



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

ENERGETISCHE OPTIMIERUNG DER KLÄRSCHLAMMAUFBEREITUNG

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Helmut Vetter, HOLINGER AG (Projektleiter)

Schaffhauserstrasse 87, 8400 Winterthur, helmut.vetter@holingerag.ch,
www.holinger.com

Sabine Burger, HOLINGER AG

Schaffhauserstrasse 87, 8400 Winterthur, sabine.burger@holingerag.ch,
www.holinger.com

Impressum

Datum: 20. Juli 2006

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Elektrizität

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Projektbegleiter: Roland Brüniger, roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch

Projektnummer: 100673 / 151070

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Resumée	3
Abstract	4
1 Auftrag und Ausgangslage	5
1.1 Ausgangslage.....	5
1.2 Auftrag und Projektziele	5
1.3 Vorgehen	5
1.4 Prioritäten aus energetischer Sicht	5
2 Entwässerung	6
3 Trocknung.....	7
3.1 Trocknungsverfahren	7
3.2 Verbreitung der verschiedenen Trocknungsverfahren.....	12
3.3 Energetische Betrachtung	13
4 Auswahl der Kläranlagen für das Messprogramm	15
4.1 ARA Region Bern, Wirbelschichttrocknung.....	15
4.2 ARA Schwyz, Niedertemperatur-/Umlufttrocknung.....	15
4.3 ARA Im Blettler, Wohlen, Mitteltemperatur-Bandrocknung.....	16
5 Messprogramm.....	17
5.1 Grundlagen.....	17
5.2 Ausgewählte Kläranlagen.....	18
6 Auswertung	20
6.1 ARA Region Bern	20
6.2 ARA Schwyz.....	20
6.3 ARA Im Blettler, Wohlen.....	21
6.4 Diskussion der Messergebnisse	22
6.5 Energetische Gesamtbeurteilung.....	24
6.6 Potenzialabschätzung Schweiz.....	25
7 Empfehlungen für Kläranlagenbetreiber und Fachingenieure.....	27
7.1 Checkliste Energie	27
7.2 Checkliste übrige Kriterien	28
8 Umsetzung.....	29
9 Energiebegriffe (gemäss Handbuch Energie in ARA [8]).....	31
10 Symbolverzeichnis.....	31
11 Literaturverzeichnis.....	32
12 Anhang	33

Abbildungsverzeichnis

Figur 1:	Prinzipschema Wirbelschichttrocknung	7
Figur 2:	Prinzipschema Trommeltrocknung.....	8
Figur 3:	Prinzipschema Scheibentrocknung	9
Figur 4:	Prinzipschema zweistufige Trocknung mit Dünnschichtverdampfer	10
Figur 5:	Prinzipschema Mitteltemperatur-Bandrocknung	10
Figur 6:	Prinzipschema Niedertemperatur-/Umlufttrockner	11
Figur 7:	Anlagenkonzeption Solartrocknung	12
Figur 8:	Energieverbrauch auf Endenergiestufe aufgeschlüsselt nach Energieformen (Angaben in kWh/tWV).....	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Thermischer Energiebedarf verschiedener Trocknungsverfahren	13
Tabelle 2:	Elektrischer Energiebedarf verschiedener Trocknungsverfahren	14
Tabelle 3:	Technische Daten Wirbelschichttrocknung ARA Region Bern	15
Tabelle 4:	Technische Daten Niedertemperatur-/Umlufttrocknung ARA Schwyz.....	15
Tabelle 5:	Technische Daten Mitteltemperatur-Bandrocknung ARA Im Bletter, Wohlen	16
Tabelle 6:	Energieverbrauch Wirbelschichttrocknung ARA Region Bern	20
Tabelle 7:	Energieverbrauch Niedertemperatur-/Umlufttrocknung ARA Schwyz	21
Tabelle 8:	Energieverbrauch Mitteltemperatur-Bandrocknung ARA Im Blettler, Wohlen	22
Tabelle 9:	Vergleich des elektrischen Energieverbrauchs der untersuchten Trocknungsverfahren	22
Tabelle 10:	Vergleich des thermischen Energieverbrauchs auf Nutzenergiestufe der untersuchten Trocknungsverfahren	23
Tabelle 11:	Abwärmenutzung der untersuchten Trocknungsverfahren	24
Tabelle 12:	Energieverbrauch auf Endenergiestufe der drei Trocknungsverfahren inkl. Abwärmenutzung	25
Tabelle 13:	Energiesparpotenzial der Niedertemperatur-/Umlufttrocknung in der Schweiz	26

Zusammenfassung

Ab dem 1. Oktober 2006 darf Klärschlamm nicht mehr landwirtschaftlich verwertet werden. Die Vorstufen der thermischen Verwertung sind die mechanische Entwässerung und die Trocknung des Klärschlammes.

Anhand eines Messprogramms und den Erkenntnissen daraus wurden Empfehlungen betreffend Energieoptimierung für Kläranlagenbetreiber und Fachingenieure bei der Planung einer Klärschlamm-trocknungsanlage erarbeitet.

Das energetisch beste Trocknungsverfahren ist die Solartrocknung, die aufgrund ihres grossen Flächenbedarfs und des begrenzten Trocknungsgrades aber nicht überall einsetzbar ist. Während rund elf Monaten wurde deshalb eine Messkampagne an der Wirbelschichttrocknung der ARA Region Bern, der Niedertemperatur-/Umlufttrocknung der ARA Schwyz sowie der Mitteltemperatur-Bandrocknung der ARA Wohlen durchgeführt.

Der elektrische Energiebedarf der drei untersuchten Trocknungen liegt zwischen 22 und 94 kWh_{el} pro Tonne Wasserverdampfung. Am wenigsten elektrische Energie braucht die Niedertemperaturtrocknung. Der thermische Energiebedarf (= Nutzenergie) liegt zwischen 648 und 1'033 kWh_{therm} pro Tonne Wasserverdampfung, wobei die Mitteltemperaturtrocknung den niedrigsten Verbrauch aufweist. Wird der Vergleich auf Endenergiestufe durchgeführt, so schneidet die Niedertemperaturtrocknung am besten ab. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass auch Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau genutzt werden kann.

Für die Schweiz ergibt sich ein theoretisches Einsparpotenzial von 133 GWh an Brennstoffen und 32 GWh an Elektrizität, wenn das energiegunstigste Verfahren eingesetzt wird. Es wird empfohlen, auf Basis eines weiteren Messprogramms an der Anfang 2006 fertig gestellten Erstanlage zur Klärschlamm-trocknung unter Einsatz von Abwasserwärmepumpen das Energiesparpotenzial zu verifizieren.

Resumée

A partir du 1^{er} octobre 2006, la valorisation des boues d'épuration en agriculture ne sera plus autorisée. Le conditionnement des boues avant l'élimination thermique se fera par déshydratation mécanique et séchage.

Des recommandations destinées aux exploitants de stations d'épuration et aux ingénieurs spécialisés ont été élaborées sur la base des résultats obtenus lors d'une campagne de mesures.

D'un point de vue énergétique, le séchage solaire est le meilleur procédé de séchage des boues. Cependant, en raison de son taux de séchage limité et de la surface importante que nécessite ce procédé, le séchage solaire ne peut être mis en œuvre partout. Pendant environ onze mois, une campagne de mesure a été menée sur les installations de séchage des stations d'épuration de la région de Berne (séchage à lit fluidisé), de Schwyz (séchage à air circulé et température basse) ainsi que de Wohlen (séchage à air sur bande convoyeuse et à moyenne température).

