

Jahresbericht 2004, 21. Dezember 2004

Energetische Optimierung der Klärschlammaufbereitung

Autor und Koautoren	Sabine Burger, Christian Rohr, Helmut Vetter
beauftragte Institution	HOLINGER AG
Adresse	Schaffhauserstrasse 87
Telefon, E-mail, Internetadresse	052 202 94 52, winterthur@holingerag.ch, http://www.holinger.com
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	100673/151070
Dauer des Projekts (von – bis)	Juli 2004 - Januar 2006

ZUSAMMENFASSUNG

Ab dem 1. Oktober 2006 darf der Klärschlamm nicht mehr landwirtschaftlich verwertet werden sondern muss umweltverträglich verbrannt werden. Als Vorstufen zur thermischen Entsorgung stehen die mechanische Entwässerung sowie die Trocknung des Klärschlammes im Vordergrund.

Zurzeit sind auf zahlreichen Kläranlagen (ARA) Klärschlammaufbereitungsanlagen vorgesehen oder werden geplant. Dabei werden die energetischen Aspekte nur am Rande berücksichtigt, da weder Vorgaben noch Fachgrundlagen zur Energieoptimierung vorhanden sind oder belastbare Betriebsdaten von bereits realisierten Anlagen zur Verfügung stehen.

Mit einem Messprogramm an Anlagen, die zukünftig relevante Klärschlamm-trocknungsverfahren einsetzen, sollen messbare Resultate geschaffen werden, damit die Erkenntnisse anschliessend durch Energie in Infrastrukturanlagen von EnergieSchweiz in der Praxis bei Betreibern und Ingenieuren verbreitet werden kann.

Im vorliegenden Jahresbericht werden die zukünftig relevanten Verfahren im Bereich der Entwässerung und Trocknung dargestellt und energetisch miteinander verglichen (Projektphase 1). Auf dieser Grundlage werden auch die Kläranlagen ausgesucht, auf denen nachfolgend ein Messprogramm durchgeführt werden soll.

In Projektphase 2 wird an den in Projektphase 1 ausgewählten ARAs nach vorgängiger Entwicklung eines Messkonzepts eine Messkampagne in Zusammenarbeit mit den Betreibern durchgeführt. Dabei geht es sowohl um die Erfassung und Auswertung elektrischer als auch thermischer Daten.

In Projektphase 3 sollen dann die Resultate aus den vorgängigen Projektphasen aufgearbeitet und in einem Bericht dargestellt. Schlussendlich werden Empfehlungen und eine Checkliste für Kläranlagenbetreiber und Fachingenieure erarbeitet.

Inhaltsverzeichnis

1	AUFTRAG UND AUSGANGSLAGE	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Auftrag und Projektziele	1
1.2.1	Projektphase 1	1
1.2.2	Projektphase 2	1
1.2.3	Projektphase 3	1
2	ENTWÄSSERUNG	2
3	TROCKNUNG	3
3.1	Trocknungsverfahren	3
3.1.1	Wirbelbschichttrocknung	3
3.1.2	Trommeltrocknung	4
3.1.3	Scheibentrocknung	5
3.1.4	Dünnschichtverdampfung mit anschliessender Bandtrocknung	6
3.1.5	Bandtrocknung	7
3.1.6	Niedertemperatur-/Umlufttrocknung	8
3.1.7	Solare Trocknung	9
3.2	Heutige und zukünftige verbreitung Trocknungsverfahren	9
3.2.1	Heutige Verbreitung	10
3.2.2	Zukünftige Verbreitung	10
3.3	Energetische Betrachtung	11
3.3.1	Thermische Energie	11
3.3.2	Elektrische Energie	12
3.3.3	Potentialabschätzung	12
4	AUSWAHL DER KLÄRANLAGEN FÜR MESSPROGRAMM	14
4.1	Ausgewählte Anlagen	14
4.1.1	ARA Region Bern, Wirbelschichttrocknung	14
4.1.2	ARA Schwyz, Niedertemperatur-/Umlufttrocknung	14
4.1.3	ARA Im Blettler, Wohlen, Bandtrocknung	15
4.2	Ausdehnung Messprogramm für Trommeltrocknung	15
4.3	Nicht ausgewählte Anlagen	16

4.3.1	CDL Locarno	16
4.3.2	ARA Bendern, FL	16
4.3.3	ARA Zavràgia, Trun	16
5	LITERATURVERZEICHNIS	18

ANHANG

Anhang 1: Energiebedarf für die Klärschlammbehandlung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Fliessbild eines Wirbelschichttrockners	4
Abbildung 2:	Prinzipschema Trommeltrocknung	5
Abbildung 3:	Prinzipschema Scheibentrocknung	6
Abbildung 4:	Prinzipschema zweistufige Trocknung mit Dünnschichtverdampfer	7
Abbildung 5:	Prinzipschema Bandtrockner	8
Abbildung 6:	Prinzipschema Umlufttrockner	8
Abbildung 7:	Anlagenkonzeption Solartrocknung	9

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Thermischer Energieverbrauch versch. Trocknungsverfahren	11
Tabelle 2:	Elektrischer Energieverbrauch versch. Trocknungsverfahren	12
Tabelle 3:	Technische Daten Wirbelschichttrocknung ARA Region Bern	14
Tabelle 4:	Technische Daten Niedertemperatur-/Umlufttrocknung ARA Schwyz	15
Tabelle 5:	Technische Daten Bandtrocknung ARA Im Bletter, Wohlen	15

Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
a	Jahr
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BFE	Bundesamt für Energie
DS	Dickstoff = entwässerter Klärschlamm
GWh _{el}	Gigawattstunde elektrisch
GWh _{therm}	Gigawattstunde thermisch
kW _{el}	Kilowattstunde elektrisch
kW _{therm}	Kilowattstunde thermisch
mm	Millimeter
t	Tonne
TS	Trockensubstanz
WV	Wasserverdampfung

1 AUFTRAG UND AUSGANGSLAGE

1.1 ALLGEMEINES

Ab dem 1. Oktober 2006 darf der Klärschlamm nicht mehr landwirtschaftlich verwertet werden sondern muss umweltverträglich verbrannt werden. Als Vorstufen zur thermischen Entsorgung stehen die mechanische Entwässerung sowie die Trocknung des Klärschlammes im Vordergrund. Der zukünftige Elektrizitätsaufwand für die Klärschlammaufbereitung vor der Verbrennung wird auf 50 - 100 GWh_{el}/a geschätzt.

Das Energieeinsparpotenzial ist dabei auf zwei Stufen zu suchen: Der Auswahl des Verfahrens sowie der energetischen Optimierung, wenn ein bestimmtes Verfahren ausgewählt wurde.

1.2 AUFTRAG UND PROJEKTZIELE

Zurzeit sind auf zahlreichen Kläranlagen (ARA) Klärschlammaufbereitungsanlagen vorgesehen oder werden geplant. Dabei werden die energetischen Aspekte nur am Rande berücksichtigt, da weder Vorgaben noch Fachgrundlagen zur Energieoptimierung vorhanden sind oder belastbare Betriebsdaten von bereits realisierten Anlagen zur Verfügung stehen.

Mit einem Messprogramm an Anlagen, die zukünftig relevante Klärschlamm-trocknungsverfahren einsetzen, sollen messbare Resultate geschaffen werden, damit die Erkenntnisse anschliessend durch Energie in Infrastrukturanlagen von EnergieSchweiz in der Praxis bei Betreibern und Ingenieuren verbreitet werden kann.

1.2.1 PROJEKTPHASE 1

Als Endprodukt der Projektphase 1 resultiert der vorliegende Zwischenbericht, in dem die zukünftig relevanten Verfahren im Bereich der Entwässerung und Trocknung dargestellt und energetisch miteinander verglichen werden. Auf dieser Grundlage werden auch die Kläranlagen ausgesucht, auf denen ein Messprogramm durchgeführt werden soll.

