

Jahresbericht 2005, 29. November 2005

Energetische Optimierung der Klärschlammaufbereitung

AKTUALISIRTER ZWISCHENBERICHT PROJEKTPHASE 2

| | |
|----------------------------------|--|
| 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.

In Projektphase 1 wurden verschiedene Trocknungsverfahren energetisch miteinander verglichen und darauf basierend drei Kläranlagen ausgesucht, auf denen ein Messprogramm durchgeführt werden soll.

Im vorliegenden Zwischenbericht werden die Messprogramme der einzelnen Kläranlagen dargestellt und eine Zwischenbewertung nach sieben Monaten vorgenommen. Die spezifischen Energieverbräuche in kWh pro Tonne Wasserverdampfung (elektrisch und thermisch) liegen dabei im Wesentlichen im erwarteten Bereich.

In Projektphase 3 sollen dann die Resultate aus den vorgängigen Projektphasen aufgearbeitet und in einem Bericht dargestellt werden. 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 | 2 |
| 2 | MESSPROGRAMM | 3 |
| 2.1 | Grundlagen | 3 |
| 2.1.1 | Systemgrenzen | 3 |
| 2.1.2 | Genauigkeit | 3 |
| 2.2 | Kläranlagen | 4 |
| 2.2.1 | ARA Region Bern, Wirbelschichttrocknung | 4 |
| 2.2.2 | ARA Schwyz, Niedertemperatur-/Umlufttrocknung | 5 |
| 2.2.3 | ARA Im Blettler, Wohlen, Bandtrocknung | 6 |
| 3 | AUSWERTUNG | 7 |
| 3.1 | ARA Region Bern | 7 |
| 3.2 | ARA Schwyz | 7 |
| 3.3 | ARA Im Blettler, Wohlen | 8 |
| 4 | LITERATURVERZEICHNIS | 10 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|---|---|
| Tabelle 1: | Energieverbrauch Wirbelschichttrocknung ARA Region Bern | 7 |
| Tabelle 2: | Energieverbrauch Niedertemperaturtrocknung ARA Schwyz | 8 |
| Tabelle 3: | Energieverbrauch Wirbelschichttrocknung ARA Im Blettler, Wohlen | 8 |

Verzeichnis der Abkürzungen

| Abkürzung | Erläuterung |
|----------------------|---------------------------|
| ARA | Abwasserreinigungsanlage |
| BFE | Bundesamt für Energie |
| BHKW | Blockheizkraftwerk |
| GWh _{el} | Gigawattstunde elektrisch |
| kWh _{el} | Kilowattstunde elektrisch |
| kWh _{therm} | Kilowattstunde thermisch |
| m ³ | Kubikmeter |
| t | Tonne |
| Nm ³ | Normkubikmeter |
| 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 resultierte der Jahresbericht 2004 vom 21.12.2004 [1], in dem die zukünftig relevanten Verfahren im Bereich der Entwässerung und Trocknung dargestellt und energetisch miteinander verglichen wurden. Auf dieser Grundlage wurden auch die Kläranlagen ausgesucht, auf denen das Messprogramm durchgeführt wird.

1.2.2 PROJEKTPHASE 2

In der laufenden Projektphase 2 wird an den in Projektphase 1 ausgewählten Kläranlagen 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.

Von Projektphase 2 liegt bereits ein Zwischenbericht vom 26.08.2005 vor [2].

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 MESSPROGRAMM

2.1 GRUNDLAGEN

Für jede der drei ausgewählten Kläranlagen mit installierter Trocknung (ARA Region Bern, ARA Schwyz und ARA Im Blettler) wurde ein spezifisches, auf die jeweilige ARA abgestimmtes, Messprogramm in Zusammenarbeit mit den Betreibern erarbeitet.

2.1.1 SYSTEMGRENZEN

Entscheidender Punkt für das jeweilige Messprogramm ist die Festlegung der Systemgrenzen. Ziel war es, die Systemgrenzen derart zu definieren, dass die verschiedenen Trocknungsverfahren untereinander bezüglich Energieverbrauchs (elektrisch und thermisch) verglichen werden können.