La demande en énergie électrique des trois installations se situe entre 22 et 94 kWh_{el} par tonne de vapeur d'eau éliminée, la consommation électrique la plus faible étant celle du séchage à basse température. La demande en énergie thermique se situe quant à elle entre 648 et 1'033 kWh_{therm} par tonne de vapeur d'eau éliminée. Une considération énergétique au niveau global démontre que le séchage à température basse est le plus avantageux. Ce procédé permet en outre d'utiliser la chaleur d'échappement de basse température.

En Suisse, l'utilisation du procédé énergétiquement le plus avantageux permettrait potentiellement des économies en carburants de l'ordre de 133 GWh ainsi que de 32 GWh en électricité. Il est recommandé de vérifier le potentiel d'économie énergétique à l'aide d'une autre campagne de mesures sur la première installation de séchage de boues (terminée au début de 2006) en employant des pompes de chaleur pour eaux usées.

Abstract

From October 1st, 2006, sewage sludge may no longer be used agriculturally. The mechanical dewatering and the drying of the sludge are the pre-stages of the incineration.

Based on a measuring program and the results thereof, recommendations for the planning of drying plants were proposed for the use by waste water treatment plant operators and engineers.

From the energetic point of view, the solar drying of sludge is the best process. Because of the large area this drying process needs and the limited extent of the drying result, the solar drying cannot be implemented everywhere. Therefore, data was gathered for three other drying processes during eleven months: the fluidized bed drying process at the waste water treatment plant (WWTP) of the Region Bern, the low temperature/air recirculation dryer at WWTP Schwyz and the middle temperature belt dryer at WWTP Im Bletter, Wohlen.

The electric energy consumption of the three researched sludge drying processes was between 22 and 94 kWh_{el} per ton water evaporation. The low temperature dryer showed the lowest energy consumption. The thermal energy consumption (= effective energy) was between 648 and 1'033 kWh_{therm} per ton water evaporation, with the middle temperature dryer having the lowest consumption. The most advantageous process is the low temperature dryer if the comparison is based on the actual energy consumption in the form of final energy. The advantage of this process is the possible integration of rejected heat on a low temperature level.

For the whole of Switzerland, the potential for energy savings in the form of fuel is around 133 GWh and 32 GWh per year for electricity respectively, if the drying process with the lowest energy consumption is implemented. It is recommended to conduct another measuring campaign at the first just commissioned sludge drying plant using rejected heat extracted from the waste water for the drying process to verify the energy potential.

1 Auftrag und Ausgangslage

1.1 Ausgangslage

Ab dem 1. Oktober 2006 darf der Klärschlamm nicht mehr landwirtschaftlich verwertet werden, sondern muss umweltverträglich verbrannt werden. Da Klärschlamm ein erneuerbarer Energieträger ist, wird bei der Verbrennung eine möglichst hochwertige energetische Nutzung angestrebt. Als Vorstufen zur thermischen Nutzung stehen die mechanische Entwässerung sowie die Trocknung des Klärschlammes im Vordergrund.

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 energetisch optimalen Lösung vorhanden sind noch 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 *EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen* in Zusammenarbeit mit dem Fachverband VSA (Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute) in der Praxis bei Betreibern und Ingenieuren verbreitet werden kann.

1.3 Vorgehen

1.3.1 Projektphase 1

In Projektphase 1 wurden die zukünftig relevanten Verfahren im Bereich der Entwässerung und Trocknung ausgesucht und energetisch miteinander verglichen. Auf dieser Grundlage wurden auch die Kläranlagen ausgesucht, auf denen das Messprogramm durchgeführt wird.

1.3.2 Projektphase 2

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

1.3.3 Projektphase 3

In Projektphase 3 wurden die Resultate aus den vorgängigen Projektphasen aufgearbeitet und im vorliegenden Bericht dargelegt. Schlussendlich wurden Empfehlungen und eine Checkliste für Kläranlagenbetreiber und Fachingenieure erarbeitet.

1.4 Prioritäten aus energetischer Sicht

Die Klärschlamm-trocknung verbraucht sehr viel Energie. Auf der anderen Seite wird durch die Trocknung der Transport und damit auch der Treibstoffverbrauch vermindert und die Nutzung des erneuerbaren Energieträgers Klärschlamm in einem Zementwerk oder einer KVA (Kehrichtverbrennungsanlage) erst ermöglicht. In einem ersten Schritt ist deshalb aus energetischer Sicht bei jedem Projekt zuerst zu prüfen, ob die Trocknung - unter Berücksichtigung der verschiedenen Prozesse hinweg - gesamtheitlich betrachtet sinnvoll ist. Danach ist zu prüfen, ob eine Trocknung auf der untersuchten Kläranlage oder eine regionale Lösung sinnvoller ist, wobei mögliche Abwärmequellen (z.B. KVA) einzubeziehen sind. In einem dritten Schritt ist zu prüfen, welches Trocknungsverfahren energetisch optimal ist, wobei immer auch die Möglichkeiten zur Nutzung von Abwärme oder erneuerbarer Energien zu überprüfen sind. Dabei hat zuerst die höherentemperaturige Abwärme, die direkt und ohne Fremdenergie genutzt werden kann, wie z.B. Abwärme aus der Gebläseluft oder Abwärme aus dem BHKW, Vorrang. Der restliche Wärmebedarf kann beispielsweise auch durch Abwärme aus dem Abwasser mittels moderner Wärmepumpentechnologie gedeckt werden, da die Abwasserwärme auf einer Kläranlage oft in ausreichender Menge vorhanden ist. Im Weiteren ist unter den erneuerbaren Energien der Einsatz von Holz zu prüfen, wobei in der energetischen Beurteilung auch der Aufwand für den Transport zu berücksichtigen ist.

2 Entwässerung

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

Für die Entwässerung werden auf grösseren Kläranlagen Zentrifugen eingesetzt, die ausgefauten 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 ausgefautem Schlamm erreichen. Als letzte Möglichkeit besteht für kleine Anlagen der Abtransport des flüssigen Schlammes auf eine andere Kläranlage zur Entwässerung. Früher wurden auch Kammerfilterpressen eingesetzt, welche damals einen höheren Entwässerungsgrad erreichten. In der Zwischenzeit wurden die Zentrifugen baulich derartig optimiert, dass heute bei den beiden Maschinen ähnliche Entwässerungsgrade resultieren. Aus betrieblichen Gründen (z.B. Chargenbetrieb) sind heute praktisch keine Kammerfilterpressen mehr in Betrieb.

Unausgefauter 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 ausgefautem Schlamm.

Der elektrische Energiebedarf für die Entwässerung beläuft sich bei einer Erhöhung des TS-Gehaltes von 5 auf 30 % TS auf 2.7 kWh_{el}/t entferntes Wasser [4]. Ein thermischer Energiebedarf ist für die Entwässerung von Klärschlamm nicht notwendig.

Verglichen mit einer nachfolgenden Trocknung ist der elektrische Energiebedarf der Entwässerung mit weniger als 5 % der einer Trocknung sehr klein. Deshalb ist aus energetischer Sicht anzustreben, dass die Entwässerung einen möglichst grossen Anteil zum angestrebten Trocknungsgrad übernimmt und die Trocknung erst danach einsetzt. Aber auch bei der Entwässerung ist ein möglichst energieeffizientes Verfahren anzustreben.