1.2.2 PROJEKTPHASE 2

In Projektphase 2 wird an den in Projektphase 1 ausgewählten ARAs nach vorgängiger Entwicklung eines Messkonzepts eine Messkampagne in Zusammenarbeit mit den Betreibern durchgeführt. Dabei geht es sowohl um die Erfassung und Auswertung elektrischer als auch thermischer Daten.

1.2.3 PROJEKTPHASE 3

In Projektphase 3 werden die Resultate aus den vorgängigen Projektphasen aufgearbeitet und in einem Bericht dargestellt. Schlussendlich werden Empfehlungen und eine Checkliste für Kläranlagenbetreiber und Fachingenieure erarbeitet.

2 ENTWÄSSERUNG

Als erster Schritt in der Klärschlammaufbereitung muss der Schlamm mechanisch entwässert werden. Ausgangsprodukt ist entweder Faulschlamm oder, bei Kläranlagen ohne Faulung, Frischschlamm, der einen Trockensubstanz-Gehalt von ungefähr 5 % Trockensubstanz (TS) aufweist.

Für die Entwässerung werden auf grösseren Kläranlagen Zentrifugen eingesetzt, die ausgefaulten Klärschlamm auf 30 - 33 % TS entwässern können, je nach Eingangsprodukt sind Trockensubstanzgehalte bis ca. 38 % möglich. Bei kleineren Anlagen kommen entweder Lohnentwässerungen in Frage (bei der Lohnentwässerung wird der Schlamm mit einer mobilen Zentrifuge, die ein Unternehmer gegen Entgelt zur Verfügung stellt, entwässert) oder es werden Siebbandpressen eingesetzt, die TS-Gehalte von 25 - 28 % bei ausgefaultem Schlamm erreichen. Als letzte Möglichkeit besteht für kleine Anlagen der Abtransport des flüssigen Schlammes auf eine andere Kläranlage zur Entwässerung.

Unausgefaulter Schlamm kann, je nach Jahreszeit, auf 18 - 25 % TS entwässert werden. Der Grund für die schlechteren Entwässerungsgrade ist dabei der erhöhte Anteil an organischen Stoffen im Frischschlamm gegenüber ausgefaultem Schlamm.

Der elektrische Energieaufwand für die Entwässerung beläuft sich bei einer Erhöhung des TS-Gehaltes von 5 auf 30 % TS auf 2.7 kWh_{el}/t entferntes Wasser [1]. Ein thermischer Energieaufwand ist für die Entwässerung von Klärschlamm nicht notwendig.

Verglichen mit einer nachfolgenden Trocknung ist der elektrische Energiebedarf mit weniger als 5 % der einer Trocknung verschwindend klein (siehe Tabelle 2) und kann für die nachfolgenden energetischen Überlegungen vernachlässigt werden.

Die Entwässerung spielt aber trotz dieser untergeordneten Rolle beim Energieverbrauch, eine nicht zu unterschätzende Rolle beim Gesamtenergiebedarf, da jedes Gramm mechanisch entferntes Wasser in der anschliessenden Trocknung nicht aufwändig verdampft werden muss. Insofern sind diese beiden Prozesse eng miteinander verknüpft und dürfen nicht gesondert betrachtet werden, da eine ungenügende mechanische Entwässerung des Schlammes einen umso höheren Energiebedarf in der Trocknung verursacht, um die angestrebten 90 % Trockensubstanzgehalt im Endprodukt zu erreichen.

3 TROCKNUNG

Nach der mechanischen Entwässerung des Schlammes ist der nächste Schritt in der Klärschlammaufbereitung die Trocknung oder die direkte Verbrennung des Schlammes. Für eine Entsorgung in Zementwerken ist es aber eine zwingende Forderung, dass der Klärschlamm einen Trockensubstanzgehalt von über 90 % aufweist.

Klärschlamm-trocknungsanlagen können nur dann ein fester Bestandteil der Schlammbehandlung und -entsorgung sein, wenn sie sich nahtlos in das Betriebssystem der Kläranlage einfügen. Das erfordert

- hohe Verfügbarkeiten
- hohen sicherheitstechnischen Standard
- personalfreien Betrieb ausserhalb der Tagschicht
- geringern Personalbedarf für Betrieb, Wartung und Instandhaltung.

Trocknungsanlagen werden mit mechanisch entwässertem Schlamm beschickt. Bei allen nachfolgenden Berechnungen wurde ein einheitlicher TS-Gehalt von 30 % als Input zur Trocknungsanlage vorausgesetzt.

3.1 TROCKNUNGSVERFAHREN

Im folgenden Kapitel werden die relevanten Trocknungsverfahren kurz beschrieben und ihre wesentlichen technischen Eigenschaften dargestellt.

3.1.1 WIRBELSCHICHTTROCKNUNG

Die Wirbelschichttrocknung basiert auf einer Wirbelschicht aus Granularteilchen, welche durch einen Luftstrom in Schwebe gehalten werden. Der entwässerte Klärschlamm wird in diese Wirbelschicht eingemischt und das im Klärschlamm enthaltene Wasser verdampft. Aufgrund der Bewegung der Partikel bildet sich ein Granulat mit einer Körnung von 1 - 5 mm und einem TS-Gehalt von > 90 %. Der Feinanteil wird durch das Fluidisierungsgas aus dem Trockner ausgetragen, während das Granulat während ca. drei bis vier Stunden zur Aufrechterhaltung der Granulatwirbelschicht im Trockner verweilt.

Als Wärmeträger können Thermoöl oder Dampf verwendet werden. Die Lufttemperatur im Trockner beträgt ca. 85°C, die Oberflächen des Wärmetauschers werden aber bis 200°C heiss.

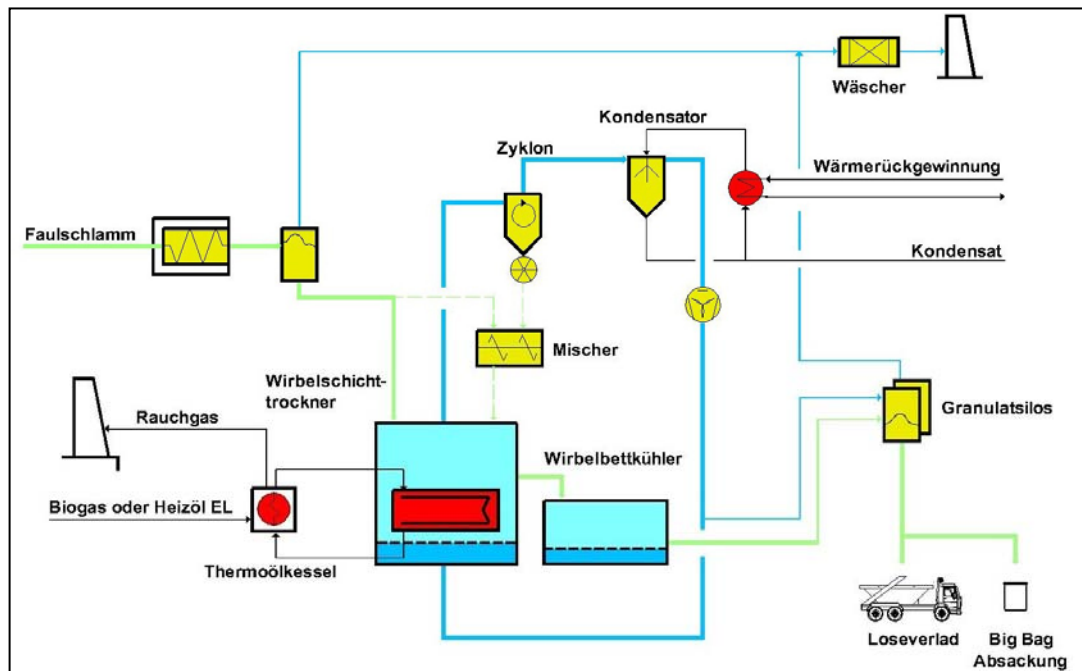


Abbildung 1: Fließbild eines Wirbelschichttrockners [2]

3.1.2 TROMMELTROCKNUNG

Bei der Trommeltrocknung wird der entwässerte Klärschlamm zusammen mit rückgemischtem Trockengut in die Trommel gefördert. Die Trocknung erfolgt mittels Heissluft im Gleichstrom. Da das getrocknete Produkt leichter als der nasse Klärschlamm ist, wird das trockene Produkt mit der Luft mitgerissen und so aus dem Trockner entfernt. Die Trocknung erfolgt via Konvektion. Als Produkt resultieren sehr gleichmässige Körner.

