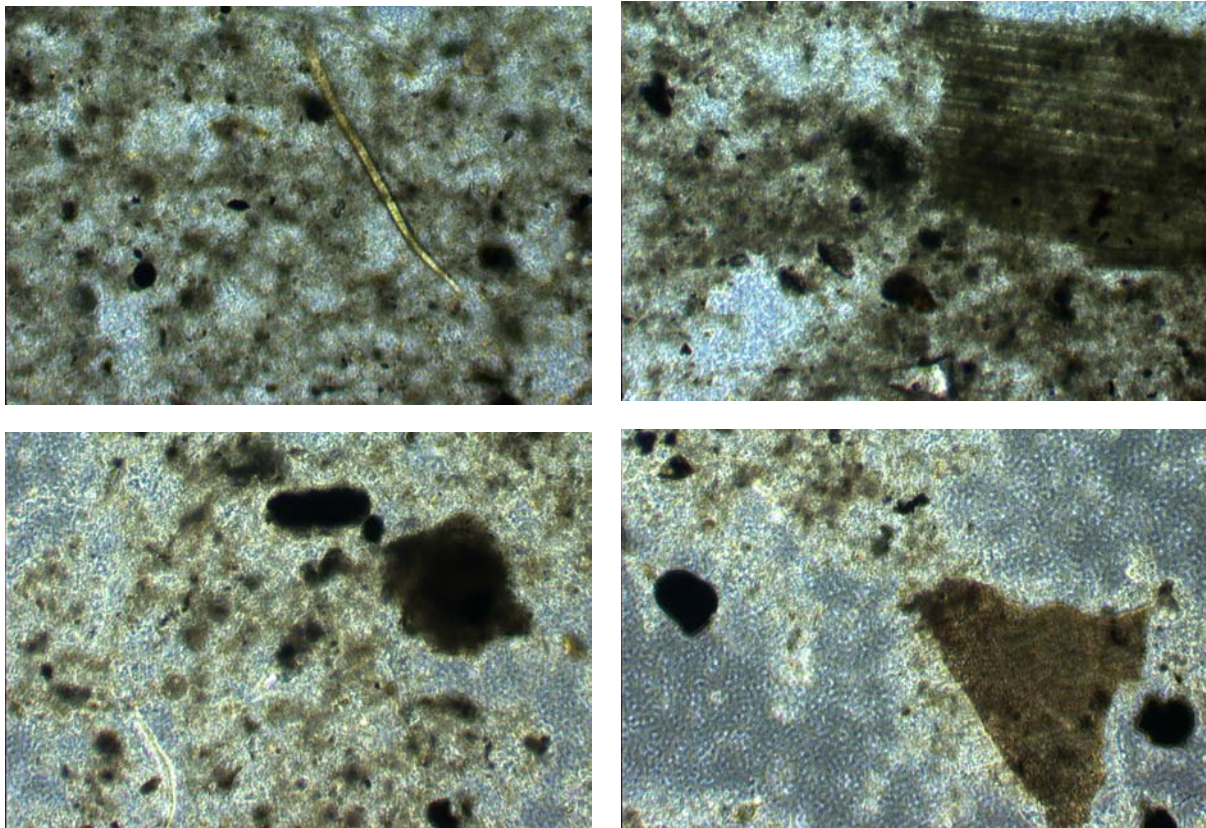
Die bei der Partikelverteilanalyse gemessene spezifische Oberfläche (Partikeloberfläche zur Masse des Schlammes) erhöht sich (umso kleiner die Partikel desto grösser wird die Gesamtoberfläche, Fig. 14). Dadurch ist prinzipiell der gebundene Wasseranteil (Haft- bzw. Oberflächenwasser) höher und der FHM-Bedarf erhöht sich durch mehr Oberflächenladung. Dies unterstreicht die Gegenüberstellung des Glühverlustes zur spezifischen Oberfläche, da die Faulung eine Verkleinerung der Partikel bedingt.



Figur 14: Glühverlust in Abhängigkeit der spezifischen Oberfläche

5.2.3 Mikroskopische Schlammuntersuchung

Mittels Lichtmikroskop wurden an der EAWAG Bilder eines FS aus Bilten gemacht (Fig.15). Sie geben einen guten Einblick über die Inhaltstoffe eines ausgefaulten Dünnschlammes. Deutlich ist die Inhomogenität der Partikelgrößen zu erkennen. Es finden sich Pflanzenreste und andere organische Feststoffe, Nematoden und sandige Bestandteile im Dünnschlamm.



Figur 15: Mikroskopische Bilder eines Faulschlammes aus Bilten (10-fache Vergrößerung)

5.2.4 Versuche Flockungsmittel

Zur Abschätzung welches Flockungshilfsmittel (FHM) in welcher Konzentration die besten Flockungseffekte beim Schlamm der Kläranlage erbringt, wurden ca. 10 verschiedene FHM im Labor getestet. Mittels Becherversuche wurde die Schlammflockung untersucht. Eine subjektive visuelle Beurteilung der Flockenstruktur wurde vorgenommen. Aus den Versuchen ergab sich, dass u.a. das FHM CP31 der Fa. Flonex gute Resultate für die Flockenbildung erbrachte. Da dieses FHM in ausreichender Menge auf der ARA zur Verfügung steht und bereits gute Ergebnisse auf der Siebbandpresse ergab, wurde es für den überwiegenden Teil der Testläufe eingesetzt. Weitere Gründe für den Einsatz dieses FHM waren die guten Aufbereitungseigenschaften (flüssiges FHM) und die relative Unempfindlichkeit gegenüber einer Überdosierung. Eingesetzt wurde es als 0.5%-tige Lösung, welche mit Brauchwasser der ARA angesetzt wurde. Für die Versuche mit externen Schlämmen wurde z.T. auch eine 0.6%-tige Verdünnung verwendet, da diese Schlämme hohe $TR_{Anf.}$ -Gehalte aufwiesen und die Förderleistung der FHM-Pumpe (Dosierung) sonst limitierend gewesen wäre. Unter Berücksichtigung einer gewissen Reifezeit wurde es in die Schlammleitung zur Presse (25m Länge) dosiert (vor Schlammförderpumpe und stat. Mischer). Eine erste Flockung war bereits hinter der Schlammförderpumpe zu beobachten, Kontrollen am Ende der Leitung (vor Füllschieber der Presse) ergaben bei entsprechender Dosierhöhe eine optisch gute Flockung. Eine Betrachtung des Einflusses der FHM-Dosierhöhe auf die Entwässerungsleistung der Presse kann in Abschnitt 5.4.4 vorgenommen werden.

5.2.5 Versuche Nano-Partikel

Da es keine Erfahrungen zur Anwendung von Nano-Partikeln für die maschinelle Klärschlamm-entwässerung gab, wurde im Labor die Dosiermenge bestimmt. Es zeigte sich in den Becherversuchen, dass nach Zugabe der Nano-Partikel der Überstand deutlich klarer wurde und dass die aus einer vorherigen Flockung resultierenden Flocken in kleinere zerfielen. Beim späteren Praxiseinsatz zeigte sich, dass rd. 2% (Volumenprozent) bei einer 1:40 verdünnten Lösung bezogen auf das Schlammvolumen eine kleine, kompakte Flocke ergab.

5.2.6 Versuche Poly-Aluminium-Chlorid (PAC)

Da es auch hier wenige Erfahrungen zum Einsatz von PAC zur Schlamm-entwässerung gibt, wurden einige Versuche für eine mögliche Dosierung durchgeführt. Eine zweckdienliche Dosiermöglichkeit des PAC (Kombination und Reihenfolge mit anderen Konditionierungsmitteln, Konzentration und Ort) konnte nicht gefunden werden. Die Schlammstruktur veränderte sich nachteilig.

5.3 Versuche HP14

Versuche mit der HP14 ermöglichten eine Abschätzung, inwieweit sich veränderbare Prozessparameter (z.B. FHM-Dosiermengen, Druckanstieg, Filtergewebe, etc.) auf die Entwässerbarkeit der FS mit der HP2500 auswirkten. Insbesondere wurde mit Hilfe der HP14-Versuche die Optimierung der Drainageelemente vorgenommen (vgl. Abschnitt 5.4.7). Folgende Resultate ergaben sich aus den Versuchen.

- Evaluierung eines neuen Filtergewebes zur Optimierung der Wasserabgabegeschwindigkeit (Optimierung der Leistung)
- Test eines Fahnenfilters (Optimierung der Leistung)
- Test eines neuen Drainagekerns (Optimierung der Leistung, Laschenkern)
- Bestimmung eines sinnvollen Druckanstieges (Druckstufen für die einzelnen Zyklen, wann setzen sich die Filterelemente zu?)
- Vergleichende Pressgänge für den Einsatz von PAC und Nano-Partikel und den Einsatz von FHM (Art und Menge)