Die Entwässerung spielt im Hinblick auf die nachfolgende Prozesskette 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 Klärschlamm-aufbereitung die Trocknung oder die direkte Verbrennung des Schlammes. Für eine Entsorgung in Zementwerken wird seitens der Zementwerke ein Trockensubstanzgehalt von über 90 % gefordert.

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
- geringen Personalbedarf für Betrieb, Wartung und Instandhaltung.

Trocknungsanlagen werden mit mechanisch entwässertem Schlamm beschickt.

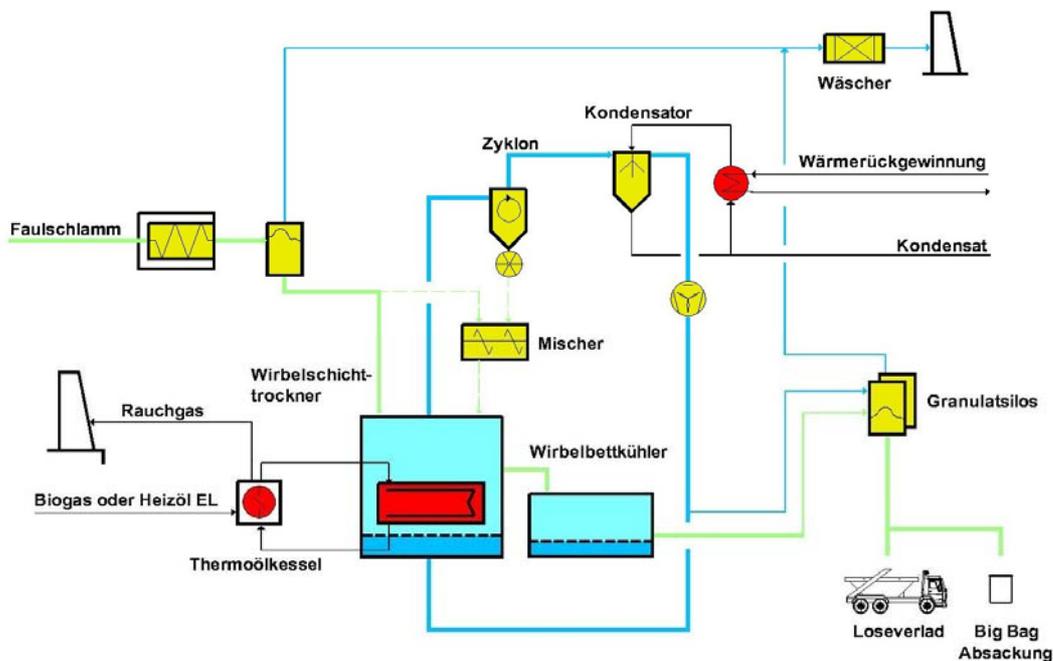
3.1 Trocknungsverfahren

Im folgenden Kapitel werden die relevanten Trocknungsverfahren kurz beschrieben und auf ihre Eigenschaften eingegangen.

3.1.1 Wirbelsschicht-trocknung

Die Wirbelsschicht-trocknung (siehe Figur 1) basiert auf einer Wirbelsschicht aus Granulatteilchen, die durch einen Luftstrom in Schwebelage gehalten werden. Der entwässerte Klärschlamm wird in diese Wirbelsschicht 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 Granulatwirbelsschicht 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.

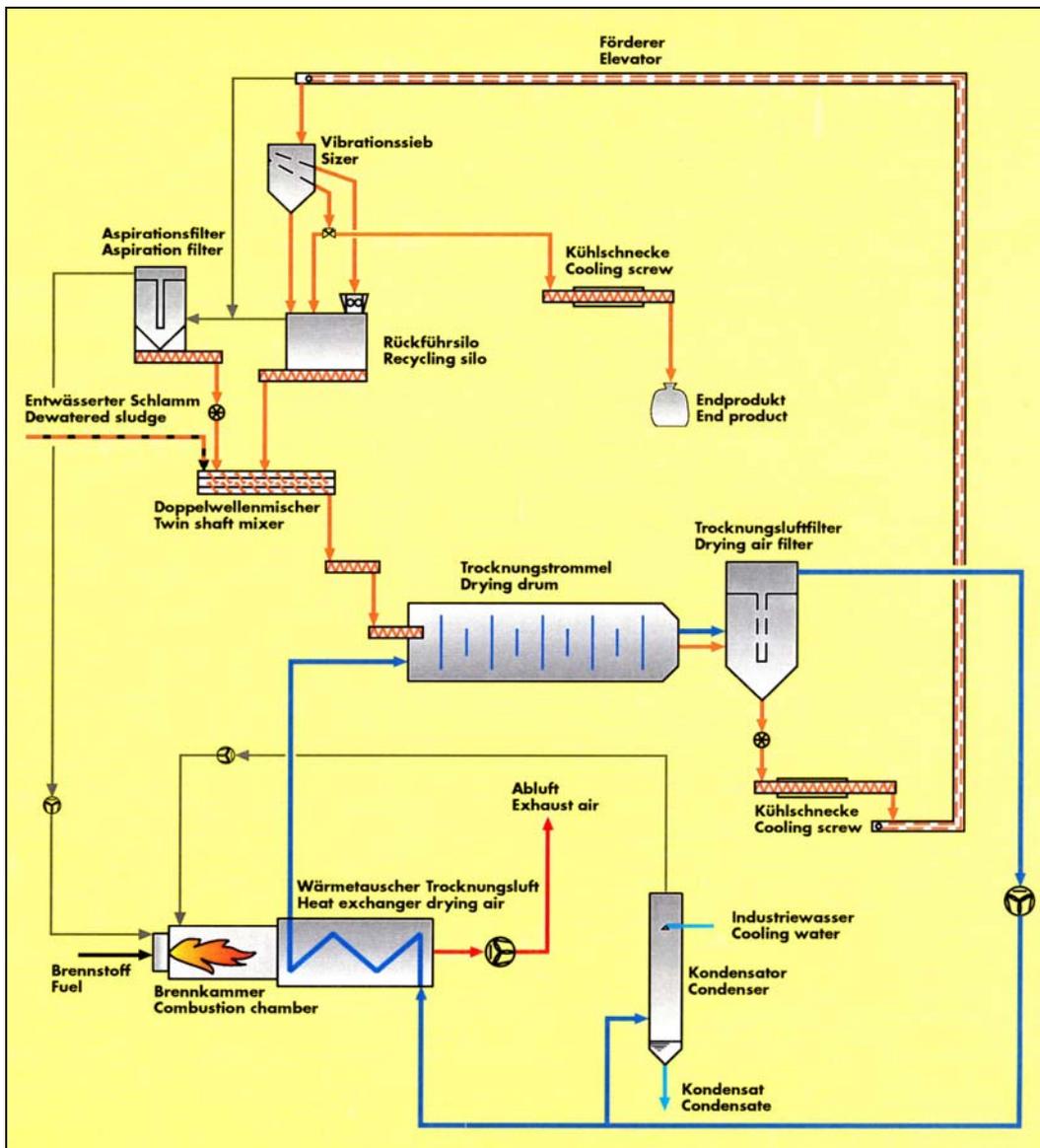


Figur 1: Prinzipschema Wirbelsschicht-trocknung [17]

3.1.2 Trommeltrocknung

Bei der Trommeltrocknung (siehe Figur 2) 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 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.