Für den spezifischen Stromverbrauch in $\text{kWh}_{\text{el}}/\text{tWV}$ wurden jegliche Maschinen, die nicht für das jeweilige Trocknungsverfahren spezifisch sind, nicht mit eingerechnet. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Förderaggregate, die den entwässerten Schlamm zuführen resp. getrockneten Schlamm von der Trocknungsanlage zum Verladen fördern. Die Schlamm- resp. Granulatförderung braucht es bei allen Trocknungen, die Anzahl sowie die Grösse der Aggregate ist aber stark abhängig von der Aufstellung und den lokalen Gegebenheiten und hat nichts mehr mit dem angewendeten Trocknungsverfahren als solches zu tun.

Beim spezifischen thermischen Energieverbrauch in $\text{kWh}_{\text{therm}}/\text{tWV}$ werden die thermischen Inputströme, z.B. Klärgas oder Heizöl, erfasst, sowie soweit als möglich die Wärmerückgewinnung bilanziert.

2.1.2 GENAUIGKEIT

Die Genauigkeit der erhobenen Daten ist je nach Messstelle unterschiedlich.

Wasserverdampfung

Trockensubstanzbestimmungen sind zwar sehr genau, die Probenahme von Schlamm stellt aber hohe Ansprüche an das Betriebspersonal. Da es sich bei Schlammproben immer um Momentanaufnahmen handelt, ist die Probenahme nur dann repräsentativ, wenn die Anlage in einem stabilen Betrieb läuft. Das An- und Abfahr- resp. das Störverhalten wird hier nicht erfasst. Mengennmessungen von flüssigem Schlamm haben eine ausreichende Genauigkeit.

Die Granulatwägungen bei den Zementwerken können als zuverlässig und genau angesehen werden.

Elektrische Daten

Die Stromverbrauchsmessungen, die auf den einzelnen Kläranlagen installiert sind, können als genau bezeichnet werden.

Die Betriebsstundenerfassung der einzelnen Aggregate, die aus dem Gesamtstromverbrauch rausgerechnet werden, liegt mit ausreichender Genauigkeit vor. Auch die Stromaufnahme im Betrieb kann ziemlich genau ermittelt werden. Bei der Umrechnung auf den Stromverbrauch liegt aufgrund des unbekanntes $\cos \varphi$ sowie Schwankungen in der Stromaufnahme während dem Betrieb eine Ungenauigkeit von ca. 10% vor.

Thermische Daten

Mengenmessungen von Gas und Öl können als sehr genau bezeichnet werden. Auch die von der ARA Schwyz eingesetzten Wärmemesser (siehe Kapitel 2.2.2) weisen eine genügende Genauigkeit auf.

Eine grössere Ungenauigkeit (ca. 30 - 50%) weist die Berechnung der über die Vorwärmung der Verbrennungsluft eingetragenen Wärmemenge der ARA Region Bern auf (siehe Kapitel 2.2.1). Die Ungenauigkeit ist insbesondere in der Berechnung der Verbrennungsluftmenge zu finden, da mit einigen Annahmen gearbeitet werden muss. Dies ist aber notwendig, da die Luftmenge nur auf diese Weise bestimmt werden kann.

Total

Gesamthaft schätzen wir die Ungenauigkeit des durchgeführten Messdatenerfassungs- und -auswertungsprogramms auf ca. $\pm 20\%$.

2.2 KLÄRANLAGEN

2.2.1 ARA REGION BERN, WIRBELSCHICHTTROCKNUNG

Vom Betriebspersonal werden wöchentlich, bei einzelnen Parametern häufiger, Daten erhoben und ca. monatlich an die HOLINGER AG übermittelt.

Wasserverdampfung

Die Wasserverdampfung wird über die an diverse Zementwerke gelieferte Granulatmenge sowie den Eingang- und Ausgangs-Trockensubstanzgehalt der Trocknung bestimmt.