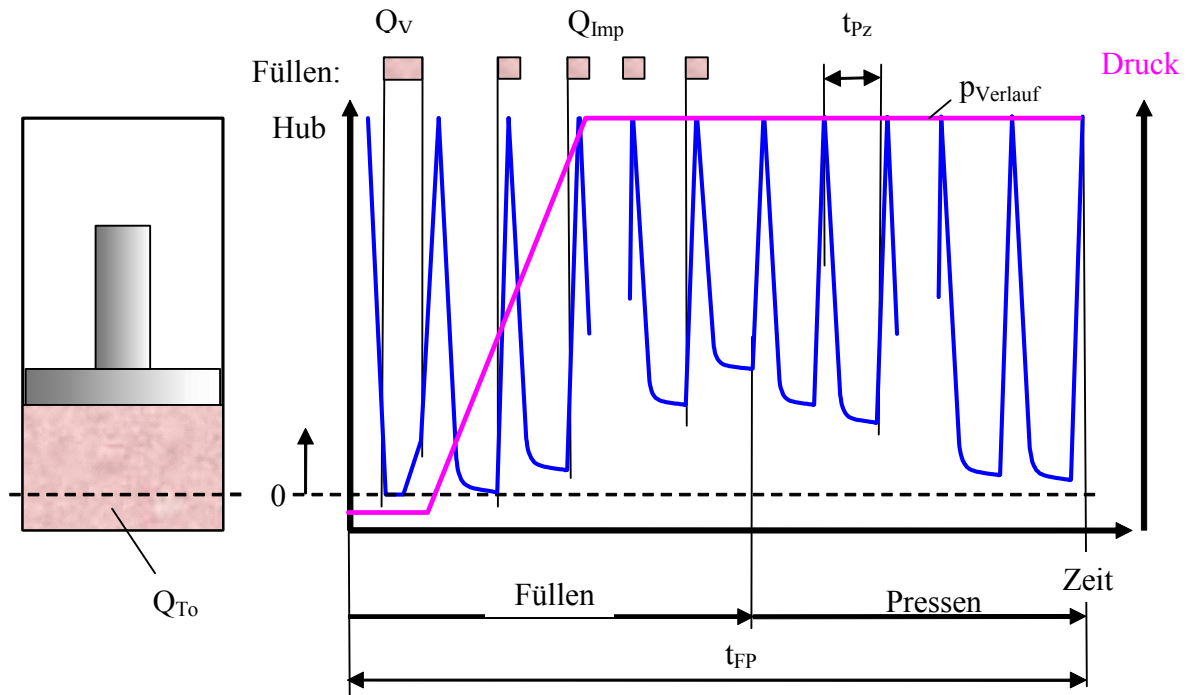
5.4 Versuche HP2500

5.4.1 Prozessparameter für einen stabilen Entwässerungsbetrieb

Wesensmerkmal der hydraulischen Presse ist, dass alle Einflussgrößen des Füll- und Pressvorgangs als Variable bzw. Parameter für die Prozesssteuerung zur Verfügung stehen. Je nach Eigenart des zu entwässernden Produktes muss der Füll- und Pressvorgang entsprechend unterschiedlich erfolgen.

Zu Beginn des Projektes waren die Erfahrungen zur Entwässerung von Klärschlamm mittels einer Fruchtpresse sehr gering und die Pressparameter weitestgehend unbekannt. In den ersten Pressgängen wurden daher zum Teil schrittweise Pressparameter ermittelt, die einen stabilen Pressverlauf und eine akzeptable Entwässerungsleistung ermöglichten. Trotz der schwankenden Eigenschaften von Klärschlamm sollen hier die wesentlichen Pressparameter mit Angabe ihrer Größenordnung festgehalten werden, um für spätere Einsätze als Grundparametersatz zu dienen. Sie gelten nur für die HP2500.

- Parameter für den Füll- und Pressvorgang



Figur 16: Veränderungen des Hub über die Zeit beim Füllen und Pressen

Der eigentliche Entwässerungsprozess mit einer HP-Pressen ist in Phasen Füllen und Pressen unterteilt.

Beim Füllen muss zunächst das Totvolumen Q_{tot} der Presse möglichst schnell gefüllt werden (vgl. Fig. 16). Dies geschieht durch das Vorfüllen. Das Totvolumen stellt sicher, dass die Drainageelemente beim Kolbenvorlauf nicht beschädigt werden können. Beim Vorfüllen wird der Presskolben in die Nähe der vorderen Endlage gefahren. Anschliessend startet die Füllpumpe. Durch den sich dabei aufbauenden Produktdruck im Innenraum der Presse wird der Kolben zurückgedrückt. Das Vorfüllen wird beendet wenn entweder die vorgegebenen Impulsfüllmenge Q_V eingefüllt ist oder ein vorgegebener Grenzhub überschritten wird. Nach dem Vorfüllen erfolgt ein Presszyklus (vgl. Fig. 17; Vorfüllen „P“) ohne Produktzugabe. Beim nachfolgenden Impulsfüllen wird jeweils beim Kolberrücklauf eine vorgegebene Impulsfüll-

menge Q_{imp} eingefüllt. Das Füllen ist beendet, wenn eine ausreichende Produktmenge eingebracht ist. Die Gesamtfüllmenge ist dann richtig bestimmt, wenn am Ende der Pressphase bei Erreichen des gewünschten Soll-Trockensubstanzanteiles eine Kolbenposition im Bereich zwischen 30 – 80 mm erreicht wird.

Beim Pressen erfolgt keine weitere Produktzugabe. Die Presszyklen sind somit, abgesehen von der Produktzugabe beim Kolbenrücklauf, identisch mit den Füllzyklen. Das Pressen wird beendet, wenn eine vorzugebende Filtratabflussmenge pro Presszyklus unterschritten wird oder die Sollfüll-/presszeit t_{FP} erreicht wurde.

Die Presszykluszeit t_{Pz} ist für alle Füll-Presszyklen identisch. Der Drückanstiegsverlauf $p_{Verlauf}$ über den Füll-Pressvorgang wird durch 8 Druckstufen mit Werten zwischen 2 und 10 bar gesteuert. Jeder Druckstufe kann eine variable Anzahl Füll-Presszyklen zugeordnet werden, die mit dem entsprechenden Maximaldruck ausgeführt werden sollen.

Vorfüllmenge QV: Dies ist die Menge, die bei leerer Presse eingefüllt wird. In Abhängigkeit vom $TR_{Anf.}$ 1000 -2500 kg. Eine zu hohe Vorfüllmenge am Anfang des Pressganges verschlechtert das Verhältnis zwischen Filteroberfläche und eingefüllter Produktmenge, so dass Filterverstopfungsgefahr besteht. Der am Ende vom Vorfüllen erreichte Hub sollt nicht grösser als 250 mm sein.

Druckstufe und -dauer: Ist der Druck und die Dauer, mit der die Füllung entwässert wird. Die Höhe der Druckstufe kann je Zyklus festgelegt werden. Drückanstieg auf Maximaldruck innerhalb von 8 – 12 Zyklen. Startdruckstufe: 3. Die Presszyklusdauer t_{Pz} eines Zyklus sollte etwa 2 Minuten betragen. Nach 2 Minuten ist die Ausbeute aus der eingefüllten Rohware bzw. des entstandenen Filterkuchens im Wesentlichen erreicht. Nach dem Abpressen erfolgt dann erst ein erneutes Auflockern des Filterkuchens. Langes Abpressen erniedrigt die Leistung (Durchsatz) der Maschine.

Impulsfüllmengen und Gesamtfüllmenge: Sind die Portionen, die nach jedem Zyklus wieder nachgefüllt werden. Die Anzahl der Impulsfüllmengen wird bestimmt durch die Höhe der Gesamtfüllmenge. Die Impulsfüllmenge beträgt in Abhängigkeit des $TR_{Anf.}$ zwischen 250 kg und 400 kg. Die Gesamtfüllmenge (wiederum in Abhängigkeit des $TR_{Anf.}$) beträgt 6000 - 14000 kg Dünnschlamm. Die Impulsfüllungen können automatisiert aussetzen, wenn ein entsprechendes Abpressen bzw. Hub nicht erreicht oder unterschritten wird. Allgemein ist während des gesamten Füllvorganges (ca. die ersten 20 Zyklen) der Hub niedrig zu halten, daher Impulsfüllmenge entsprechend des erreichten Hubes festlegen. Die Gesamtfüllmenge ist die gesamte eingefüllte Menge (inklusive FHM). Die Gesamtfüllmenge ist dann richtig bestimmt, wenn nach Ablauf der Gesamtpresszeit ein Endpresshub von rd. 50 - 80mm verbleibt. Nach Erreichen der Gesamtfüllmenge erfolgt der eigentliche Pressvorgang und das Programm geht in den Pressmodus, in dem nur noch abgepresst wird.

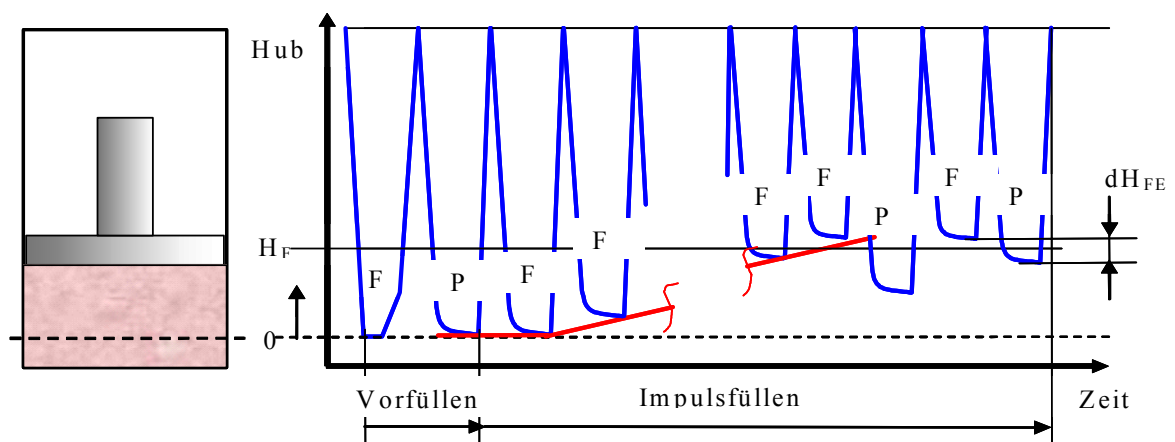
Gesamtpresszeit: Es hat sich in den Versuchen gezeigt, dass die Gesamtpresszeit nicht wesentlich über 100 Minuten betragen sollte. Die Filtratrestabflussmengen pro Presszyklus betragen zu diesem Zeitpunkt etwa 2 – 3 Liter.

- Strategie zur Bestimmung von optimalen Füllparameter

Um auch bei schwankender Dünnschlammqualität hohe TS-Werte vom Pressrückstand bei maximaler Verarbeitungsleistung zu erzielen, ist vor allem die Wahl von geeigneten Füllparametern von entscheidender Bedeutung. Im Vergleich dazu sind alle anderen Prozessparameter wie Fülldruckanstieg und Presszykluszeit von untergeordneter Wichtigkeit.