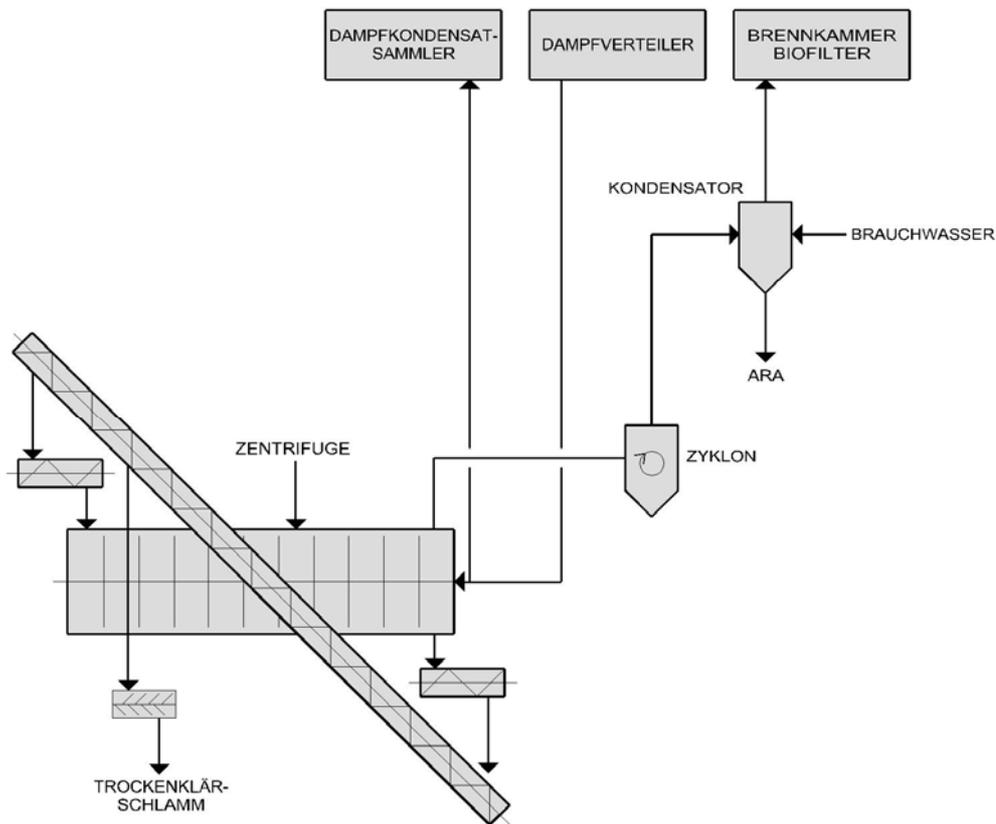


Figur 2: Prinzipschema Trommeltrocknung [15]

3.1.3 Scheibentrocknung

Die Scheibentrocknung (siehe Figur 3) gehört in die Kategorie der Kontakttrocknungen, 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.

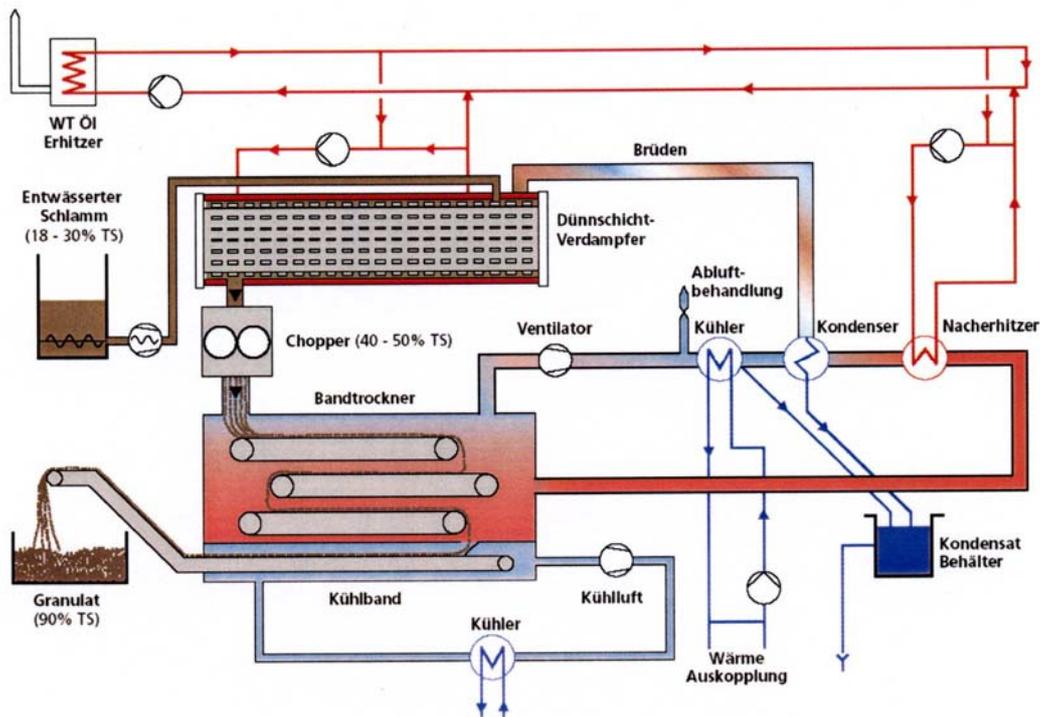


Figur 3: *Prinzipschema Scheibentrocknung [4]*

3.1.4 Dünnschichtverdampfung mit anschliessender Bandtrocknung

Bei diesem Verfahren (siehe Figur 4) 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 Bandtrockner fertig getrocknet wird.

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

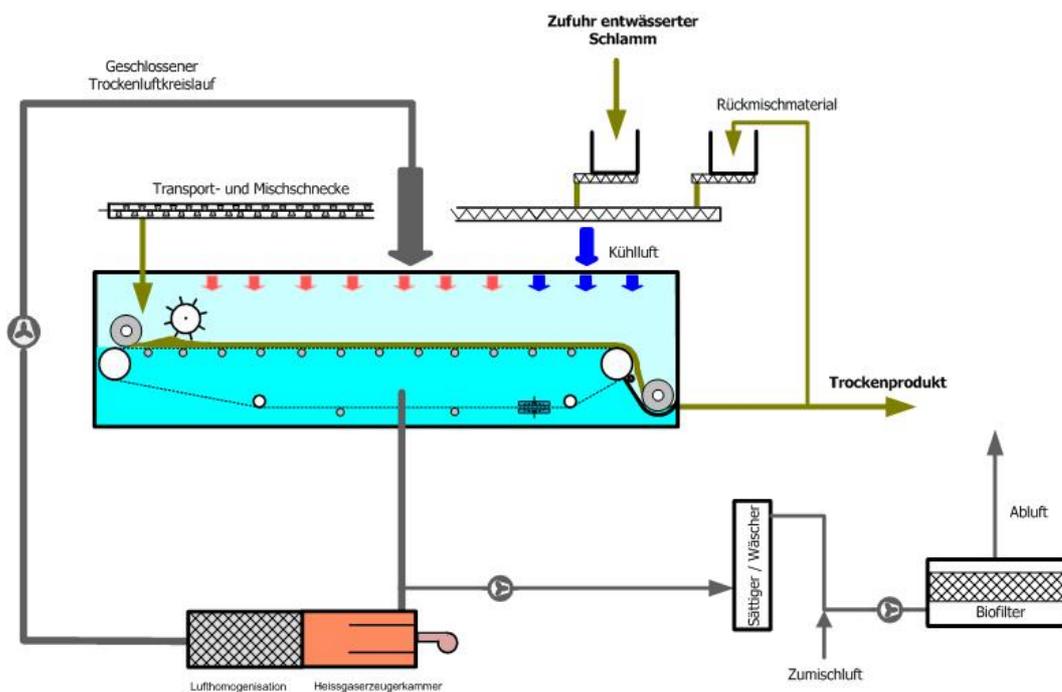


Figur 4: Prinzipschema zweistufige Trocknung mit Dünnschichtverdampfer [13]

3.1.5 Mitteltemperatur-Bandrocknung

Der Mitteltemperatur-Bandrockner (siehe Figur 5) besteht aus einem oder mehreren Transportbändern, auf die der entwässerte Klärschlamm direkt oder zusammen mit rückgemischtem Granulat aufgegeben wird. Während des Transports durch den Trockner wird der Klärschlamm mit erwärmter 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.