Die notwendige Wärme kann dabei entweder direkt mit einem Brenner am Anfang der Trommel oder über einen indirekten Wärmekreislauf bereitgestellt werden. Die Trocknungsluft hat eine Temperatur von 400 - 450 °C, die Oberflächen und der Klärschlamm werden aber nicht über 120 °C warm.

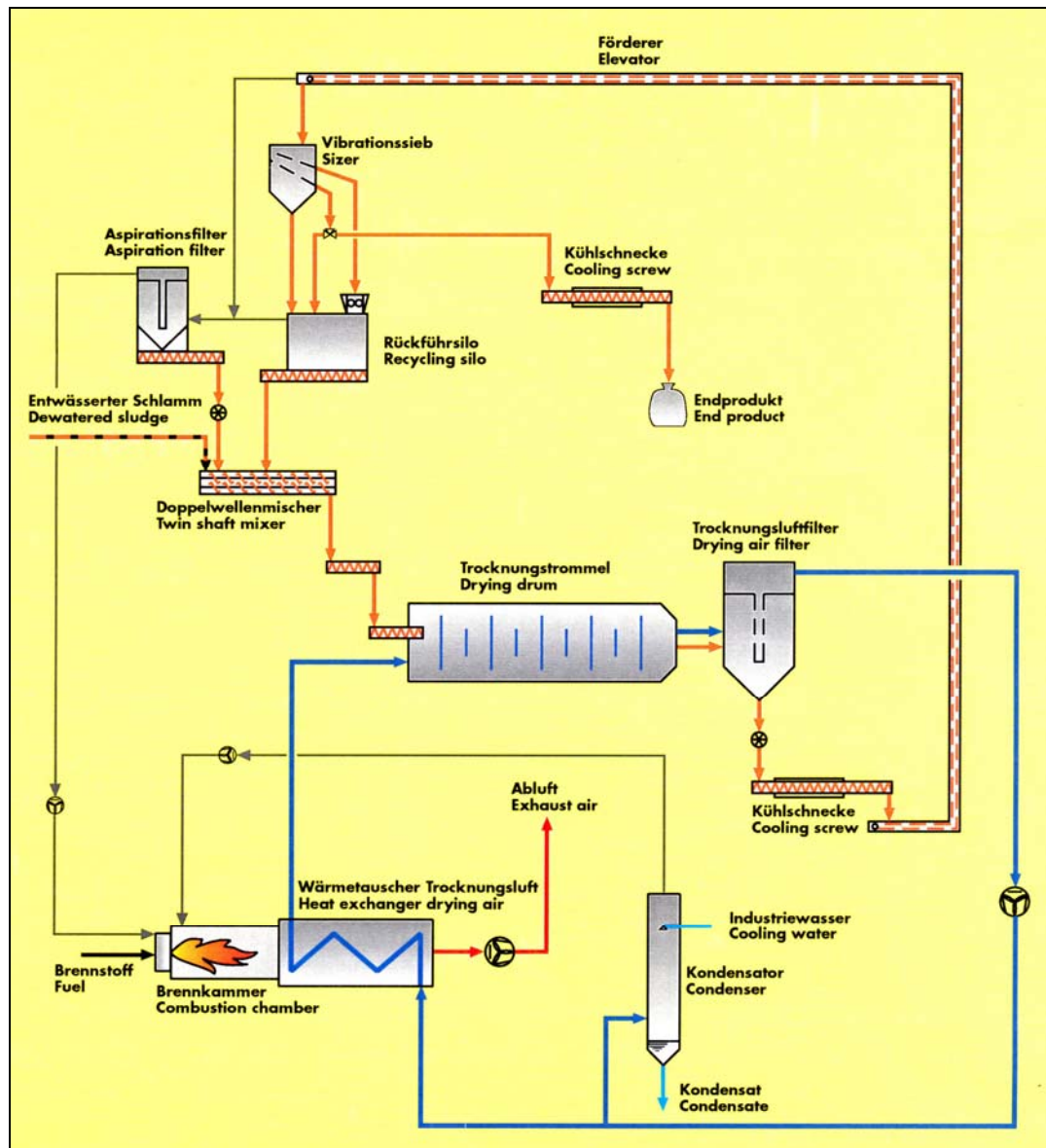


Abbildung 2: Prinzipschema Trommeltrocknung [3]

3.1.3 SCHEIBENTROCKNUNG

Die Scheibentrocknung gehört in die Kategorie der Kontakttrocknung, da der entwässerte Klärschlamm durch den Kontakt mit sog. Scheiben, die mit Heissdampf von 10 bar aufgewärmt werden, getrocknet wird. Dabei wird der entwässerte Klärschlamm im Trockner mit rückgeführtem Trockenklärschlamm vermengt und über Hubschaufeln durch den Trockner gefördert.

Aufgrund des direkten Kontaktes des Schlammes mit den heissen Scheiben ist dieses Verfahren anfällig auf Schlammanbackungen. Das Endprodukt ist eine Granulatmischung mit Staubanteilen.

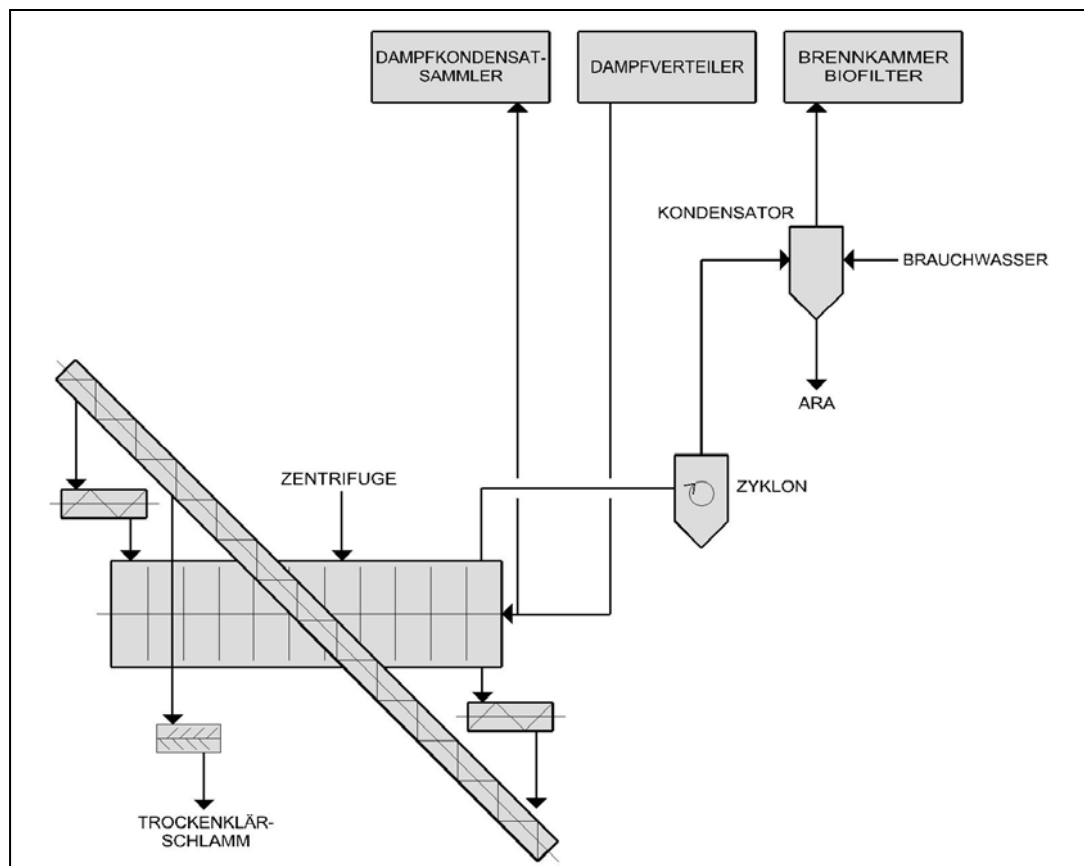


Abbildung 3: Prinzipschema Scheibentrocknung [4]