Elektrische Daten

Der Stromverbrauch der gesamten Trocknungsanlage wird erfasst. Anlagenteile, die Trocknungsverfahren-unabhängig sind, werden vom Gesamtverbrauch abgezogen. Diese Aggregate beinhalten die Zuführung des entwässerten Schlammes sowie die Granulatförderung zu den beiden Silos. Dazu wurde die Stromaufnahme der einzelnen Aggregate im Betrieb mehrfach bestimmt und über die wöchentlichen Betriebsstunden wird der Stromverbrauch berechnet.

Thermische Daten

Als thermische Energie werden einerseits Klärgas und Heizöl (nur wenn ungenügende Mengen an Gas vorhanden sind) verwendet, andererseits wird Abwärme eingesetzt. Mit der Abwärme der BHKWs wird dabei das im Kreis geführte Thermoöl vorgewärmt, damit im Brenner weniger Klärgas verbrannt werden muss. Zudem wird die zugeführte Verbrennungsluft über einen Wärmetauscher mit den Rauchgasen des Brenners vorgewärmt, wodurch der Energieverbrauch sinkt.

Die verbrannte Klärgas- resp. Heizölmenge wird über Zähler erfasst. Die über die Abwärme der BHKWs eingebrachte Wärmemenge wird über die Leistung der Umwälzpumpe sowie die unterschiedlichen Temperaturniveaus des Thermoöls vor- und nach der Abwärmenutzung berechnet. Hierbei handelt es sich jeweils um Momentanaufnahmen. Die Vorwärmung der Verbrennungsluft wird über die Luftmenge, die zur Verbrennung geführt wird, sowie die Temperaturdifferenz der Rauchgase vor und nach dem Wärmetauscher bestimmt. Die Luftmenge muss über eine Verbrennungsrechnung bestimmt werden, da keine Messung vorhanden ist. Auch hier handelt es sich um eine Momentanaufnahme, Temperaturwerte zwischen zwei Notierungen müssen interpoliert werden.

2.2.2 ARA SCHWYZ, NIEDERTEMPERATUR-/UMLUFTTROCKNUNG

Vom Betriebspersonal der Kläranlage werden die Daten täglich aufgeschrieben und einmal pro Monat an die HOLINGER AG gesendet.

Wasserverdampfung

Die Wasserverdampfung der Trocknungsanlage wird über eine Bilanz des zugeführten und des getrockneten Schlammes berechnet. Dabei wird einerseits über die Frischschlammmenge, andererseits über das an das Zementwerk gelieferte Granulat gerechnet. Der Trockensubstanzgehalt des Frischschlammes, des entwässerten und des getrockneten Schlammes wird täglich bestimmt.

Elektrische Daten

Der Stromverbrauch der gesamten Trocknungsanlage wird über einen Zähler erfasst. Die ausserhalb der Systemgrenzen (siehe Kapitel 2.1.1) liegenden Aggregate werden über die Betriebsstunden und die Stromaufnahme im Betrieb rausgerechnet.

Thermische Daten

Die ARA Schwyz hat zur Erfassung der thermischen Daten speziell für das aktuelle Messprogramm Wärmehähler in den Abgangsleitungen des Warmwasserspeichers installieren lassen. Aus den Ablesungen der Zähler kann die der Trocknung zugeführte Wärmemenge sehr genau bestimmt werden. Zudem wird der Heizölverbrauch dokumentiert, wodurch sich über den Heizwert des Öls der Energieinput berechnen lässt. Die Differenz dieser zwei Werte ergibt die durch Abwärmenutzung in das System eingebrachte Wärmemenge.

2.2.3 ARA IM BLETTLER, WOHLLEN, BANDTROCKNUNG

Vom Klärmeister werden wöchentlich die notwendigen Daten abgelesen und monatlich der HOLINGER AG übermittelt.

Wasserverdampfung

Die Menge des getrockneten Schlammes wird über eine Input-Output-Bilanz bestimmt. Die Menge des zugeführten entwässerten Schlammes wird über eine Mengemessung sowie die Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes erfasst. Das Granulat wird bei der Entsorgung im Zementwerk gewogen, zusätzlich wird der TS-Gehalt vom Betriebspersonal bestimmt.