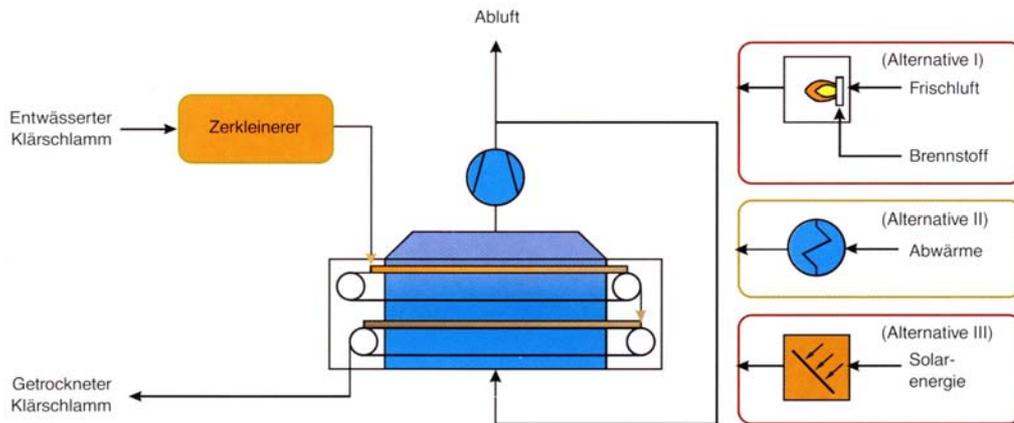
Figur 5: Prinzipschema Mitteltemperatur-Bandrocknung [10]

3.1.6 Niedertemperatur-/Umlufttrocknung

Der Niedertemperatur-/Umlufttrockner (siehe Figur 6) ist ein Bandtrockner, 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.

Ein wichtiger energetischer Aspekt der Niedertemperaturtrocknung ist, dass auch Abwärme auf tieferem Temperaturniveau verwendet werden kann und damit auch Wärme aus Abwasser. Auf einer Kläranlage ist Abwärme u.a. im Abwasser enthalten, welche mittels moderner Wärmepumpentechnologie zur Trocknung genutzt werden kann [7].



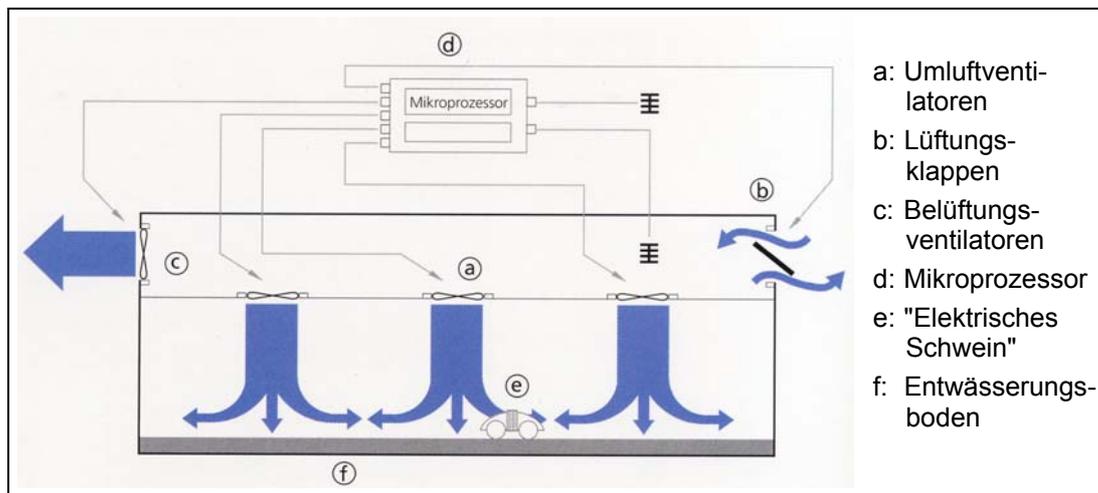
Figur 6: Prinzipschema Niedertemperatur-/Umlufttrockner [14]

3.1.7 Solare Trocknung

Bei der Solartrocknung (siehe Figur 7) wird der entwässerte Klärschlamm (in seltenen Fällen auch der Flüssigschlamm) in einer Art Gewächshaus ausgebreitet und durch Sonnenenergie getrocknet. Dabei wird die Sonnenenergie, welche durch die Hülle dringt, direkt genutzt, es braucht keine zusätzlichen Kollektoren. Bei diesem Prozess muss der Schlamm regelmässig gewendet werden, eine aktive Aspiration verbessert das Verfahren. Die solare Trocknung erfordert einen beträchtlichen Flächenbedarf.

Das Verfahren ist stark von den klimatischen Bedingungen abhängig und erreicht nicht ganzjährig den gleichen Trocknungsgrad. Übers Jahr gemittelt ist bei den klimatischen Verhältnissen im Schweizer Mittelland ein TS-Gehalt von 65 - 70 % erreichbar, 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.



Figur 7: Anlagenkonzeption Solar Trocknung [16]

3.2 Verbreitung der verschiedenen Trocknungsverfahren

Jedes der vorgängig beschriebenen Trocknungsverfahren hat unterschiedliche energetische Qualitäten. Generell kann gesagt werden, dass die in den Kapiteln 3.1.1 (Wirbelschicht), 3.1.2 (Trommel), 3.1.3 (Scheiben) beschriebenen Trocknungsverfahren bisher vor allem bei grossen Kläranlagen resp. grossen Schlammengen eingesetzt worden sind, die Mitteltemperatur-Band- und Niedertemperatur-/Umlufttrocknungen (Kapitel 3.1.5 und 3.1.6) bisher vor allem bei kleineren Anlagen resp. kleinen Schlammengen (Grössere Schlammengen können mit mehrstrassigen Anlagen getrocknet werden, entsprechend werden aber die Investitionen grösser). Inzwischen wird aber auch die Niedertemperaturtrocknung auf einer Kläranlage mit einer Schlammmenge von 320'000 Einwohnerwerten in der Schweiz realisiert. Die zweistufige Trocknung mit Dünnschichtverdampfer und anschliessender Bandtrocknung steht dazwischen (Kapitel 3.1.4). Da die Solartrocknung einen grossen Flächenbedarf benötigt, der vor allem bei grösseren Anlagen häufig nicht verfügbar ist, kommt diese energetisch günstige Variante vor allem bei kleineren Kläranlagen oder in Kombination mit der Abwasserwärmenutzung oder allenfalls Holz in Frage ([3], [10]).