3.1.4 DÜNNSCHICHTVERDAMPFUNG MIT ANSCHLIESSENDER BANDTROCKNUNG

Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine zweistufige thermische Trocknung, wobei der entwässerte Schlamm zuerst in einem Dünnschichtverdampfer auf einen Trockengrad von 45 bis 50 % TS vorgetrocknet und anschliessend extrudiert oder granuliert und im nachgeschalteten Bandrockner fertig getrocknet wird.

Der Dünnschichtverdampfer arbeitet mit einer dünnen Schicht von Schlamm, die innen an der Heizfläche durch die Einwirkung der Rotorbewegung eine ständige Oberflächenenerneuerung erzielt. Der im Schlamm entstehende Brügendampf entweicht damit praktisch ohne Widerstand (Diffusion) an die Oberfläche, wo er abgezogen wird. Im anschliessenden Bandrockner wird das noch feuchte Granulat ohne weitere mechanische Einwirkung bis auf 90 % TS fertig getrocknet. Als Endprodukt resultieren ein gleichmässiges Granulat oder kurze Stäbchen.

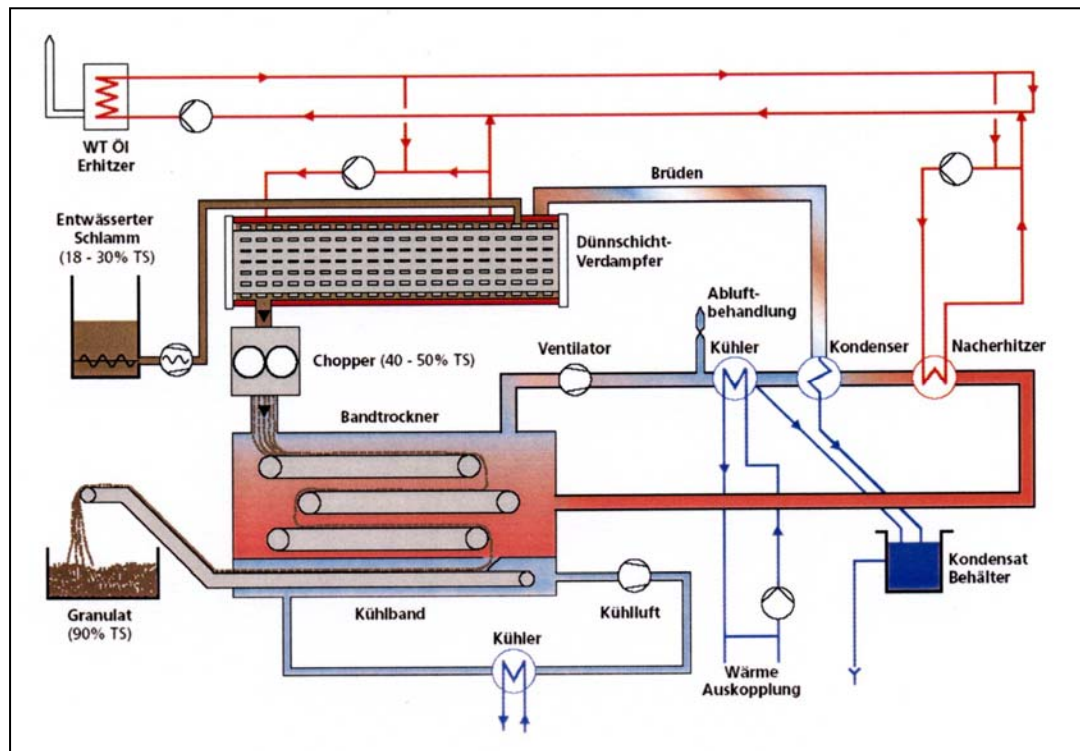


Abbildung 4: Prinzipschema zweistufige Trocknung mit Dünnschichtverdampfer [5]

3.1.5 BANDTROCKNUNG

Der Bandrockner besteht aus einem oder mehreren Transportbändern, auf die der entwässerte Klärschlamm direkt oder zusammen mit rückgemischtem Granulataufgegeben wird. Während des Transports durch den Trockner wird der Klärschlamm mit Luft durchströmt, welche die Feuchtigkeit aufnimmt und dadurch den Schlamm trocknet.

Die zur Aufwärmung der Luft benötigte Wärme wird durch einen Brenner generiert. Die Temperatur im Trockner beträgt max. 85 °C, als Endprodukt resultiert ein feinkörniges Granulat mit > 90 % TS.

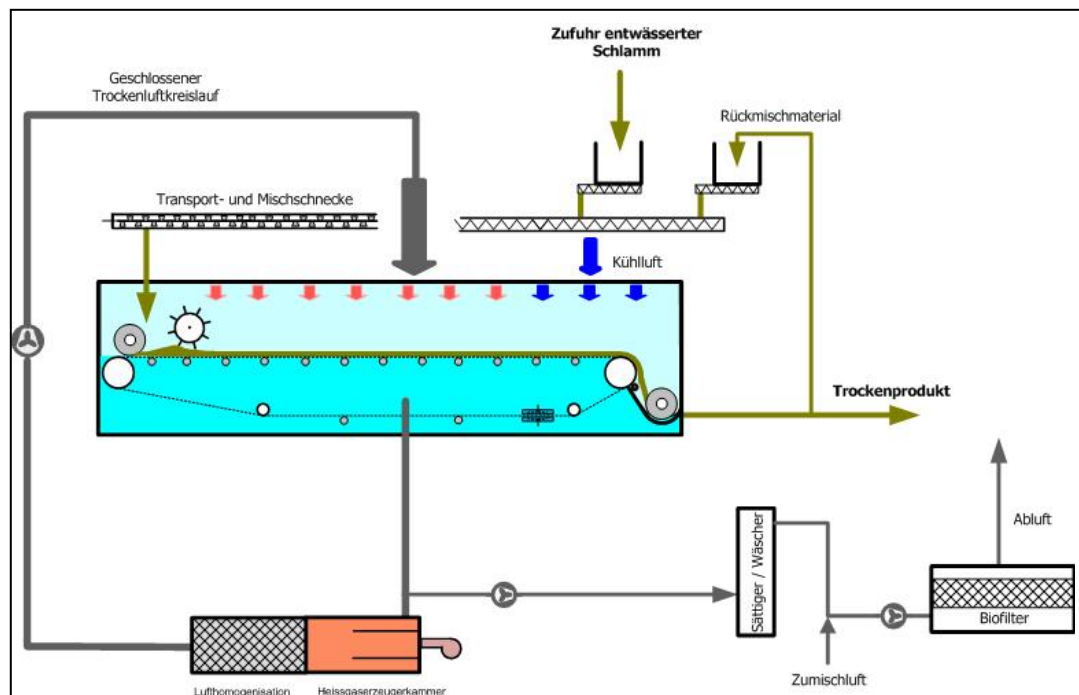


Abbildung 5: Prinzipschema Bandrockner [6]

3.1.6 NIEDERTEMPERATUR-/UMLUFTTROCKNUNG

Der Umluftrockner ist ein Bandrockner, der mit einem Umluftkreislauf und ohne Schlammrückmischung betrieben wird. Der entwässerte Klärschlamm wird als Haufwerk mit einer Schütthöhe von 5 bis 15 cm aufgegeben.