Elektrische Daten

Für die Klärschlamm-trocknung ist eine Stromverbrauchsmessung installiert. Darin enthalten sind diverse Fördererlemente für die Zuführung des entwässerten Schlammes sowie die Wegführung des Granulats zur Lagerung, die verfahrensunabhängig sind und entsprechend nicht berücksichtigt werden. Bei den zuviel erfassten Aggregaten werden die wöchentlichen Betriebsstunden ermittelt und über die Stromaufnahme im Betrieb die elektrische Energie berechnet, die verbraucht wird. Diese Strommenge wird vom Gesamtstromverbrauch abgezogen. Zusätzlich wird ein externes Aggregat, dass für die Trocknung verwendet wird, aber im Stromverbrauch nicht erfasst wird, dazugerechnet.

Thermische Daten

Die zur Trocknung benötigte Wärmemenge wird durch Verbrennung von Erdgas erzeugt. Diese Menge wird erfasst und kann durch Umrechnung mittels dem Heizwert in $\text{kWh}_{\text{therm}}$ umgerechnet werden.

3 AUSWERTUNG

3.1 ARA REGION BERN

Aufgrund der Messperiode März bis Mitte November ergibt sich für die ARA Region Bern und die dort installierte Wirbelschichttrocknung folgendes Bild.

Tabelle 1: Energieverbrauch Wirbelschichttrocknung ARA Region Bern

| | | ARA Region Bern | aus Vergleich Trocknungsverfahren [1] |
|---|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|
| Elektrische Energie | | | |
| Energiebedarf | kWh _{el} /t _{WV} | 92 | 64 bis 93 |
| Energiebedarf inkl. Kühlwasserbedarf | kWh _{el} /t _{WV} | 94 | 68 bis 99 |
| Energiebedarf elektrisch für Kühlwasser | kWh _{el} /t _{WV} | 2 | 3 bis 6 |
| Thermische Energie | | | |
| Energiebedarf | kWh _{therm} /t _{WV} | 920 | 820 bis 880 |
| Abwärmenutzung | kWh _{therm} /t _{WV} | 239 | |
| | % | 26 | |

Der elektrische Energieverbrauch müsste erwartungsgemäss tiefer liegen als aus dem Vergleich der Trocknungsverfahren [1], da aufgrund der Vergleichbarkeit nicht Trocknungsverfahren-relevante Aggregate weggerechnet werden. Der Verbrauch ist trotzdem so hoch, weil die Trocknung nicht immer im 100 % Lastfall betrieben wird, d.h. alle An- und Abfahrzeiten sind auch eingerechnet. Die Aggregate beginnen aber bereits zu laufen, auch wenn die Wasserverdampfung noch nicht auf dem Maximum ist. Gegenüber dem Zwischenbericht hat sich der elektrische Energieverbrauch inkl. Kühlwasserbedarf nur marginal verändert (Zwischenbericht: 96 kWh_{el}/t_{WV}).

Der thermische Energieverbrauch liegt ca. im erwarteten Bereich. Der gegenüber dem Vergleich [1] leicht höhere Wert liegt einerseits im Ungenauigkeitsbereich, andererseits beziehen sich die Werte aus dem Vergleich auf Heizöl und kamen ohne Einbindung von Abwärme zu Stande.

3.2 ARA SCHWYZ

Die Auswertung der Daten für die Monate März bis 21. August sowie die letzten acht Tage vom Oktober ergeben für die Kläranlage Schwyz und die installierte Niedertemperaturtrocknung das folgende Bild. Zwischen August und Oktober stand die Trocknung still, weil die ARA vom Hochwasser stark betroffen war und der Betrieb aufgrund Überflutung eingestellt werden musste.