Nachfolgend ist die Strategie zur Bestimmung der Füllparameter erläutert. Mit diesem Vorgehen konnte in der Versuchsphase ein hohes Mass an Betriebssicherheit und eine exakte Gesamtfüllmengenbestimmung auch bei stark schwankender Dünnschlammqualität sichergestellt werden. Problematisch aufgrund der vergleichsweise schlechten Permeabilität ist vor allem die Entwässerung von Dünnschlamm mit niedrigem Trockenrückstandgehalt TR_{Anf} . Hier besteht die Gefahr, dass es bei ungeeigneter Füllstrategie zu Filterverstopfung und somit zum Prozessabbruch mit Verwerfen des nicht eingedickten Schlammes kommt. Ziel vor allem zu Beginn des Füllvorganges ist daher, der eingefüllten Dünnschlammmenge eine maximale Filterfläche zur Verfügung zu stellen. Dies ist dann der Fall, wenn der Presskolben am Ende eines Füll-Presszyklusses die vordere Endlage erreichen kann, was wiederum eine entsprechend kleine Impulsfüllmenge bedingt. Die vom Standardprogramm zur Verfügung gestellten Einstellmöglichkeiten erwiesen sich jedoch zum Teil als nicht ausreichend. Zusätzlich musste durch manuell ausgelöstes Zwischenpressen während des Füllvorganges ein zu schneller Hubanstieg verhindert werden. Diese im Versuch noch manuell ausgeführten Eingriffe sind jedoch durch Programmanpassungen an der Pressen SPS-Steuerung relativ einfach automatisierbar.

Figur 17: Abhängigkeit des Hubes vom Füllvorgang



Bestimmung der Vorfüllmenge

Die Vorfüllmenge wird so bestimmt, dass am Ende des nachfolgenden Presszyklusses (vgl. Fig. 17 „P“) ein Resthub im Bereich von 0 – 50 mm erreicht wird. Ist dies nicht der Fall, so wird durch manuellen Eingriff einer oder mehrere Presszyklen aktiviert, bis sich der Hubwert bei Presszyklusende im obigen Bereich befindet.

Bestimmung der Impulsfüllmenge

Die Impulsfüllmenge wird so bestimmt, dass sich der Presskolben am Ende der ersten 3 -6 Füll-Presszyklen (vgl. Figur 17 „F“) in einem Hubbereich von 0 – 50 mm befindet. Anschließend wird ein langsamer Hubanstieg bis zu einem Hubgrenzwert H_F von 200 – 250 mm zugelassen. Diese Hubgrenze sollte frühestens nach ca. 80% der vorgesehenen Füllzeit erreicht werden. Wird während des Impulsfüllens plötzlich ein überproportional starker Hubanstieg registriert und ist der aktuelle Hubwert grösser als ca. 100 mm so wird umgehend ein Presszyklus („P“) manuell ausgelöst.

Bestimmung der Gesamtfüllmenge

Wird während des Impulsfüllens der Hubgrenzwert H_F überschritten, so folgt anschliessend ein Presszyklus. Dabei wird die Hubdifferenz zwischen dem vorhergehenden Impulsfüllzyklus und dem Presszyklus ermittelt. Ist diese Hubdifferenz d_{HFE} grösser als ein vorgegebener Sollwert $d_{HFE} \text{ Soll}$, so wird wiederum eine Füllsequenz, bestehend aus Impulsfüllzyklus und Presszyklus nachgeschaltet. Unterschreitet die Hubdifferenz d_{HFE} den Sollwert $d_{HFE} \text{ Soll}$, so wird das Füllen beendet. Je länger die gewünschte Gesamtpresszeit bzw. umso höher der zu erzielende TR des Pressrückstandes umso kleiner muss die Sollhubdifferenz $d_{HFE} \text{ Soll}$ gewählt werden.

- Peripherie

FHM-Einsatz: Es ist darauf zu achten (visuelle Begutachtung) eine gute Flockung zu erzielen (Einmischung!). Das System bedingt einen etwas höheren Einsatz von FHM als andere Entwässerungsaggregate. Eine Überdosierung verhindert bei den ersten Pressgängen ein Verstopfen der Filter, daher min $12 \text{ kg WS kg TR}^{-1}$ einsetzen und erst im weiteren Verlauf eine optimierte FHM-Dosierung evaluieren.

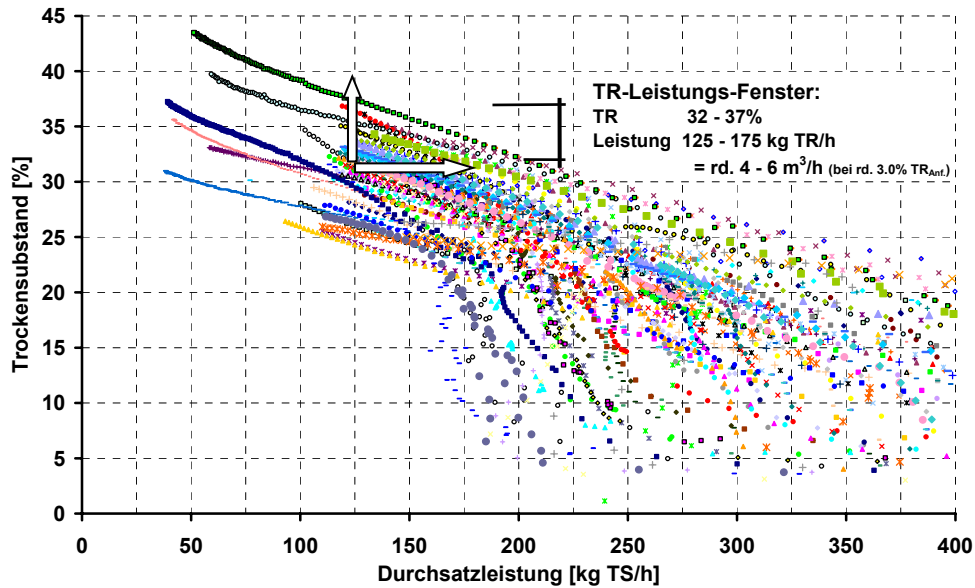
Förderpumpen Hohe Förderleistungen der Füll- als auch der Dosierpumpen kommen dem System entgegen und sollten mindestens in der Grössenordnung der verwendeten Pumpen (für HP2500) liegen. Um eine ausreichende Flockung in der Rohrleitung zu gewähren, ist in Abhängigkeit der Pumpen die Länge der Leitung nicht unter 20m zu wählen.

Länge Füllschlauch:

Schlammeeigenschaften: Höhere $TR_{Anf.}$ kommen dem Prozess entgegen und erhöhen die Durchsatzleistung der Maschine (aus Nacheindicker). Ansonsten gelten für das Aggregat die selben begünstigenden Einflussgrössen, welche auch für die maschinelle Klärschlamm-entwässerung mittels anderer Filtrationssysteme gilt.

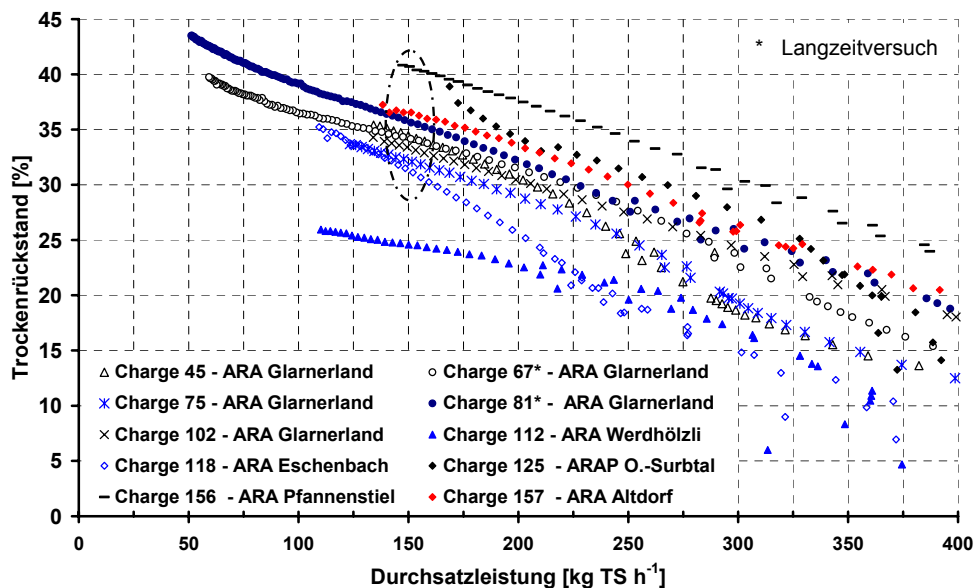
5.4.2 Entwässerungs- und Durchsatzleistung

Insgesamt wurden rd. 170 Pressgänge zur Entwässerung von Klärschlamm auf der ARA Glarnerland durchgeführt und dabei rd. 1100 m³ Klärschlamm entwässert (siehe Anhang). Neben Faulschlamm wurde auch Rohschlamm verarbeitet. Das Diagramm der Figur 18 verdeutlicht, dass bei einer Leistung von 125–175 kg TR h⁻¹ Trockenrückstände von 32% - 37% für Biltener Schlämme erreicht werden können. Da wie bereits aufgezeigt die TR-Gehalte der Dünnschlämme (TR_{Anf.}) eine grosse Streuung aufweisen (2 bis 6%) können, wird hier die Durchsatzleistung in kg TR h⁻¹ angegeben, da eine Angabe der Leistung in m³ h⁻¹ keine Vergleichbarkeit erlaubt. Bei der genannten TR-Leistung entspricht dies bei einem TR_{Anf.} von 3.0% einer Durchsatzleistung von rd. 4 - 6 m³ h⁻¹ Dünnschlamm.