Die Trocknung kann wahlweise mit Frischluft, Umluft oder einer Mischung von beidem betrieben werden. Die zur Aufheizung benötigte Wärme kann entweder durch die Umgebungsluft, Abwärme oder einen Brenner zur Verfügung gestellt werden. Es resultiert ein relativ grobes Granulat mit einer rauen Oberfläche.

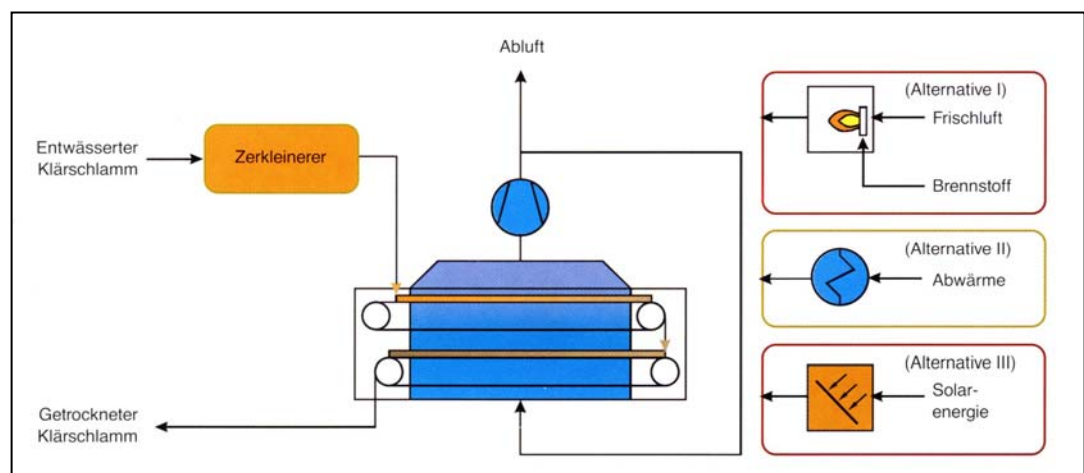


Abbildung 6: Prinzipschema Umluftrockner [7]

3.1.7 SOLARE TROCKNUNG

Bei der Solartrocknung wird der entwässerte Klärschlamm (in seltenen Fällen auch der Flüssigschlamm) in einer Art Gewächshaus ausgebreitet und durch Sonnenenergie getrocknet. Dabei muss der Schlamm regelmässig gewendet werden, eine aktive Aspiration verbessert das Verfahren.

Das Verfahren ist stark von den klimatischen Bedingungen abhängig und erreicht nicht ganzjährig den gleichen Trocknungsgrad. Übers Jahr gemittelt sollte ein TS-Gehalt von 65 - 70 % TS erreichbar sein, dies mit einer Schwankungsbreite von 40 - 90 % TS.

Der Trocknungsvorgang kann durch Abwärme, die in Form einer geheizten Bodenplatte resp. einer Luftzuführung von unten eingebracht wird, verbessert resp. verkürzt werden.

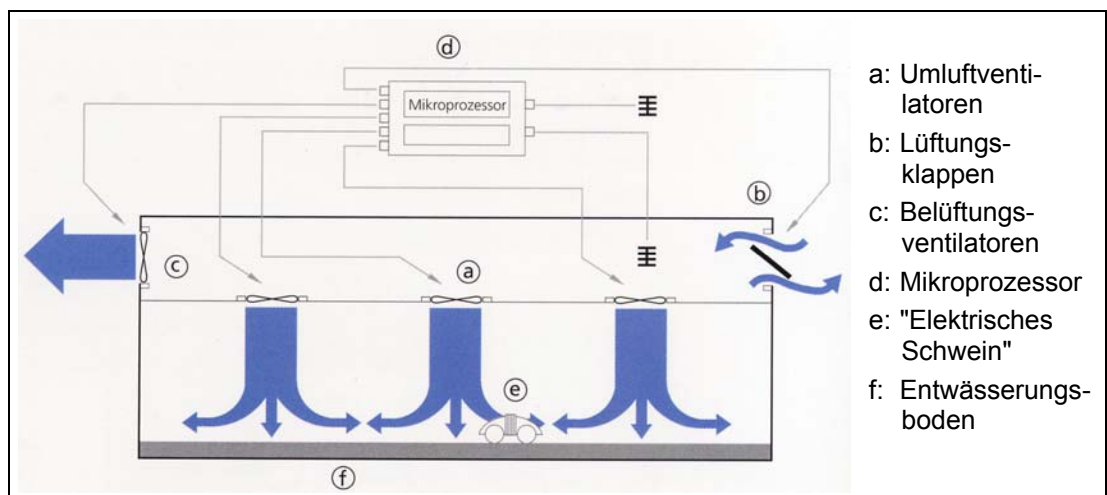


Abbildung 7: Anlagenkonzeption Solartrocknung [8]

3.2 HEUTIGE UND ZUKÜNFTIGE VERBREITUNG TROCKNUNGSVERFAHREN

Jedes der vorgängig beschriebenen Trocknungsverfahren hat seine Existenzberechtigung und seinen optimalen Einsatzbereich. Generell kann gesagt werden, dass die in den Kapitel 3.1.1 (Wirbelschicht), 3.1.2 (Trommel), 3.1.3 (Scheiben) beschriebenen Trocknungsverfahren für grosse Kläranlagen resp. grosse Schlamm-mengen geeignet sind, während die Band- und Umluft-trocknungen (Kapitel 3.1.5 und 3.1.6) für kleinere Anlagen resp. kleinere Schlamm-mengen besser geeignet sind (Grössere Schlamm-mengen können mit mehrstrassigen Anlagen getrocknet werden, entsprechend werden aber die Investitionen grösser.). Die zweistufige Trocknung mit Dünnschichtverdampfer und anschliessender Band-trocknung steht dazwischen. Die Solartrocknung, die einen grossen Flächenbedarf aufweist, ist für kleine Anlagen und Schlamm-mengen geeignet.

3.2.1 HEUTIGE VERBREITUNG

Einen Überblick über alle installierten Trocknungsanlagen geben die Umwelt-Materialien Nr. 181 des BUWAL, Klärschlamm Entsorgung in der Schweiz [9]. Das Spektrum der verschiedenen Trocknungsanlagen ist breit. Am häufigsten werden Trommel- und Wirbelschichttrocknungen eingesetzt, wobei die Wirbelschichttrocknungen nebst einer Niedertemperaturtrocknung die drei neuesten Anlagen stellen.

Noch wenig verbreitet sind die Band- und Umlufttrockner. Dies ist darauf zurück zu führen, dass bis anhin der Schlamm landwirtschaftlich verwertet werden konnte und vor allem die kleineren Anlagen diese Möglichkeit auch nutzten. Band- und Umlufttrockner sind aber Trocknungsverfahren, die sich eher für Anlagen mit weniger als 100'000 angeschlossenen Einwohnerwerten eignen.

Die gleiche Argumentation gilt für Solartrocknungen, wobei bei diesem Verfahren zusätzlich dem Umstand Rechnung getragen werden muss, dass keine über das ganze Jahr hinweg gleich bleibende Trockensubstanz von über 90 % gewährleistet werden kann und dadurch der Absatz an ein Zementwerk nicht möglich ist. Aufgrund des hohen Flächenbedarfs ist das Verfahren hauptsächlich für kleine bis mittleren Anlagen im ländlichen Gebiet interessant.