Tabelle 2: Energieverbrauch Niedertemperaturtrocknung ARA Schwyz

| | | ARA Schwyz | aus Vergleich Trocknungsverfahren [1] |
|----------------------------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|
| Elektrische Energie | | | |
| Energiebedarf | kWh _{el} /t _{WV} | 22 | 95 bis 295 |
| Thermische Energie | | | |
| Energiebedarf | kWh _{therm} /t _{WV} | 1'029 | 843 bis 1'000 |
| Abwärmenutzung | kWh _{therm} /t _{WV} | 415 | |
| | % | 40 | 8 bis 43 |

Der elektrische Energieverbrauch auf der ARA Schwyz liegt deutlich unter den gefunden Literaturdaten. Dieser Wert wurde durch die Mitarbeiter der ARA bestätigt.

Der thermische Energieverbrauch liegt im erwarteten Bereich. Gegenüber dem Zwischenbericht (1'056 kWh_{therm}/t_{WV}) hat sich nur eine kleine Veränderung ergeben. Mit 40 % ist die Abwärmenutzung hoch.

3.3 ARA IM BLETTLER, WOHLLEN

Von der ARA Im Blettler liegen seit Anfang März Zahlen vor, der Monat März wurde aber nicht ausgewertet, da die elektrischen Daten für diesen Zeitraum mit Fehlern behaftet waren (Stromzähler stimmte nicht). Um bei allen Daten den gleichen Zeitraum auszuwerten, beginnt die Auswertung am 11. April 2005.

Aus den ersten sieben Monaten des Messprogramms ergibt sich bei der ARA Im Blettler in Wohlen und dem vorhandenen Bandtrockner das folgende Bild.

Tabelle 3: Energieverbrauch Wirbelschichttrocknung ARA Im Blettler, Wohlen

| | | ARA Im Blettler | aus Vergleich Trocknungsverfahren [1] |
|---|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|
| Elektrische Energie | | | |
| Energiebedarf | kWh _{el} /t _{WV} | 81 | 129 |
| Energiebedarf inkl. Kühlwasserbedarf | kWh _{el} /t _{WV} | 86 | 132 |
| Energiebedarf elektrisch für Kühlwasser | kWh _{el} /t _{WV} | 5 | 3.9 |
| Thermische Energie | | | |
| Energiebedarf | kWh _{therm} /t _{WV} | 763 | 863 |

Der elektrische Energieverbrauch ist deutlich geringer als aus dem Trocknungsvergleich. Einer der Gründe liegt darin, dass die peripheren Aggregate für den Stromverbrauch im Rahmen des vergleichenden Messprogramms nicht berücksichtigt wurden, im ursprünglichen Trocknungsvergleich aber mit eingerechnet sind, da diese Werte auf Herstellerangaben beruhen. Ein anderer Grund kann darin liegen, dass die Hersteller bei den Garantiewerten betreffend dem elektrischen Energieverbrauch grössere Sicherheiten einrechnen, da die Gesamtkosten für die elektrische Energie nur ca. halb so gross sind wie diejenigen für thermische Energie. Der elektrische Energieverbrauch inkl. Kühlwasserbedarf hat sich gegenüber dem Zwischenbericht fast nicht verändert ($88 \text{ kWh}_{el}/t_{WV}$).

Der thermische Energieverbrauch hat sich gegenüber dem Zwischenbericht ($834 \text{ kWh}_{therm}/t_{WV}$) im August deutlich gesenkt. Dies liegt daran, dass der Energieverbrauch anfangs deutliche Spitzen aufwies, sich jetzt aber vergleichmässig hat. Gegenüber dem erwarteten Energieverbrauch liegt der Bandtrockner jetzt gut 10 % tiefer.

Winterthur, 30. November 2005

Verfasserin: Sabine Burger

Mitarbeit: Christian Rohr, Helmut Vetter

HOLINGER AG

Helmut Vetter
Projektleiter

Sabine Burger
Projektingenieurin

4 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Burger S., Rohr Ch., Vetter H.: Energetische Optimierung der Klärschlammaufbereitung - Jahresbericht 2004, Bundesamt für Energie Bern, Dezember 2004
- [2] Burger S., Rohr Ch., Vetter H.: Energetische Optimierung der Klärschlammaufbereitung - Zwischenbericht 2005, Bundesamt für Energie Bern, August 2005