Figur 18: TR-Leistungsdigramm der HP2500 für Biltener Faulschlämme

Da Klärschlämme sehr unterschiedliche Qualitäten bzw. Entwässerbarkeiten aufweisen können, wurden Klärschlämme andere Abwasserreinigungsanlagen mit der Fruchtpresse HP2500 in Biltlen entwässert. Zu diesem Zweck wurden entsprechende Mengen von 5 weiteren Anlagen mit Tanklastwagen zur ARA transportiert.



Figur 19: Ausgewählte Entwässerungsversuche mit FS von verschiedenen Kläranlagen

Wie erwartet zeigen sich deutliche Unterschiede in der Entwässerungsleistung. Figur 19 zeigt ausgewählte Chargen der unterschiedlichen FS. Bei einer Leistung von rd. 150 kg TR h^{-1} (rd. $5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ bei $3\% \text{ TR}_{\text{Anf.}}$) werden zwischen 32 – 41% TR (Kreis) erreicht.

Deutlich zeigt sich ein überdurchschnittlich gutes Entwässerungsergebnis für den FS aus der ARA Oberes Surbtal, welcher bereits in den Vorversuchen zu diesem Projekt auf der HP200 sehr gute Ergebnisse lieferte. Auf der HP2500 werden TR-Gehalte bis 39%, bei einer Leistung von 150 kg TR h^{-1} erreicht. Ein schlechtes Entwässerungsergebnis zeigt sich für den Faulschlamm der ARA Werdhölzli. Es werden mit diesem Schlamm 25 – 26% bei einer geringen Durchsatzleistung erreicht. Die parallele Entwässerung des gleichen Schlammes mit der Kammerfilterpresse der ARA (14 bar Druck) erbrachte ebenfalls nur rd. 27%. Vermutlich ist der hohe GV von 53% für die schlechten Entwässerungsergebnisse verantwortlich. Ein direkter Vergleich der Aggregate ist jedoch nur bedingt möglich, da die Aggregate unterschiedliche Durchsatzleistungen haben.

Bestes Ergebnis konnte mit dem Schlamm der ARA Pfannenstiel mit 41% TR erzielt werden.

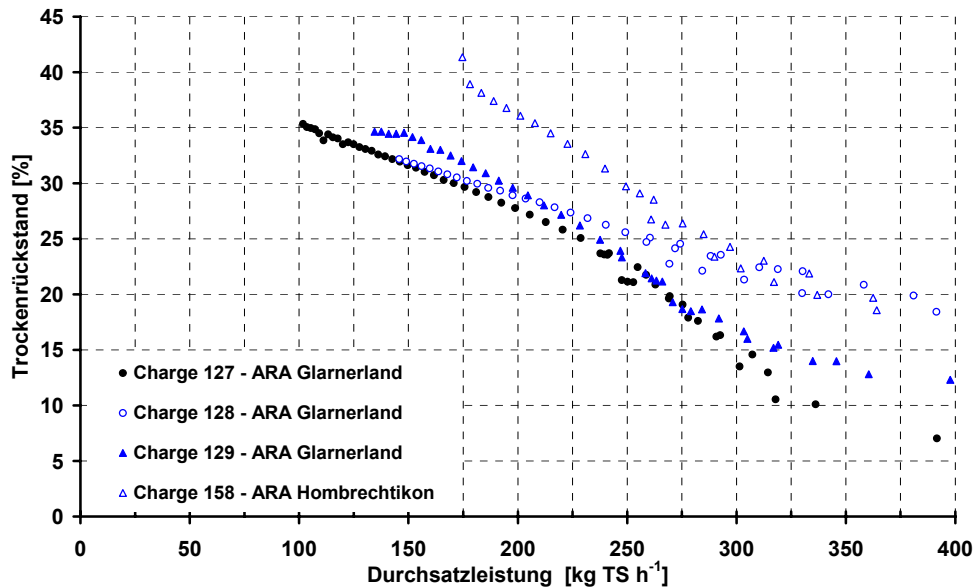
Im Allgemeinen werden vom Betreiber die Dünnschlämme aus Bilten als eher schlecht entwässerbar eingestuft, jedoch konnten in ebenfalls durchgeführten Langzeitversuchen (z.B. Charge 67 und 81) die Schlämme bis zu 43.5% TR mit der getesteten Presstechnologie entwässert werden (lange Presszeiten erniedrigen die Leistung). Bei den Langzeitversuchen konnte zudem beobachtet werden, dass sich zunehmend grosse Klärschlammaggregate (bis $\text{Ø } 35 \text{ cm}$) im Pressraum bildeten (Figur 20). Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass Klärschlamm unter hoher mechanischer Beanspruchung ab einem TR von etwa 40% ein zähplastisches Verhalten zeigen, die so genannte Leimphase (Fehlau et al., 2001). Dieser Übergangsbereich von der pastösen Konsistenz der Schlämme zum trockenen Schüttgut ist durch eine deutliche Zunahme der scheinbaren Viskosität gekennzeichnet. Hierbei kommt es zu Verklebungen und Anbackungen, wobei Faulschlämme weniger stark als Rohschlämme reagieren.



Figur 20: Klärschlammaggregate von entwässerten Faul- und Rohschlamm (rechts). Beim FS sind gut Abdrücke der Drainageelemente zu erkennen

Neben Faulschlamm wurden auch zwei verschiedene Rohschlämme (ungefault) auf der HP2500 entwässert. Trotz hoher organischer Anteile lassen sich Primärschlämme aufgrund vieler Strukturstoffe gut entwässern, da diese Stoffe die Drainagefähigkeit verbessern. Denkert (1995) gibt für Primärschlämme an, dass Entwässerungsergebnisse von 32 – 40% TR bei einem relativ geringen FHM-Einsatz von 3 – 6 kg WS/t TR erreicht werden können. Figur 20 (rechts) zeigt entwässerten Rohschlamm und dessen strukturreiche Zusammensetzung.

Im Mittel wurde der RS der ARA Glarnerland auf 35% TR entwässert. RS aus der ARA Hombrechtikon konnte bis 41% TR bei einer guten Durchsatzleistung entwässert werden (Figur 21).



Figur 21: Entwässerungsversuche mit Rohschlamm von zwei verschiedenen Kläranlagen

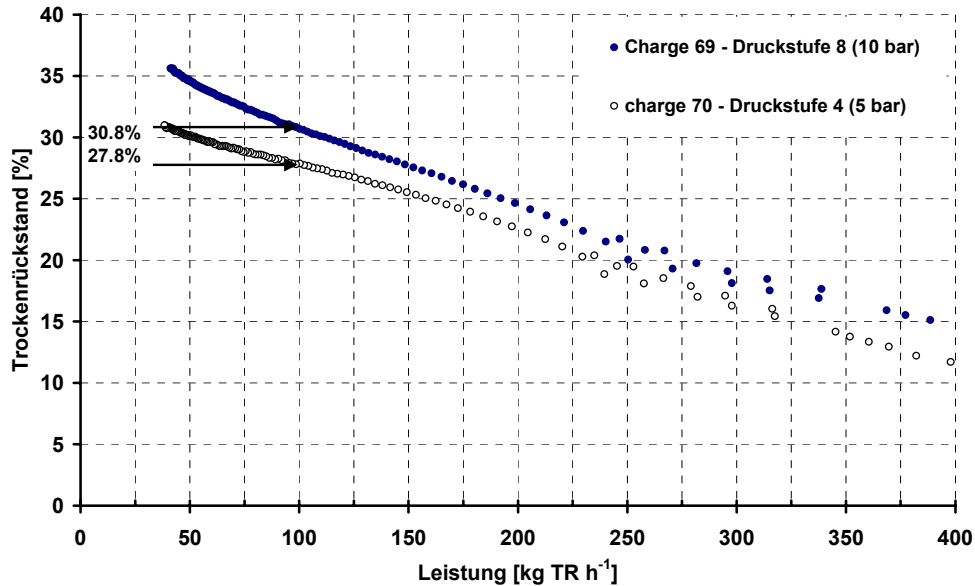
Nachfolgende Tabelle 2 fasst die erzielten Entwässerungsgrade und Durchsatzleistungen der untersuchten Schlämme zusammen:

ARA	Art	TR _{Anf.} [%]	erreichter End-TR [%]	Leistung [kg TR h ⁻¹]
ARA Eschenbach	FS	~ 6.5	30 - 35	102 - 126
ARA O. Surbtal	FS	~ 7.5	36 - 39	164 - 172
ARA Werdhölzli	FS	~ 5	25 - 27	110 - 148
ARA Altdorf	FS	~ 3.6	37	138
ARA Pfannenstiel	FS	~ 5.5	37 - 41	139 - 147
ARA Hombrechtikon	RS	~ 5.5	41	175
ARA Glarnerland	RS	~ 5.3	32 - 35	102 - 146

Tabelle 2: Leistungsdaten HP2500 mit unterschiedlichen Schlämmen (Werte gerundet)

5.4.3 Einfluss des Pressdruckes

Zum Einfluss des Druckes wurden einige Testläufe mit unterschiedlich hoher End-Druckstufe und gleicher FHM-Dosierung gefahren. Eine Vergrößerung des Pressdruckes von 5 auf 10 bar kann den TR-Gehalt je nach Pressdauer bei gleicher Leistung (Bezugspunkt 100 kg TR/h) um rd. 1.5 bis 3% steigern (vgl. Figur 22). Inwieweit eine Erhöhung des Pressdruckes auf z. Bsp. 12.5 bar oder höher sich in höhere End-TR-Gehalte auszahlt, kann abschliessend nicht beurteilt werden.