3.2.2 ZUKÜNFTIGE VERBREITUNG

Ein Aufschwung ist bei den Band- und Umlufttrocknern zu verzeichnen, von denen sich zurzeit zwei Anlagen im Bau befinden. Hier besteht ein wesentliches noch nicht realisiertes Potenzial aufgrund des Klärschlamm-Ausbringungsverbotes vom 1. Oktober 2006. In dieser Sparte ist mit dem grössten Zuwachs zu rechnen.

Auch beim zweistufigen Verfahren mit Dünnschichtverdampfer und anschliessender Bandtrocknung ist mit einer zukünftigen grösserer Verbreitung zu rechnen. Zurzeit befindet sich eine Anlage in Liechtenstein im Bau (siehe Kapitel 4.3.2).

Anstehende Ersatzinvestitionen bei grösseren Anlagen oder neu formierte Verbände zur gemeinsamen Schlamm Entsorgung deuten aber auch auf die zukünftige Verwendung der Grosstrocknungen. In jüngster Zeit wurden in dieser Anlagen-grösse fast ausschliesslich Wirbelschichttrocknungsanlagen gebaut. Ältere Anlagen dieser Grösse wurden mehrheitlich als Trommeltrockner ausgeführt.

Bei Letzteren kam es bei verschiedenen Anlagen aufgrund kleinerer, eigentlich technisch beherrschbarer, Mängel zu Verpuffungen, oft mit entsprechend grösseren Folgen. Möglicherweise wurden aus diesem Grund keine neueren Anlagen nach diesem Verfahren in der Schweiz gebaut. Da diese Mängel aber technisch lösbar sind, wäre das Verfahren grundsätzlich gut für Grosstrocknungsanlagen geeignet. Es sind sowohl die entsprechenden Anbieter als auch das zugehörige Marktpotenzial in der Schweiz vorhanden. Derartige Diskussionen werden aber oft weniger aus rein technischer Sicht als unter subjektiven Aspekten geführt. Es ist deshalb praktisch unmöglich, Prognosen über die zukünftige Verbreitung der Trommeltrockner anzustellen.

Bei den Scheibentrocknern wird gegenüber heute keine grössere Verbreitung mehr erwartet. Diese Trocknungsanlagen weisen im Betrieb einen grossen materiellen Verschleiss auf und sind regeltechnisch aufwändig. Das Wärmeträgermedium ist Heissdampf bei 10 bar, weshalb alle dampfbeaufschlagten Elemente der Druckkesselverordnung unterliegen und periodisch geprüft werden müssen. Allenfalls können Scheibentrockner im Zusammenhang mit einer anschliessenden Schlammverbrennung zum Einsatz kommen, sofern für die Wärme/Energierückgewinnung bei der Verbrennung Dampf erzeugt wird, von welchem ein Teil direkt für die Trocknung des Schlammes verwendet werden kann.

3.3 **ENERGETISCHE BETRACHTUNG**

Den gesamten energetischen Betrachtungen liegt die Tabelle "Energiebedarf für die Klärschlamm-trocknung" im Anhang 1 zu Grunde. Die in der Tabelle aufgeführten Werte basieren auf Literatur- und Herstellerangaben, Erfahrungen aus dem eigenen Haus sowie "Energie in Infrastrukturanlagen" und müssen mit einem Messprogramm verifiziert werden.

3.3.1 **THERMISCHE ENERGIE**

Physikalisch gesehen braucht jede Trocknung unabhängig vom Verfahren für die Verdampfung von 1 Tonne Wasser gleich viel thermische Energie. Die Verfahren unterscheiden sich aber in ihrem Wirkungsgrad und vor allem im Hinblick auf die interne Wärmenutzung.

Die verschiedenen Trocknungsverfahren müssen danach unterschieden werden, ob sie auf der Kläranlage anfallende Abwärme, z.B. die Abwärme der BHKWs oder Abwärme aus dem gereinigten Abwasser, verwenden können (Niedertemperaturtrockner) oder aber Abwärme für die Kläranlage, z.B. zur Faulurmbeheizung, zur Verfügung stellen (Hochtemperaturtrockner). Die Solartrocknung, unter den Niedertemperaturtrocknungen eingeteilt, ist ein Sonderfall, da sie die thermische Energie der Sonne und/oder Abwärme nützt.

In der folgenden Tabelle ist der thermische Energieverbrauch, unterschieden nach Hoch-/Niedertemperatur- und Solartrocknung, aufgeführt.

Tabelle 1: Thermischer Energieverbrauch versch. Trocknungsverfahren

	thermischer Energiebedarf [kWh_{therm}/tWV]
Hochtemperaturtrocknung	715 - 880
Niedertemperaturtrocknung	845 - 1'000
Solartrocknungen	0

Nebst der Solartrocknung, die keine produzierte thermische Energie benötigt, ist die zweistufige Trocknung mit Dünnschichtverdampfer und Bandtrockner thermisch am günstigsten. Aufgrund des zweistufigen Trocknungsvorganges kann die Abwärme der ersten für die zweite Stufe genutzt werden, wodurch die interne Abwärmenutzung optimiert wird. Bei einstufigen Trocknungen ist das nicht möglich.

Bei den Hochtemperaturtrocknern kann je nach Anlage zwischen 20 - 90 % der eingesetzten thermischen Energie wieder als Abwärme genutzt werden. Dieser Wert ist anlagenspezifisch und hat mit der Kläranlageninternen Abwärmenutzung zu tun.

Bei den Niedertemperaturtrocknern kann bis zu 50 % des thermischen Energiebedarfs durch Abwärme aus der Kläranlage gedeckt werden. Dies ist abhängig von den lokalen Gegebenheiten und den zur Verfügung stehenden Wärmequellen. Dabei muss beachtet werden, dass in der Trocknung genutzte Abwärme andernorts auf der Kläranlage fehlt.

3.3.2 ELEKTRISCHE ENERGIE

Beim Elektrizitätsverbrauch sind bei den untersuchten Anlagen sehr grosse Schwankungen auszumachen. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die verfahrenstechnische Aufstellung und Anordnung der Aggregate, die peripheren Anlagenteile und vor allem die Grösse der Anlage.

Tabelle 2: Elektrischer Energieverbrauch versch. Trocknungsverfahren

	elektrischer Energiebedarf [kWh_{el}/tWV]
Hochtemperaturtrocknung	65 - 160
Niedertemperaturtrocknung	95 - 295
Solartrocknung	10 - 30

Der maximale elektrische Energiebedarf von 295 kWh/tWV bei den Niedertemperaturtrocknungen ist auf den Einsatz von Wärmepumpen zurückzuführen. Bei Anlagen mit Abwärmenutzung aus dem Abwasser reduziert sich der thermische Energieverbrauch aus der Verbrennung von Gas oder Öl, weil Abwärme genutzt wird, dafür erhöht sich der elektrische Energieverbrauch durch den Einsatz von Wärmepumpen. Aufgrund ihrer Grösse sind die Hochtemperaturtrocknungen energetisch günstiger.

3.3.3 POTENTIALABSCHÄTZUNG

Gesamte Schlammmenge Schweiz

In der Schweiz fallen pro Jahr ca. 200'000 t Trockensubstanz Schlamm an. Unter der Annahme, dass diese gesamte Schlammmenge vor der Verbrennung getrocknet wird und dass anstelle des energetisch schlechtesten das beste Verfahren eingesetzt wird, kann von einem Einsparpotenzial an elektrischer Energie von ca. 40 GWh_{el}/a ausgegangen werden.

Das thermische Einsparpotenzial beträgt ca. 115 GWh_{therm}/a, und ist damit rund dreimal grösser als das elektrische.