3.2.1 Bisherige Verbreitung

Einen Überblick über alle installierten Trocknungsanlagen geben die Umwelt-Materialien Nr. 181 des BUWAL, Klärschlamm Entsorgung in der Schweiz [2]. Das Spektrum der verschiedenen Trocknungsanlagen ist breit. Am häufigsten werden heute Trommel- und Wirbelschichttrocknungen eingesetzt.

Noch wenig verbreitet sind die Mitteltemperatur-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. Mitteltemperatur-Band- und Umlufttrockner sind aber Trocknungsverfahren, die bisher eher für Anlagen mit weniger als 100'000 angeschlossenen Einwohnerwerten angewendet wurden, heute aber auch bei grösseren Anlagen über 300'000 Einwohnerwerten und damit bei praktisch allen Kläranlagen in der Schweiz einsetzbar sind.

Aus dem gleichen Grund hat sind bisher die Solartrocknung noch wenig verbreitet, 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. In einzelnen Anlagen konnte durch die Kombination mit Abwasserwärmepumpen die Anforderung nach einem Trocknungsgrad von 90% eingehalten bzw. der Flächenbedarf für die Solartrocknung reduziert werden. Mehrere solche kombinierte Anlagen wurden bereits im benachbarten Baden-Württemberg realisiert [14].

3.2.2 Heutige Tendenzen

Eine Zunahme ist bei den Mitteltemperatur-Band- und Umlufttrocknern zu verzeichnen, von denen im Jahr 2005 eine neue Anlage erstellt wurde und sich zurzeit zwei Anlagen in Planung resp. im Bau befinden. Hier besteht ein noch nicht realisiertes Potenzial aufgrund des Klärschlamm-Ausbringungsverbotes vom 1. Oktober 2006. In dieser Sparte ist mit dem grössten Zuwachs zu rechnen, was gleichzeitig die Nutzung erneuerbarer Energien bei der Trocknung ermöglicht.

Anstehende Ersatzinvestitionen bei grösseren Anlagen oder neu formierte Verbände zur gemeinsamen Schlamm Entsorgung deuten aber auch auf die zukünftige Verwendung der Grosstrocknungen wie Trommel- und Wirbelschichttrocknungen hin.

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 in diesem Kapitel liegt die Tabelle "Energiebedarf für die Klärschlamm Trocknung" im Anhang 1 zu Grunde. Die in der Tabelle aufgeführten Werte basieren auf Literatur- und Herstellerangaben ([10],[13],[14],[15],[16],[17]) sowie Erfahrungen aus dem Haus des Verfassers [4]) Sie wurden mit dem durchgeführten Messprogramm verifiziert (Projektphase 2, Kapitel 4).

3.3.1 Thermische Energie

Physikalisch gesehen braucht jede Trocknung unabhängig vom Verfahren für die Verdampfung von 1 Tonne Wasser den gleich grossen Wärmebedarf (= Nutzenergie). Die Verfahren unterscheiden sich aber ganz wesentlich in ihrem Wirkungsgrad, in der internen Wärmerückgewinnung und dem verwendeten Energieträger. Der physikalisch notwendige Wärmebedarf für das Aufheizen und die Verdampfung des Wassers liegt bei ca. 720 kWh/tWV bzw. 430 kWh/t Schlamm (bei einer Trocknung von 30 auf 90% TS).

Die verschiedenen Trocknungsverfahren müssen danach unterschieden werden, ob sie fossile Brennstoffe oder auf der Kläranlage sowieso anfallende Abwärme, z.B. die Abwärme der BHKWs, Gebläseabwärme oder Abwärme aus dem Abwasser verwenden können (Niedertemperaturtrockner) oder aber Abwärme für die Kläranlage, z.B. zur Faulturnbeheizung, zur Verfügung stellen (Hochtemperaturtrockner). Die Solartrocknung, unter den Niedertemperaturtrocknungen eingeteilt, ist ein Sonderfall, da sie Solarenergie nutzt, wobei mit zusätzlicher Abwärmenutzung ein höherer Trocknungsgrad erreichbar ist.

In der Tabelle 1 ist der thermische Energiebedarf, unterschieden nach Hoch-/Niedertemperatur- und Solartrocknung, aufgeführt. Die Tabelle beruht auf Herstellerangaben, bei welchen nicht zwischen Nutz- und Endenergie unterschieden wird. Üblicherweise wird von Betriebsmitteln (Klärgas, Heizöl) ausgegangen. Es kann entsprechend davon ausgegangen werden, dass es sich um Endenergie handelt.

Für die Wärmepumpen fällt ein geringerer thermischer Energiebedarf an, da die Wärme aus dem Abwasser bezogen wird; stattdessen fällt ein zusätzlicher elektrischer Energiebedarf an, der für den Betrieb der Wärmepumpen erforderlich ist.

Tabelle 1: Thermischer Energiebedarf verschiedener Trocknungsverfahren ([10],[13],[14],[15],[16],[17],[4])

	thermischer Energiebedarf [kWh _{therm} /tWV]
Hochtemperaturtrocknung	717 - 880
Mittel- und Niedertemperaturtrocknung	843 - 1'000
Niedertemperaturtrocknung mit Einsatz von Wärmepumpen	225 - 764 ¹
Solartrocknungen	0 ²

¹ Strombedarf für Wärmepumpe nicht im thermischem Energiebedarf enthalten sondern gem. nachfolgender Tabelle 2 erfasst

² Für die Solartrocknung ist thermische Energie notwendig, diese wird aber durch die Sonneneinstrahlung erbracht und führt daher zu keinem Endenergieaufwand.

Die energetisch beste Lösung ist die Solartrocknung, da sie den Wärmebedarf mit Solarenergie abdecken kann und keine fossilen Brennstoffe benötigt. Bei allen anderen Verfahren liegen die unteren Werte für den Wärmebedarf relativ nahe beieinander, wobei der Schwankungsbereich nach oben beim Dünnschichtverdampfer und Bandrockner thermisch am günstigsten ist, weil das zweistufige Trocknungsverfahren die Abwärme der ersten für die zweite Stufe nutzen kann. Bei einstufigen Trocknungen ist das nicht möglich.

Bei den Hochtemperaturtrocknern steht je nach Anlage zwischen 20 - 90 % der eingesetzten thermischen Endenergie wieder als Abwärme zur Verfügung. Dieser Wert ist anlagenspezifisch und hat mit der Kläranlagen-internen Abwärmenutzung zu tun.

Bei den Niedertemperaturtrocknern kann theoretisch bis zu 100% des thermischen Energiebedarfs durch Abwärme aus dem Abwasser der Kläranlage gedeckt werden. Je nach den lokalen Gegebenheiten kann auch - ohne Fremdenergieaufwand - Abwärme aus dem BHKW oder Gebläseabwärme genutzt werden. Dabei muss beachtet werden, dass in der Trocknung genutzte Abwärme andernorts auf der Kläranlage fehlt. Der Schwankungsbereich der Niedertemperaturtrocknungen ist deshalb so gross, weil speziell bei den Trocknern, die auch mit Frischluft betrieben werden können (siehe Kapitel 3.1.6), der Anteil des Frischluftbetriebs grossen Einfluss auf den thermischen Energieverbrauch hat. Frischluftbetrieb bedeutet ähnlich wie bei den Solartrocknungen dass die Umgebung die notwendige thermische Energie zur Klärschlamm-trocknung aufbringt.