Figur 22: Pressverlauf bei unterschiedlichem Pressdruck

5.4.4 Einfluss der Konditionierung

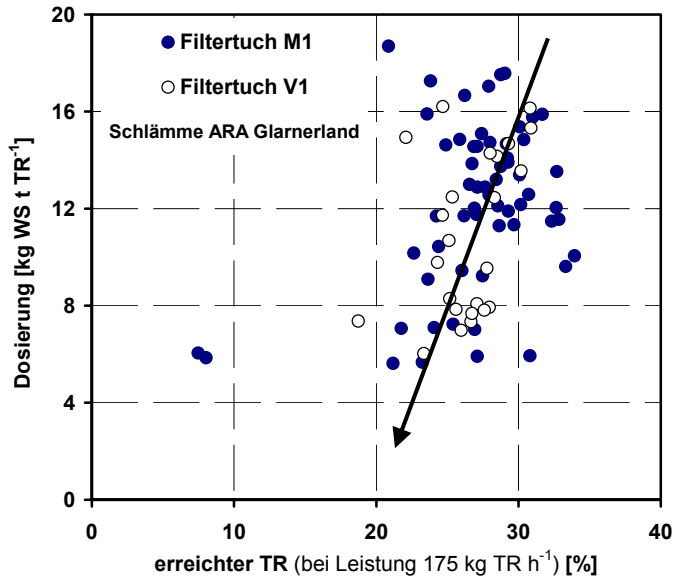
- **Einsatz von Nano-Partikel und PolyAluminiumChlorid (PAC)**

Subjektiv zeigten die Testläufe mit Nano-Partikel gute Entwässerungsleistungen bei Pressbeginn, gegen Pressende war jedoch keine entscheidende Pressleistungssteigerung feststellbar. Im Hinblick auf die hohen Kosten dieses Konditionierungsmittels wurde von einer weiteren Verwendung abgesehen.

Ein durchgeführter Pressgang mit PAC endete mit dem Abbruch beim Füllen der Presse. Das PAC verändert die Schlammstruktur derart, dass es zu einer Verstopfung des Filtergewebes kommt. Der Schlamm schäumt bei Zugabe des PAC stark. Dies wird verursacht aufgrund der saueren Reaktion (CO_2 -Bildung) des PAC mit dem Bikarbonat des alkalischen Schlammes. Nach einem Waschgang konnte jedoch die Filterleistung des Drainagesystems wieder hergestellt werden. Weitere Versuche mit PAC wurden nicht vorgenommen.

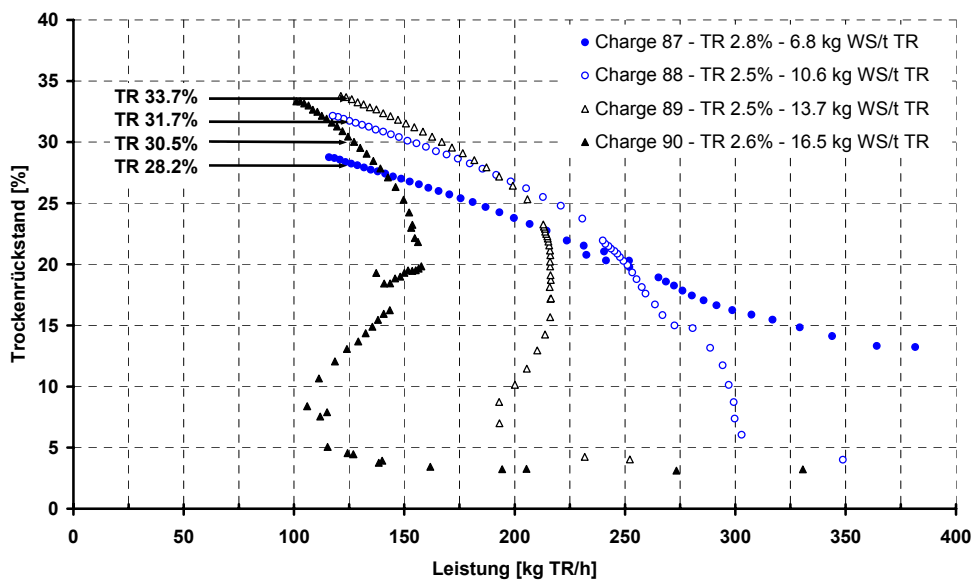
- **Einsatz von Flockungshilfsmitteln (FHM)**

Der Einsatz von FHM hat grossen Einfluss auf die Entwässerungsleistung bei der maschinellen Klärschlamm-entwässerung. Um Aussagen über die Flockungsmittelmenge beim Presssystem der HP2500 machen zu können, wurden Testläufe mit unterschiedlichen Dosiermengen durchgeführt. Eine Dosierung >12 kg Wirksubstanz (WS) / t TR scheint für das Presssystem notwendig zu sein, um höhere TR-Gehalte erreichen zu können (Figur 23). Wie bereits genannt ist aber immer der Glühverlust des Schlammes (organischer Anteil) mit zu berücksichtigen, da bei wenig gut ausgefauten Schlamm eine verschlechterte Entwässerbarkeit zu erwarten ist.



Figur 23: Abhängigkeit von erreichtem TR-Gehalt und FHM-Dosierung

Figur 24 zeigt jedoch bei Faulschlamm gleicher Qualität (Versuche am selben Tag, GV rd. 48.5%), das die FHM-Dosierungshöhe Einfluss auf die Leistung und den erzielten TR-Gehalt hat.

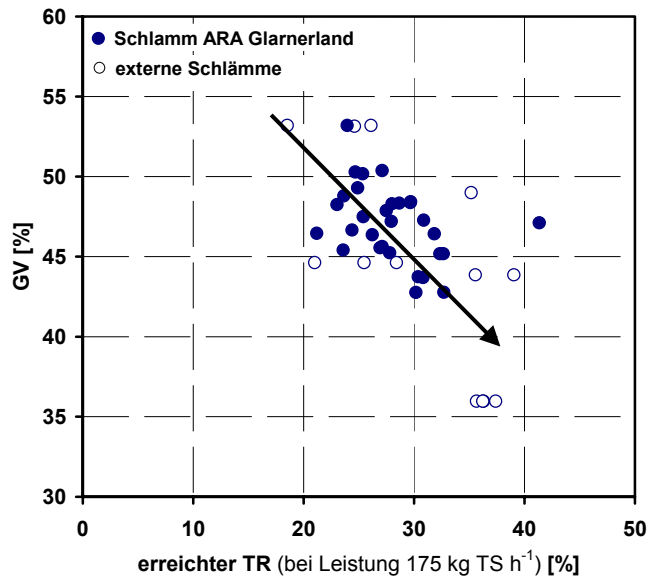


Figur 24: TR-Leistungsverlauf bei Chargen unterschiedlicher Dosierung

Mit zunehmender Dosiermenge FHM steigt der erreichbare TR-Gehalt (Bezugspunkt 125 kg TR/h). Würde man die vier Testläufe bis zu einer Leistung von rd. 75 kg TR h⁻¹ weiterfahren, so hätte Charge 89 den höchsten End-TR. Diese Charge scheint optimal dosiert zu sein, da sie gegen Ende noch die stärkste Steigung aufweist. Auffällig zeigt sich eine verschlechterte Wasserabgabegeschwindigkeit zu Beginn des Pressganges mit zunehmender FHM-Dosierung. Eine Erklärung hierfür konnte abschliessend nicht gefunden werden. Es wird vermutet, dass überschüssiges FHM im Filtrat die Viskosität des Faulwassers erhöht und damit die Abgabegeschwindigkeit verlangsamt. Zudem könnte ggf. das Filtergewebe durch überschüssiges FHM im Filtrat belegt bzw. verschlossen werden, welches jedoch im weiteren Verlauf des Pressganges durch Spüleffekte rückgängig gemacht wird.

5.4.5 Einfluss des Glühverlustes

Wie aus der Literatur bekannt hat der Glühverlust einen hohen Einfluss auf das erreichbare Entwässerungsergebnis. Dieser Zusammenhang konnte auch für das Presssystem der HP2500 beobachtet werden. Figur 25 zeigt den erreichten TR bei gleicher Leistung in Abhängigkeit des GV. Der Trend wird durch den Pfeil markiert.



Figur 25: Erreichter Trockenrückstand in Abhängigkeit des Glühverlustes

Gut ausgefaulte Schlämme, daher mit einem geringen organischen Anteil lassen sich prinzipiell besser entwässern (Kompressibilität, gebundener Wasseranteil). So konnten zum Beispiel mit dem FS aus der ARA Oberes Surbtal hohe Entwässerungsleistungen erzielt werden (GV = 36%).

Da jedoch die anaerobe Stabilisierung des Schlammes auch einen negativen Einfluss auf die Entwässerbarkeit eines Schlammes haben kann (Verkleinerung der Partikel) kann der Glühverlust nicht allein Aussagen über die Entwässerungsqualität eines Klärschlammes machen. (siehe auch Abschnitt 4.4.2 und 4.4.3).

5.4.6 Einfluss Waschen

Wird nach längerem Gebrauch (20 Chargen) das Drainagesystem gewaschen, lässt sich eine nur unwesentlich verbesserte Leistung der Presse feststellen. Figur 26 (obere Reihe) zeigt Rundkern und Laschenkern ohne Filterstrumpf nach einem Waschgang. Die Drainagekanäle sind frei von Verunreinigungen oder Ablagerungen.

Ein über die Zeit stetiges zusetzen des Filtergewebes konnte ebenfalls im Untersuchungszeitraum weder beim Filtertextil M7 (Betrieb von etwa 120 Chargen) noch beim neu ermittelten Textil V1 (Betrieb von etwa 50 Chargen) beobachtet werden (untere Reihe). Das rechte Bild der unteren Reihe zeigt Filtertextil V1 neu (oben) und gebraucht (unten). Der Vergleich zeigt, dass es lediglich zu einer Verfärbung des Textils kommt.

Es wird davon ausgegangen, dass ein Dauerbetrieb sich auf das Drainagesystem nicht negativ auswirken wird, da das System prozessbedingt eine Selbstreinigung beinhaltet (Rückfahren des Kolbens erzeugt Unterdruck im Pressraum, nachströmende Luft spült Drainagekerne und Filter frei). Nach welcher verarbeiteten Menge Dünnschlamm ein Austausch der Filterstrümpfe des Drainagesystems notwendig wird kann abschliessend nicht genannte werden.