Schlammmenge, die getrocknet werden kann

Getrockneter Schlamm wird vorwiegend in Zementwerken verbrannt, und dort steht die Verbrennungskapazität von Granulat in Wechselwirkung mit der Menge Tiermehl, die verbrannt werden muss. Von den anfallenden 200'000 tTS Schlamm pro Jahr besteht für die nahe Zukunft eine Verbrennungsmöglichkeit für getrockneten Schlamm in Zementwerken von ca. 70'000 - 120'000 tTS.

Das Einsparpotenzial an elektrischer Energie auf die reduzierte Schlammmenge berechnet sich zu ca. 13 - 22 GWh_{el}/a. Das thermische Einsparpotenzial liegt bei 38 - 66 GWh_{therm}/a.

Fehlende Trocknungskapazität

Zur Erreichung der Trocknungskapazität für die Menge Schlamm, für die momentan eine Abnahmemöglichkeit in Zementwerken besteht, fehlen in der Schweiz rund 10'000 - 60'000 tTS. Wird das Einsparpotenzial auf diese fehlende Trocknungskapazität bezogen, so ergeben sich maximal 2 - 12 GWh_{el}/a, resp. 7 - 35 GWh_{therm}, die eingespart werden können.

Darin nicht berücksichtigt sind anstehende Ersatzinvestitionen sowie ein zusätzliches Trocknungspotenzial, das sich durch die Verbrennung von Granulat in Schlammverbrennungen oder Kehrlichtverbrennungen ergeben kann. Zurzeit ist die Verbrennung von Granulat ausserhalb von Zementwerken noch nicht weit verbreitet, in verschiedenen Entsorgungsanlagen wird aber über diese Möglichkeit nachgedacht, da getrockneter Klärschlamm einen wesentlich höheren Heizwert als entwässerter Schlamm aufweist.

4 AUSWAHL DER KLÄRANLAGEN FÜR MESSPROGRAMM

Mit einem Messprogramm an drei Anlagen sollen die in der Tabelle im Anhang 1 ermittelten Daten verifiziert und allfällige zusätzliche Daten erhoben werden. Für die Teilnahme am Messprogramm (Projektphase 2) schlagen wir folgende Anlagen vor:

- ARA Region Bern AG, Wirbelschichttrocknung
- ARA Schwyz, Niedertemperatur-/Umlufttrockner
- ARA Im Blettler, Wohlen, Bandtrocknung

4.1 AUSGEWÄHLTE ANLAGEN

4.1.1 ARA REGION BERN, WIRBELSCHICHTTROCKNUNG

Wie in Kapitel 3.2 erläutert gehört die Wirbelschichttrocknung zu den zukunfts-trächtigen Verfahren und es ist damit zu rechnen, dass noch mehrere solcher Anlagen in der Schweiz gebaut werden.

Die auf der ARA Region Bern installierte Trocknungsanlage ist betreffend Abwärmenutzung und Einbindung der Trocknung in das gesamte Wärmenetz der Kläranlage vorbildlich ausgeführt und lohnt daher ganz besonders einer näheren Untersuchung. Es ist zu erwarten, dass aus der Untersuchung der Anlage zahlreiche Empfehlungen für zukünftige Trocknungsanlagen resultieren.

Tabelle 3: Technische Daten Wirbelschichttrocknung ARA Region Bern

Schlammumsatz	4'950	kgDS/h
Wasserverdampfung	3'175	kgWV/h
TS-Gehalt entw. Schlamm	23 - 38	% TS
TS-Gehalt Granulat	> 90	% TS

4.1.2 ARA SCHWYZ, NIEDERTEMPERATUR-/UMLUFTTROCKNUNG

Aufgrund des zukünftigen Marktpotenzials von kleineren Trocknungsanlagen ist es zwingend notwendig, diese Verfahren genauer zu untersuchen und vorhandene Daten aus Literatur- und Herstellerangaben zu verifizieren.

Die ARA Schwyz eignet sich sehr gut zur Untersuchung der Niedertemperatur-trocknung mit Umluftbetrieb. Durch die Einbindung von Abwärme in den Trocknungsprozess werden wichtige Rückschlüsse hinsichtlich der Abwärmenutzung solcher Systeme möglich.

Tabelle 4: Technische Daten Niedertemperatur-/Umlufttrocknung ARA Schwyz

Schlammdurchsatz	100 - 108 360	kgTS/h kgDS/h
Wasserverdampfung	252 - 259	kgWV/h
TS-Gehalt entw. Schlamm	28 - 30	% TS
TS-Gehalt Granulat	> 90	% TS

4.1.3 ARA IM BLETTLER, WOHLER, BANDTROCKNUNG

Nebst der Kalt-/Umlufttrocknung ist zu erwarten, dass sich auch die anderen Formen der Bandtrocknung in Zukunft vermehrt durchsetzen werden.

Auf der ARA Im Blettler wird Ende Oktober 2004 ein neuer Bandtrockner in Betrieb gesetzt. Beim angewendeten Verfahren wird zwar keine Abwärme ins System eingebunden, aufgrund der Direktbeheizung wird jedoch eine optimale Wärmeausnutzung erwartet. Dadurch ist es möglich, die eigentliche Energieeffizienz des Trocknungsverfahrens zu bestimmen.

Tabelle 5: Technische Daten Bandtrocknung ARA Im Blettler, Wohler

Schlammdurchsatz	290 800 - 1'060	kgTS/h kgDS/h
Wasserverdampfung	650	kgWV/h
TS-Gehalt entw. Schlamm	27 - 35	% TS
TS-Gehalt Granulat	> 90	% TS

4.2 AUSDEHNUNG MESSPROGRAMM FÜR TROMMELTROCKNUNG

Wie bereits in Kapitel 3.2.2 dargelegt wurde, sind in jüngster Zeit keine Anlagen nach dem Verfahren der Trommeltrocknung realisiert worden und die zukünftige Marktentwicklung für diesen Anlagentyp ist nicht abschätzbar. Andererseits sind in der Vergangenheit ein grosser Anteil der Schweizer Trocknungsanlagen als Trommeltrockner ausgeführt worden. Teilweise sind diese bereits wieder stillgelegt worden oder es stehen in näherer Zukunft Ersatzinvestitionen für noch in Betrieb befindliche Anlagen an.

Aufgrund des vergleichsweise niedrigen Energiebedarfs (vgl. Tabelle "Energiebedarf für die Klärschlammbehandlung" im Anhang 1) der Trommeltrockner und der gegenwärtig noch grossen Verbreitung dieser Anlagen, schlagen wir eine Ausdehnung des Messprogramms auf das System Trommeltrockner vor.

Da die Einbeziehung aller gemäss Kapitel 4.1 vorgeschlagenen Trocknungsanlagen in das Messprogramm unbedingt empfohlen wird, bitten wir um Prüfung durch das BFE, ob eine Ausdehnung des Messprogramms für diesen Anlagentyp möglich ist. Als mögliche Kläranlagen zur Durchführung des Messprogramms für Trommeltrockner kämen die ARA Dübendorf und die ARA Bülach in Frage.

Wir bieten unsererseits an, die erforderlichen Abklärungen zur etwaigen Beteiligung der genannten Anlagenbetreiber am Messprogramm kurzfristig durchzuführen.

4.3 NICHT AUSGEWÄHLTE ANLAGEN

4.3.1 CDL LOCARNO

In Locarno wird auch das Wirbelschichttrocknungsverfahren angewendet, die Einbindung von Abwärme ins System sowie die weitergehende Abwärmenutzung wurde aber nicht so weitgehend ausgeführt wie in Bern, weshalb aus den Untersuchungen in Bern für die Ausarbeitung der Checkliste wertvollere Resultate erwartet werden.

4.3.2 ARA BENDERN, FL

Ursprünglich war vorgesehen, die zweistufige Trocknung mit Dünnschichtverdampfer und anschliessender Bandtrocknung in BERN in die Messkampagne zu integrieren. Dieses Verfahren hätte sich aufgrund der Zweistufigkeit und der damit möglichen internen (innerhalb des Prozesses) Abwärmenutzung gut für das Messprogramm geeignet.