3.3.2 Elektrische Energie

Beim Elektrizitätsverbrauch (siehe Tabelle 2) sind bei den untersuchten Anlagen sehr grosse Schwankungen auszumachen. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die verfahrenstechnische Aufstellung der Aggregate, die peripheren Anlagenteile und vor allem die Grösse der Anlage.

Tabelle 2: Elektrischer Energiebedarf verschiedener Trocknungsverfahren ([10],[13],[14],[15],[16],[17],[4])

	elektrischer Energiebedarf [kWh_{el}/tWV]
Hochtemperaturtrocknung	33 - 160
Mittel- und Niedertemperatur-trocknung	95 - 129
Niedertemperaturtrocknung mit Einsatz von Wärmepumpen (Wärmepumpenkennzahl = 3)	215 - 295
Solartrocknung	10 - 30

Auch bezüglich Elektrizitätsbedarf schneidet die Solartrocknung eindeutig am besten ab, während Hochtemperaturtrockner einen grösseren Schwankungsbereich aufweisen als Niedertemperaturtrockner.

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 Endenergieverbrauch aus der Verbrennung von Gas oder Öl (siehe Tabelle 1), weil Abwärme genutzt wird, dafür erhöht sich der elektrische Energieverbrauch durch den Einsatz von Wärmepumpen. Aufgrund ihrer Grösse sind die Hochtemperaturtrocknungen energetisch günstiger.

Eine energetische Beurteilung der verschiedenen Verfahren kann erst auf Stufe Endenergieverbrauch durchgeführt werden, was anschliessend in Kapitel 6.5 erfolgt.

4 Auswahl der Kläranlagen für das 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 das Messprogramm (Projektphase 2) wurden eine Hoch-, Mittel- und Niedertemperaturtrocknung ausgewählt. Für die Teilnahme am Programm konnten folgende Anlagen gewonnen werden.

4.1 ARA Region Bern, Wirbelschichttrocknung

Wie in Kapitel 3.2 erläutert gehört die Wirbelschichttrocknung zu den Verfahren, die zur Zeit vor allem bei grossen Anlagen in Betracht gezogen werden.

Die Trocknungsanlage auf der ARA Region Bern ist insbesondere betreffend Abwärmenutzung und Einbindung der Trocknung in das gesamte Wärmenetz der Kläranlage optimal ausgeführt und lohnt daher ganz besonders einer näheren Untersuchung.

In Tabelle 3 sind die technischen Daten der Wirbelschichttrocknung der ARA Region Bern aufgeführt.

Tabelle 3: Technische Daten Wirbelschichttrocknung ARA Region Bern

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

4.2 ARA Schwyz, Niedertemperatur-/Umlufttrocknung

Aufgrund des zukünftigen Marktpotenzials ist es zwingend notwendig, diese Verfahren genauer zu untersuchen und vorhandene Daten aus Literatur- und Herstellerangaben zu verifizieren. Insbesondere die Nutzung der Abwasserwärme, die auf jeder Kläranlage verfügbar ist, macht dieses Verfahren aus energetischer Sicht interessant.

Bei der ARA Schwyz konnte der Wärmebedarf einer Niedertemperaturtrocknung mit Umluftbetrieb untersucht werden. Zudem konnte an einem Beispiel gezeigt werden, wieviel Abwärme aus dem BHKW genutzt werden kann. Bei der ARA Schwyz ist speziell zu erwähnen, dass hier Co-Substrate (Fett von Schlachtbetrieb) mitvergärt werden und deshalb ein überdurchschnittlicher Anfall an Klärgas und somit Abwärme aus dem BHKW resultiert. Durch die Einbindung von Abwärme in den Trocknungsprozess werden wichtige Rückschlüsse hinsichtlich der Abwärmennutzung solcher Systeme möglich.

In Tabelle 4 sind die technischen Daten der Niedertemperaturtrocknung der ARA Schwyz aufgeführt.

Tabelle 4: Technische Daten Niedertemperatur-/Umlufttrocknung ARA Schwyz

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

4.3 ARA Im Blettler, Wohlen, Mitteltemperatur-Bandrocknung

Nebst der Kalt-/Umluftrocknung wurde auch die andere Form der Bandrocknung untersucht.

Beim auf der ARA Im Blettler 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.

In Tabelle 5 sind die technischen Daten der Mitteltemperatur-Bandrocknung der ARA Im Blettler aufgeführt.

Tabelle 5: Technische Daten Mitteltemperatur-Bandrocknung ARA Im Bletter, Wohlen

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

5 Messprogramm

5.1 Grundlagen

Für jede der drei vorgängig beschriebenen Trocknungen wurde ein spezifisches, auf die jeweilige ARA abgestimmtes, Messprogramm in Zusammenarbeit mit den Betreibern erarbeitet.

5.1.1 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 Energiebedarf (elektrisch und thermisch) verglichen werden können.

Elektrische Angaben

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.

Demzufolge ergibt sich bei den elektrischen Werten durch die Wahl der Systemgrenzen eine Diskrepanz zu den empirischen Werten. Die empirischen Werte beruhen hauptsächlich auf Herstellerangaben und beziehen die gesamte Trocknung inkl. aller zugehörigen Aggregate mit ein.

Bei den elektrischen Angaben entspricht der Energiebedarf (Nutzenergie) weitgehend dem Endenergieverbrauch (Strom).

Thermische Angaben

Bei spezifischen thermischen Angaben in $\text{kWh}_{\text{therm}}/\text{tWV}$ werden die thermischen Inputströme, z.B. Klärgas oder Heizöl, erfasst, sowie soweit als möglich die interne Wärmerückgewinnung bilanziert. Bei den Messungen von Klärgas oder Heizöl handelt es sich also um Endenergie, bei Abwärme bereits weitgehend um Nutzenergie. Die Resultate wurden schlussendlich einheitlich auf Nutzenergie umgerechnet. Bei dieser Umrechnung wurde für die Erdöl- und Gasheizungen ein einheitlicher Wirkungsgrad (Jahresnutzungsgrad) von 85% angenommen und für Abwärme ein Wert von 100%.

Da es sich bei den empirischen Werten um Herstellerangaben in Form von Betriebsmittelverbräuchen und daher eher um Endenergie handelt, ist die Vergleichbarkeit nur begrenzt gegeben.

5.1.2 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 hinreichend genau bezeichnet werden.

Die Betriebsstundenerfassung der einzelnen Aggregate, die aus dem Gesamtstromverbrauch rausgerechnet werden, liegt ebenfalls mit ausreichender Genauigkeit vor. Auch die Stromaufnahme im Betrieb kann ziemlich genau ermittelt werden. Bei der Umrechnung auf den Stromverbrauch liegt aufgrund des unbekanntenen $\cos \varphi$ 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 Wärmehähler (siehe Kapitel 5.2.2) weisen eine gute 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 5.2.1). 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. $\pm 20\%$.

5.2 Ausgewählte Kläranlagen

5.2.1 ARA Region Bern, Wirbelschichttrocknung

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

Wasserverdampfung

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

Elektrische Daten

Der Stromverbrauch der gesamten Trocknungsanlage wurde erfasst. Anlagenteile, die Trocknungsverfahren-unabhängig sind, wurden 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 wurde der Stromverbrauch berechnet.