Figur 26: Rundkern bzw. Laschenkern der verwendeten Drainageelemente (obere Reihe); (untere Reihe, linkes Bild) montierte Filterelemente (Laschenkern + Textil V1); (rechtes Bild) neues und gebrauchtes Textil (Filter V1)

5.4.7 Optimierung des Drainagesystems

Aufgrund bestehender Erfahrungen in der Fest-flüssigtrennung ist bekannt, dass die Ausführung des Drainagesystems entscheidenden Einfluss auf das TR-Leistungs-Verhalten eines HP-Presssystems hat. Das Standarddrainagesystem der HP 2500 besteht aus 130 Drainageelementen, deren Enden an Zylinder- und Kolbenboden im Pressraum befestigt sind (vgl. auch Abschnitt 4.7). Ein Drainageelement wiederum besteht aus einem mit Längsnuten versehenen elastischen Kern, auf dessen Oberfläche ein Filterschlauch montiert ist.

Als Erfolg versprechend im Hinblick auf eine Erhöhung der Entwässerungsleistung wurden folgende Massnahmen beurteilt:

- Evaluierung eines Alternativfilters mit höherer Filtratdurchlässigkeit
- Erhöhung der wirksamen Filterfläche durch Verwendung eines Drainagekernprofiles mit höherer Oberfläche.

Eine Erhöhung der Filterfläche durch Steigerung der Drainageelementanzahl konnte aufgrund des hohen mechanischen Aufwandes nicht realisiert werden. Ausserdem wurde befürchtet, dass damit das Auflockern bzw. das Mischen des Pressrückstandes beim Kolbenrücklauf verschlechtert werden könnte.

Zur Realisierung der oben genannten Ziele zur Steigerung der Entwässerungs- bzw. Durchsatzleistung wurden folgende Massnahmen durchgeführt:

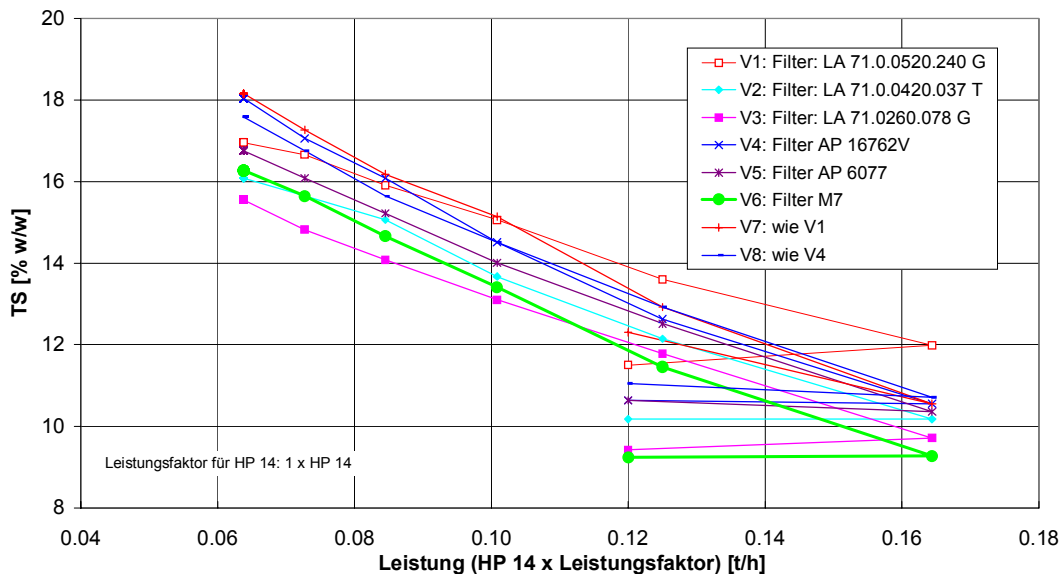
- **Drainagefilter**

Zur Beurteilung des Trennverhaltens eines Filters wurden Vorversuche mit einer HP 14 durchgeführt. Insgesamt konnten so die Eigenschaften von 5 unterschiedlichen Filtern von zwei Lieferanten mit dem Standardfilter verglichen werden.

Allen Versuchsfiltern gemeinsam ist die durch Weben hergestellte Filteroberfläche und dass die einzelnen Fäden nicht aus Monofäden sondern aus einem Multifilamentverbund bestehen. Dieser Aufbau stellt eine ausreichende Standzeit trotz hoher mechanischer Beanspruchung des Filters sicher. Die Versuchsfilter unterscheiden sich hingegen stark im Bezug auf die Ketten-Schussverbindung, der Filterdicke und der Luftdurchlässigkeit.

Die für die Filterversuche erforderliche Dünnschlammmenge wurde gesamthaft aus der Zufuhrleitung zur HP 2500 bezogen, so dass die Qualität des Faulschlammes für alle Versuche gleich war. Auf diese Weise konnte zudem auch eine gleichmässige Einmischung des Flockungsmittels in den Dünnschlamm gewährleistet werden. Zur Beurteilung der Ergebnisse wurden die Gesamtfüllmenge und die Filtratmenge nach jedem Presszyklus der HP 14 ermittelt. In Kombination mit dem gemessenen TR des Dünnschlammes konnte damit der TR des Pressrückstandes nach jedem Pressschritt berechnet werden. Die beiden besten Versuche wurden nochmals wiederholt, um die Zuverlässigkeit der Aussage sicherzustellen.

Klärschlamm: Einfluss Drainage-Filter



Figur 27: Erreichter Trockenrückstand und Leistung bei Verwendung verschiedener Filtertextilien

Figur 27 zeigt für jeden Versuch den Pressverlauf im TR-Leistung-Diagramm. Mit den Filtern aus Versuch V1 und V4 wurden die besten Ergebnisse erzielt. Im Vergleich zum Standardfilter M7 (V6) konnte bei Erreichen des gleichen TR im Pressrückstand eine um etwa 30% höhere Verarbeitungsleistung erzielt werden.

Im Hinblick auf die ausgewogenen Ergebnisse bezüglich Filtratleistung, Filtratqualität und Reinigbarkeit wurde für die Versuche mit der HP 2500 der Filter V1 ausgewählt und eine entsprechende Anzahl Filterstrümpfe aus dem Filtertextil angefertigt. Der Umbau der Presse erfolgte nach der Frostperiode 2003. Mit dem Filter V1 wurden rd. 50 Chargen durchgeführt. Figur 23 zeigt, dass nach einer gewissen Einfahrphase der evaluierte Filter V1 in etwa die gleiche Durchsatzleistung hat, wie der Filter M7, wobei hier die schwankenden Schlammqualitäten Einfluss auf das Entwässerungsergebnis gehabt haben können.

In der Tabelle 3 sind die wesentlichen Filtermerkmale und Erkenntnisse aus dem Vorversuch zusammengefasst.

Lfd. Nr	Hersteller Lieferant	Luftdurchlass [l/m ² *min]	Bemerkung
1	Lanz Anliker	240	Solide wirkender Filter mit hoher Filtratleistung bei sehr guter Filtratqualität. Gute Reinigbarkeit dank kalandrierter Filteroberfläche
2	Lanz Anliker	37	Wie V1 jedoch mit geringerer Filtratleistung; keine kalandrierte Filteroberfläche
3	Lanz Anliker	78	Wie V1 jedoch mit geringerer Filtratleistung
4	Angst + Pfister	k.A	Vergleichsweise dünne Filter mit instabiler Kette-Schussverbindung; Durchbruch von Feststoffen ins Filtrat bei schnellerem Druckanstieg, Hohe Filtratleistung, sehr gute Reinigbarkeit
5	Angst + Pfister	k.A	Wie V4 jedoch mit stabilerer Kette-Schussverbindung, dafür aber auch nur geringere Filtratleistung.
6	BG	80	Standardfilter M7

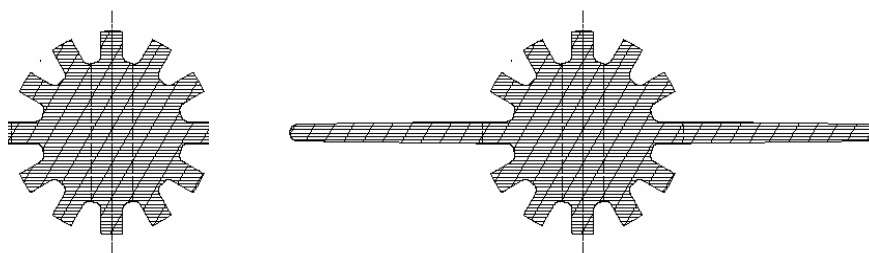
Tabelle 3: Vergleich der verwendeten Filtertextilien

Da neben der Entwässerungsleistung eines Filters auch dessen Haltbarkeit (Verschleiss) von Interesse ist (Betriebskosten), wurde versucht das Langzeitverhalten der Filter abzuschätzen bzw. eine Beurteilung der Trenneigenschaften vorgenommen. Hierzu wurde ein Vergleich der Luftdurchlässigkeit zwischen einem neuen bzw. gebrauchten Filter durchgeführt. Figur 26 unten rechts zeigt einen optischen Vergleich zwischen neuen und gebrauchten Filter. Diese Messung wurde sowohl für den Filter Typ M7 und als auch für den neu evaluierten Filter V1 durchgeführt. Vor der Messung wurden die Filter mit Wasser gespült (keine chemische Reinigung) und getrocknet.

Die Luftdurchlässigkeitsprüfung ergab, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den neuen und gebrauchten Filtertextilien gibt. Es scheint sowohl für Filter M1 als auch für Filter V1 zu keiner wesentlichen Verschlechterung der Entwässerungsleistung zu kommen. Da jedoch nur ca. 100 Chargen mit Filter M7 bzw. 50 Chargen mit V1 (insgesamt rund 1500m³ Dünnschlamm bzw. rd. 350 Betriebsstunden) gefahren wurden, muss ein echter Dauerbetrieb das Langzeitverhalten der Filter und deren Verschleissverhalten klären.