Die Trocknungsanlage in BERN geht aber erst Mitte nächstens Jahres, also nach dem geplanten Beginn der Messphase (Januar 2005), in Betrieb und kann deshalb nicht miteinbezogen werden.

4.3.3 ARA ZAVRAGIA, TRUN

Auf der ARA Zavrugia in Trun ist eine solare Klärschlamm-trocknung in Kombination mit einer nachgeschalteten Kaltlufttrocknung auf 90 % TS-Gehalt in Betrieb.

Das Verfahren der Solartrocknung wurde bereits auf der ARA Bilten im Glarnerland durch Herrn Otto Fischli sowie Herrn Rudolf Zweifel ausgiebig untersucht und die Resultate in einem Schlussbericht [10] festgehalten. Eine erneute Messkampagne erübrigt sich dadurch, die vorliegenden Resultate werden aber in der Projektphase 3 mitausgewertet und die Erkenntnisse in den Schlussbericht integriert.

Das Verfahren der Kaltlufttrocknung wird bereits im Rahmen der vorgeschlagenen Messkampagne an der Anlage in Schwyz untersucht.

Winterthur, 21. Dezember 2004

Verfasserin: Sabine Burger

Mitarbeit: Christian Rohr, Helmut Vetter

HOLINGER AG

Helmut Vetter
Projektleiter

Sabine Burger
Projektingenieurin

5 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] HOLINGER AG: Interne technische Unterlagen und Erfahrungswerte aus Inbetriebnahmen und Garantieabnahmen von Schlammaufbereitungsanlagen
- [2] Technische Unterlagen VA TECH WABAG
- [3] Technische Unterlagen Swiss Combi Technology AG
- [4] Interne Unterlagen HOLINGER AG
- [5] Technische Unterlagen Innoplana Umwelttechnik AG
- [6] Technische Unterlagen Andritz 3Sys AG
- [7] Technische Unterlagen Picatech Huber AG
- [8] Technische Unterlagen Thermo-System
- [9] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL: Klärschlamm Entsorgung in der Schweiz - Mengen- und Kapazitätenerhebung, Umweltmaterialien Nr. 181, 2004
- [10] Fischli O., Zweifel H. R.: Messkampagne für eine solare Klärschlamm Trocknungsanlage in Bilten GL - Schlussbericht, Bundesamt für Energie Bern, Oktober 2004

ANHANG

Anhang 1: Energiebedarf für die Klärschlamm-trocknung

Energiebedarf für die KLÄRSCHLAMMTROCKNUNG

Grundlagen für die Berechnung:

Spezifischer Schlammanfall: 60 gTS/E*d mit einem TS-Gehalt von 30% nach Entwässerung als Mittelwert zwischen Faulschlamm und Frischschlamm

Elektrischer Energiebedarf für Kühlwasser 0.5 kWh/m³

Anmerkungen		Volltrocknung				Voll- oder Teiltrocknung			
		Hochtemperaturtrocknung				Niedertemperaturtrocknung			
		Wirbelschichttrocknung	Trommeltrocknung	Scheibentrocknung	Dünnschichtverdampfung mit anschließender Bandtrocknung (zweistufig)	Bandtrockner	Kalt-/Umlufttrocknung	Solare Trocknung in Kombination mit Abwärme und Frischluft	Solare Trocknung
Nicht jedes dargestellte Verfahren ist für jede Anlage und an jedem Ort einsetzbar. Die Integration in best. Kläranlagensysteme ist für die Darstellung nicht berücksichtigt, muss aber bei der Realisierung der Anlage unbedingt einbezogen werden. Dabei ist z.B. die Abwärmenutzung von Hochtemperaturtrocknern zu beachten. Bei den Verfahren, bei denen Solarenergie zur Schlammtrocknung eingesetzt wird, sinkt der thermische Wärmebedarf erheblich, die Differenz am thermischen Energiebedarf wird durch die Sonneneinstrahlung erbracht.									
Grunddaten									
Geeignet für ARAs von bis	EW	> 100'000	> 100'000	> 100'000	20'000 bis 300'000	15'000 - 100'000	15'000 - 100'000	5'000	5'000 bis 100'000
Wasserverdampfung	kgWV/h	> 1'500	> 1'500	> 1'500		< 1'500	< 1'500	< 100	< 1'500
TS-Gehalt Anfang	% TS	25 bis 33	25 bis 33	25 bis 32	25 bis 32	25 bis 30	25 bis 30	25 bis 30	3 bis 30
TS-Gehalt Ende	% TS	> 90	> 90	> 90	> 90	90	90	85 bis 90	40 bis 90, ganzjährig 65 - 70
Elektrische Energie									
Energiebedarf elektrisch ¹⁾	kWh/t WV	64 bis 93	85	64	128	129	95 bis 295	205	10 bis 30
Energiebedarf elektrisch mit Kühlwasserbedarf	kWh/t WV	68 bis 99	87	66	134	132	95 bis 295	205	10 bis 30
Thermische Energie									
Energiebedarf thermisch (aus Erdgas, Klärgas, Erdöl oder Abwärme)	kWh/t WV	820 bis 880	800 bis 865	876	771	863	843 bis 1'000	0	0
Mögliche Abwärmenutzung zur Deckung des therm. Energiebedarfs ²⁾	%				9%		8 bis 43%	100	1 therm. Energie durch Sonneneinstrahlung gedeckt
Mögliche Nutzung der Abwärme der Schlammtrocknungsanlage ³⁾	%	9 bis 90%	20 bis 50%	37%	37%	72%			
Kühlwasserbedarf									
Kühlwasserbedarf	m ³ /tWV	7 bis 12	3 bis 4	3.5	12.0	8			
Energiebedarf elektrisch für Kühlwasser	kWh/m ³	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5			
Energiebedarf elektrisch für Kühlwasser	kWh/t WV	3 bis 6	1.5 bis 2	2	6.0	3.9			
Energiebedarf pro Einwohnerwert ⁴⁾		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
Elektrischer Energiebedarf	kWh/EW*a	3.8	4.1	3.1	6.2	6.3	9.5	10.0	1.0
Elektrischer Energiebedarf mit Kühlwasser	kWh/EW*a	4.1	4.2	3.2	6.5	6.4	9.5	10.0	1.0
Thermischer Energiebedarf	kWh/EW*a	41.4	40.5	42.6	37.5	42	45	0	0
Energiebedarf pro t entwässerter Schlamm ⁴⁾		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
Elektrischer Energiebedarf	kWh/t DS	52	57	43	85	86	130	137	13
Elektrischer Energiebedarf mit Kühlwasser	kWh/t DS	56	58	44	89	88	130	137	13
Thermischer Energiebedarf	kWh/t DS	567	555	584	514	575	614	0	0
Energiebedarf pro t Trockensubstanz ⁴⁾		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
Elektrischer Energiebedarf	kWh/t TS	174	189	142	284	287	433	456	44
Elektrischer Energiebedarf mit Kühlwasser	kWh/t TS	186	193	147	298	293	433	456	44
Thermischer Energiebedarf	kWh/t TS	1'889	1'850	1'947	1'713	1'918	2'048	0	0

1) Beim elektrischen Energiebedarf spielt die Anordnung der Aggregate (z.B. für Schlammzuführung) eine entscheidende Rolle

2) Abwärmenutzung aus ARA-Betrieb (z.B. Abwärme BHKW, gereinigtes Abwasser) -> die prozentuale Abwärmenutzung in Bezug auf den thermischen Energiebedarf ist ein Anhaltswert aus realisierten Anlagen und nicht auf jede Anlage übertragbar

3) Abwärmenutzung der Hochtemperatur-Trocknungsanlagen, z.B. zur Beheizung des Faulturmes

4) falls von mehreren Anlagen Daten vorlagen, wurden die Werte für den Energiebedarf gemittelt