- **Erhöhung der Filteroberfläche bzw. Optimierung des Drainagekernprofils**

Zur Erhöhung der Filteroberfläche wurde ein neuer Drainagekern entwickelt bzw. getestet. Der ermittelte Laschenkern hat eine doppelt so hohe Oberfläche wie der Standardrundkern und ermöglicht so eine Erhöhung der Filterfläche des umhüllenden Drainagestrumpfes (vgl. auch Figur 28 und Figur 26 obere Reihe). Aus dieser Massnahme resultiert eine Erhöhung der wirksamen Gesamtfilteroberfläche von +70% (Filtergewebe).



Figur 28: Rundkern- bzw. Laschenkernprofil

- **Kombination von optimierten Drainagefilter und Drainagekernprofil**

Aufgrund der Erhöhung der Filteroberfläche durch Einsatz eines Laschenkerns kann bei gleich bleibender Gesamtfilteroberfläche eine Reduktion der Drainageelemente vorgenommen werden. Dies wurde in Hinblick auf eine mögliche Verbesserung der Auflockerung vorgenommen und es kamen für die Versuche mit optimiertem Drainagesystem nur 111 Elemente zum Einsatz (durch verringerte Anzahl Elemente verbleibt mehr Raum zwischen den einzelnen Elementen zum Durchfallen von Filterkuchenstücke). Die Drainageelemente wurden auf der Druckplatte so angeordnet, dass auf dem Achsenkreuz der Presse keine Elemente montiert waren.

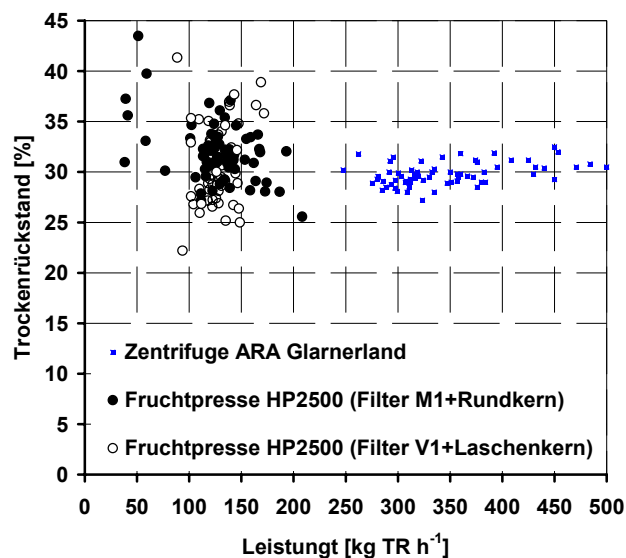
Die verwendeten Drainageelemente wurden mit dem neu evaluierten Filter V1 ausgestattet und eine Reihe von Testchargen durchgeführt.

Leider kann direkt eine verbesserte Auflockerung verbunden mit einer Leistungssteigerung aufgrund fehlender Referenzchargen nicht belegt werden. Beabsichtigt war ein Betrieb über 1 Woche, in der nach 2 Tagen Test des alten Systems 2 Tage mit neuen Drainagesystem gefahren werden sollte bzw. daraufhin wieder zur Referenz 1 Tag mit Rundkern und Filter M7. Zudem sollten in dieser Woche keine externen Schlämme angeliefert werden, so dass die Qualität des FS im Wesentlichen gleich gewesen wäre. Aus folgenden Gründen konnte dieser Vergleich nicht vorgenommen werden:

- relativ lange Montagezeiten für den Umbau von einem zum anderen Drainagesystem (ca. 1 Arbeitstag)
- kontinuierlicher Abzug von Dünnschlamm zur Bedienung des Dekanters führte zu schwankenden Schlammqualitäten im Nacheindicker
- Schwankende Produktqualität im Nacheindicker obwohl im Versuchszeitraum kein externes Produkt zugeführt wurde, es wurden im vorherigen Zeitraum grössere Mengen PAC behandelte Dünnschlämme angeliefert bzw. im Nacheindicker vorhanden

5.4.8 Vergleich zu anderen Entwässerungsaggregaten

Figur 29 zeigt einen direkten Vergleich von TR und Leistung zwischen der auf der ARA eingesetzten Zentrifuge und der Fruchtpresse HP2500 im Untersuchungszeitraum.

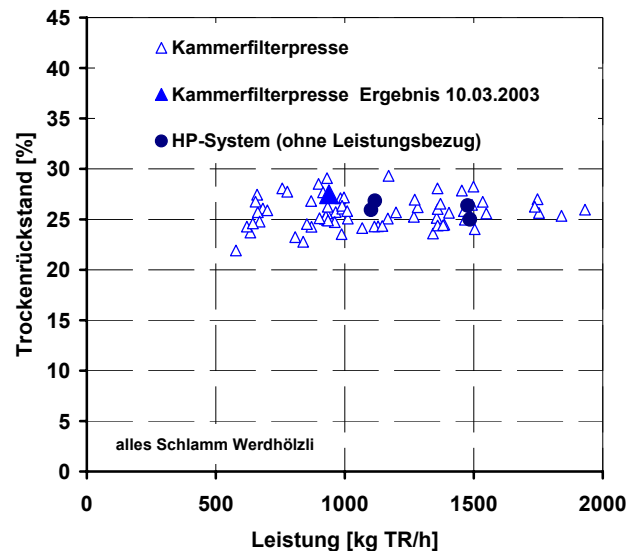


Figur 29: Fruchtpresse HP2500 vs. Zentrifuge

Die Zentrifuge hat im kontinuierlichen Betrieb eine Leistung von rd. 8-10 m³/h Dünnschlamm bei TR-Endgehalte von rd. 28-32%. Mit dem HP-System können 2-4% mehr End-

Trockenrückstand erreicht werden, jedoch beträgt dann der Flux nur etwa 50% desjenigen des Dekaners. Bei Einsatz einer HP5000 auf der ARA wäre die gleiche Leistung bei gleichzeitig höherem End-TR-Gehalt gegeben.

Bei einem Vergleich der Entwässerungsleistungen für Schlamm der ARA Werdhölzli (Figur 30) zeigt sich etwa der gleiche erreichte TR-Gehalt für die HP2500 wie für die im Werdhölzli eingesetzte Kammerfilterpresse (Typ PASSAVANT Megamat A 2000.4 163-163 k30S). Ein direkter Vergleich der Durchsatzleistung ist jedoch nicht möglich, da die Kammerfilterpresse für einen wesentlich grösseren Flux dimensioniert ist. Insgesamt sind beide Entwässerungsleistungen als eher schlecht zu bewerten, da die Faulschlämme der ARA als eher schlecht entwässerbar einzustufen sind.



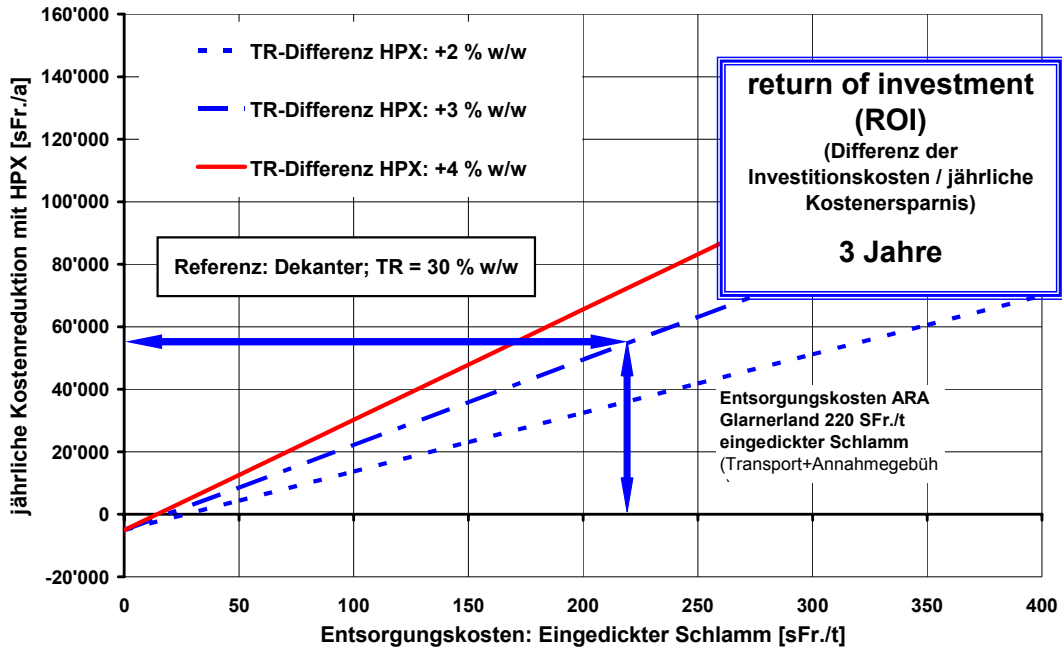
Figur 30: Leistungsvergleich zwischen Fruchtpresse HP2500 und Kammerfilterpresse

6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Eine vorgenommene Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt die anfallenden Kosten zur Entsorgung des maschinell entwässerten Klärschlammes. Bei der Gegenüberstellung der Fruchtpresse mit dem Dekanter sind folgende Kostenfaktoren der Betrachtung zu Grunde gelegt worden:

- Kosten für den Kapitaleinsatz (Investitionskosten Anschaffung, keine bauliche Infrastruktur)
- Kosten für Betrieb + Unterhalt (Energie, Konditionierungsmittel, Wartung und Personal)
- Entsorgungskosten (Transport, Annahme für die Verbrennung)

Die einzelnen angesetzten Kosten entsprechen in ihrer Grösse den anfallenden Kosten (2002) der ARA Glarnerland. Für den Vergleich wird eine HPX5005i angesetzt, welche die gleiche Leistung wie die vor Ort eingesetzte Zentrifuge hat. Für die Investitionskosten wurden die derzeit üblichen Marktpreise für die zwei Maschinen angesetzt. Die Investitionskosten sind für eine Bucherpresse ca. 1.6 – 2 -mal höher (je nach Konfiguration des Aggregates). Bei einer Abschreibungszeit von 15 Jahren ergibt sich eine Differenz bei den jährlichen Fix- und Betriebskosten von rd. 5'000 SFr. zu Gunsten der Zentrifuge. Betrachtet man jedoch als weiteren Anteil die Kosten für die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes, so errechnet sich eine beträchtliche Kostenreduktion für den Gesamtbetrieb der Anlagen.



Figur 31: Wirtschaftlichkeit HPX5005I vs Dekanter

Figur 31 zeigt in Abhängigkeit der Entsorgungskosten bei einer verbesserten Entwässerungsleistung die jährliche Kostenreduktion (diese Betrachtung berücksichtigt nur die Kostenreduktion durch Volumen- bzw. Massenreduktion, nicht jedoch auch den verbesserten Brennwert). Bei derzeitigen Entsorgungskosten von rd. 220 SFr./t eingedickter Schlamm im Fall der ARA Glarnerland ergäbe sich eine Kostenreduktion bei der Entsorgung der Gesamtschlammmenge der Ara von jährlich rd. 55.000 SFr., wenn durchschnittlich rd. 3% mehr TR am Ende der maschinellen Entwässerung erreicht würden. Der ROI (Return Of Investment) wird nach rd. 3 Jahren (Investitionskostendifferenz durch jährliche Kostenreduktion) erreicht bzw. zahlt sich die Mehrinvestition aus. Sollte es zu einer allgemeinen Kostensteigerung für die Entsorgung der Schlämme kommen, insbesondere durch Kapazitätsengpässe bei der thermischen Verwertung oder aber auch verlängerter Transportwege, kann sich die Wirtschaftlichkeit der Fruchtpresse verbessern.

7 Öffentlichkeitsarbeit

Zur Verbreitung der Technologie im neuen Anwendungsbereich wurde im Rahmen des Projektes eine Reihe von Aktivitäten zum Wissenstransfer unternommen. Neben den nachfolgend aufgelisteten Aktivitäten und Veröffentlichungen sind weitere Publikationen im deutschsprachigen Raum geplant.

- Zwischenbericht zum Projektstand Ende 2002, (ist ersetzt durch diesen Schlussbericht)
- Artikel „Was hat Bucher-Guyer mit der Kläranlage zu tun?“ in interner Firmenzeitung der Bucher-Guyer AG, 11/2002
- Vorstellung des Projektes mit Zwischenergebnissen auf der ARA Werdhölzli, 1/2003
- Vorstellung des Projektes im Prozess Ingenieurwissenschaften der EAWAG für interne Weiterbildung, 3/2003
- Kurzbeitrag „Etablierte Filtrationstechnologie sucht neue Anwendung – Was haben Fruchtsaft und Klärschlamm gemeinsam?“, EAWAG Jahresbericht 2002, erschienen 4/2003, siehe auch <http://www.eawag.ch/publications/jahresbericht/jb02.pdf>
- Posterpräsentation des Projektes für Besuch des Kantonsrates des Kanton Glarus auf der ARA Glarnerland, 3/2003

- Posterpräsentation (englisch) auf der Biosolid 2003, Sludge as a resource, Proceedings, 23-25 Juni, Trondheim, Norwegen
- Vortragspräsentation auf der Biosolid 2003, Sludge as a resource, Proceedings 23-25 Juni, Trondheim, Norwegen
- Vortragspräsentation auf der Annual Conference & Expo der New Zealand Water & Wastes Association 2003, 17-19 September, Auckland, Neuseeland
- Schlussbericht zum Projekt, (deutsch und englisch), verfügbar unter <http://www.eawag.ch/research/ing/vt/boehler>
- Vortragspräsentation auf der 8th CIWEM/Aqua Enviro European Biosolids and Organic Residuals Conference, Workshop and Exhibition, Wakefield, West Yorkshire, England. 23-26 November 2003

Zu diesen Aktivitäten wurden im Untersuchungszeitraum Vertreter unterschiedlicher Institutionen auf der ARA mit der neuen Entwässerungstechnologie bekannt gemacht (Kläranlagenbetreiber, Anlagenbauer, Ingenieurbüros, etc.).

8 Weiteres Vorgehen und Ausblick

Die durchgeführten Versuche haben aufgezeigt, dass das Presssystem zur maschinellen Entwässerung von Faulschlamm geeignet ist. Die erreichbaren End-TR-Gehalte sind im Durchschnitt 2-4% höher. Einige entwässerte Schlämme zeigen aufgrund ihrer Eigenschaften noch höhere Entwässerungsgrade.

Neben den vielen Erkenntnissen und Erfahrungswerten zur Entwässerung von Klärschlamm unter Praxisbedingungen mit einer Fruchtpresse, konnten auch neue Optionen für den Fruchtsaftbereich getestet werden.

Nach Abschluss der praktischen Arbeiten des Projektes auf der ARA Glarnerland sollen nun Anwender gefunden werden, die den Dauereinsatz testen. Insbesondere könnten dann auch Erfahrungen mit der Selbstoptimierung gesammelt werden, wobei dann die erreichten TR-Gehalte ggf. höher ausfallen könnten.

9 Schlussbemerkung und Dank

Die zu diesem Projekt formulierten Fragestellungen im Proposal konnten im Rahmen des Projektes vollständig beantwortet werden. Aufgrund neuer interessanter Fragestellungen wurde das Projekt um 4 Monate verlängert, wobei die Arbeiten bei strengem Frost eingestellt wurden.

Die in 2003 erbrachten Erkenntnisse und Ergebnisse, insbesondere zum Drainagesystem und der Entwässerbarkeit anderer Schlämme (auch Rohschlämme) rechtfertigten die Verlängerung des Projektes.

Umfangreiche Aktivitäten im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit, aber auch die positiven Ergebnisse des Projektes selbst, haben bereits zur Verbreitung und Kenntnisnahme der neuen Anwendung in der gesamten Schweiz beigetragen.

Für die finanzielle Unterstützung der wissenschaftlichen Begleitung des Projektes durch die Kommission für Technologie und Innovation (KTI) des Bundesamtes für Berufsbildung und Technologie (BBT) gilt der Dank der Projektteilnehmer. Auch möchte sich die EAWAG und die Bucher Foodtech im besonderen Masse beim Abwasserverband Glarnerland bedanken, da der Einsatz und die Unterstützung wesentlich zum Gelingen des Projektes beigetragen haben.

Literatur

- ATV (1992) „Entwässerungskennwerte“, Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses 3.1 „Allgemeine Fragen (Statistik, Analyse, F+E-Programme)“, erschienen KA 1992 (39) Nr.3, S. 401 – 408
- AVG (1996) Informationsbroschüre der ARA Glarnerland
- BUWAL (2000) Abfallstatistik 1998, Bern, Schweiz
- BUWAL (2001) Klärschlamm in der Landwirtschaft, Pressebericht vom 14.09.2001, Bern, Schweiz,
- BUWAL (2003) Faktenblatt zum Klärschlammverbot, Fragen und Antworten zum Klärschlamm, Faktenblatt 1 vom 26.03.2003, Bern, Schweiz,
- Baumgart H.-C. (1994) Kosten der Klärschlammbehandlung/-verwertung. Internet-Veröffentlichung der Emschergenossenschaft/ des Lippeverbandes
- Denkert, R. (1995) Entwässerung mit Dekanterzentrifugen, ATV-Seminar 10/93 - Schlamm-entwässerung, Kap. 7.1 – 7.28, 16.02.1995
- FAL (2001) Risikoanalyse zur Abfalldüngerverwertung in der Landwirtschaft, Schlussbericht, Zürich-Reckenholz, Schweiz, Juli
- Fehlau m., Specht, E. (2001) Rheologisches Verhalten von Klärschlämmen und Charakterisierung der Leimphase, Korrespondenz Abwasser 48 (7). S. 950-960
- Jung J., Nellenschulte T., et al., Entwicklung in der Klärschlamm-entwässerung, in awt-Abwassertechnik 2/95, 56 – 60.
- Kopp, J. B. (2002) „Wasseranteile in Klärschlamm-suspensionen, Messmethode und Praxisrelevanz“, erschienen KA 2002 49 (7), S. 974 – 983.
- Loll, U. (2000) „Konditionierung von Klärschlämmen und anderen biologischen Abfällen zur stofflichen Verwertung bzw. energetischen Nutzung“, TA-Datenbank-Nachrichten, Nr.1, 9. Jg. 3/2000, Institut für Technischen Umweltschutz (ITU), Darmstadt
- Luggen, E. (1976) Charakterisierung von Klärschlämmen aufgrund des Fließverhaltens und der Teichengrößenverteilung, Diss. ETH-Zürich, Nr.5740
- Meyer, H. (1998) Kosten der Klärschlammbehandlung und -entsorgung, in: Schlammbehandlung, -verwertung und -beseitigung, ATV-Fortbildungskurs für Wassergütewirtschaft und Abwassertechnik, Oktober 1998 in Fulda
- Sintic, A., Drees, K.T. (2001) Entwicklung der Klärschlammbehandlung im Europäischen Raum, KA 2001 48 (8), S. 1106–1113.
- Steirer, K. (1999) Klärschlammmitverbrennung in Kohlekraftwerken. In: Seminar der VDI-Bildungswerk GmbH vom 6. – 7.05.1999 in München: Abfallwirtschaft / Mitverbrennung / Sekundärbrennstoffe
- Vesilind P.A. (2003) Future research in sludge dewatering, Proceedings IWA Specialised Conference BIOSOLIDS 2003 Waste water sludge as a resource, Trondheim, Norway, 23-25. Juni, 2003, S. 385–388.