Thermische Daten

Als thermische Energie werden einerseits Klärgas und Heizöl (nur wenn ungenügende Mengen an Klärgas 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 wurde über Zähler erfasst und auf Nutzenergie umgerechnet. Die über die Abwärme der BHKWs eingebrachte Wärmemenge wurde über die Leistung der Umwälzpumpe sowie die unterschiedlichen Temperaturniveaus des Thermoöls vor und nach der Abwärmenutzung berechnet. Hierbei handelte es sich jeweils um Momentanaufnahmen. Die Vorwärmung der Verbrennungsluft wurde über die Luftmenge, die zur Verbrennung geführt wird, sowie die Temperaturdifferenz der Rauchgase vor und nach dem Wärmetauscher bestimmt. Die Luftmenge musste über eine Verbrennungsrechnung berechnet werden, da keine Messung vorhanden war. Auch hier handelte es sich um eine Momentanaufnahme, Temperaturwerte zwischen zwei Notierungen mussten deshalb interpoliert werden.

5.2.2 ARA Schwyz, Niedertemperatur-/Umlufttrocknung

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

Wasserverdampfung

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

Elektrische Daten

Der Stromverbrauch der gesamten Trocknungsanlage wurde über einen Zähler erfasst. Die ausserhalb der Systemgrenzen (siehe Kapitel 5.1.1) liegenden Aggregate wurden 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 Wärmezähler in den Abgangsleitungen des Warmwasserspeichers installieren lassen. Aus den Ableisungen der Zähler konnte die der Trocknung zugeführte Wärmemenge direkt als Nutzenenergie sehr genau bestimmt werden. Zudem wurde der Heizölverbrauch dokumentiert, wodurch sich über den Heizwert des Öls der Energieinput berechnen liess. Die Differenz dieser zwei Werte ergab die durch Abwärmenutzung in das System eingebrachte Wärmemenge.

5.2.3 ARA Im Blettler, Wohlen, Mitteltemperatur-Bandrocknung

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

Wasserverdampfung

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

Elektrische Daten

Für die Klärschlammrocknung 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 wurden. Bei den zuviel erfassten Aggregaten wurden die wöchentlichen Betriebsstunden ermittelt und über die Stromaufnahme im Betrieb der elektrische Energieverbrauch berechnet. Dieser Wert wurde vom gesamten Elektrizitätsverbrauch abgezogen. Zusätzlich wurde ein externes Aggregat (Kühlwasserpumpe), das für die Trocknung verwendet wird, aber im Elektrizitätsverbrauch nicht erfasst wird, dazugerechnet.

Thermische Daten

Die zur Trocknung benötigte Wärmemenge wurde durch Verbrennung von Erdgas erzeugt. Diese Menge wurde erfasst und durch Umrechnung mittels Heizwert in $\text{kWh}_{\text{therm}}$ und über den Jahresnutzungsgrad auf Nutzenergie umgerechnet.

6 Auswertung

6.1 ARA Region Bern

Von der ARA Region Bern liegen Daten vom 9. März 2005 bis Ende Januar 2006 vor. Während dieser Zeit war die installierte Wirbelschichttrocknung Ende Juni/Anfang Juli, im August und im November je eine Woche in Revision.

Die Datenauswertung der im Rahmen des Messprogramms erfassten Daten zeigt das Bild gemäss Tabelle 6 (die erhobenen Daten sind im Anhang 2.1 zu finden).

Tabelle 6: Energieverbrauch Wirbelschichttrocknung ARA Region Bern

		ARA Region Bern	aus empirischem Vergleich Trocknungsverfahren siehe Anhang 1
Elektrische Energie			
Energieverbrauch	kWh _{el} /t _{WV}	92	64 bis 93
Energieverbrauch inkl. Kühlwasser	kWh _{el} /t _{WV}	94	68 bis 99
Energieverbrauch elektrisch für Kühlwasser	kWh _{el} /t _{WV}	2	4 bis 6
Thermische Energie			
Nutzenergieverbrauch total	kWh _{therm} /t _{WV}	806	820 bis 880 ³
Nutzenergieverbrauch netto (abzüglich genutzte Abwärme)	kWh _{therm} /t _{WV}	577	
Genutzte Abwärme	kWh _{therm} /t _{WV}	229	
	%	28	

Der elektrische Energieverbrauch müsste erwartungsgemäss tiefer liegen als aus dem Vergleich der Trocknungsverfahren (Anhang 1), da aufgrund der Vergleichbarkeit die nicht Trocknungsverfahren-relevanten Aggregate weggerechnet wurden. Der Verbrauch ist trotzdem vergleichsweise hoch, weil die Trocknung nicht immer im 100 % Lastfall betrieben wurde, d.h. alle An- und Abfahrzeiten wurden auch eingerechnet. Die Aggregate beginnen aber bereits zu laufen, auch wenn die Wasserverdampfung noch nicht auf dem Maximum ist.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die empirischen Werte ohne Abwärmenutzung zu Stande kamen, es müsste also ein thermischer Energieverbrauch zwischen 700 und 750 kWh_{therm}/t_{WV} resultieren. Die ermittelten 806 kWh_{therm}/t_{WV} liegen weniger als 10% über dem höheren Wert und sind dadurch noch im Ungenauigkeitsbereich. Andererseits beziehen sich die Werte aus dem empirischen Vergleich auf den Endenergieträger Heizöl und nicht auf Klärgas wie auf der ARA Bern praktiziert und gemäss Messprogramm ermittelt. Ausserdem erhöht die Einbindung von Abwärme durch die Wärmewandlungsverluste den totalen Energieverbrauch.

6.2 ARA Schwyz

Auf der ARA Schwyz wurde von März 2005 bis Ende Januar 2006 gemessen. Berücksichtigt werden konnten nur die zuverlässigen Werte von März bis 21. August 2005, da die ARA am 21. August 2006 vom Hochwasser stark betroffen war und der Betrieb der Trocknung bis am 24. Oktober 2005 aufgrund der Überflutung gänzlich eingestellt werden musste und auch ab Oktober das BHKW den Betrieb noch nicht wieder aufnehmen konnte.

³ Energieform ist bei den Herstellerangaben nicht klar definiert

Die Daten zeigen für die ARA Schwyz das Bild gemäss Tabelle 7 (die erhobenen Daten sind im Anhang 2.2 zu finden).

Tabelle 7: Energieverbrauch Niedertemperatur-/Umlufttrocknung ARA Schwyz

		ARA Schwyz	aus empirischem Vergleich Trocknungsverfahren siehe Anhang 1
Elektrische Energie			
Energieverbrauch	kWh_{el}/t_{WV}	22	95 bis 100
Energieverbrauch inkl. Kühlwasser	kWh_{el}/t_{WV}	22	95 bis 100
Energieverbrauch elektrisch für Kühlwasser	kWh_{el}/t_{WV}	0	0
Thermische Energie			
Nutzenergieverbrauch total	kWh_{therm}/t_{WV}	1'033	843 bis 1'000 ⁴
Nutzenergieverbrauch netto (abzüglich genutzte Abwärme)	kWh_{therm}/t_{WV}	439	
Genutzte Abwärme	kWh_{therm}/t_{WV}	594	
	%	58	10 bis 40

Der elektrische Energieverbrauch auf der ARA Schwyz liegt deutlich unter den ermittelten Literaturdaten.

Der gemessene thermische Nutzenergieverbrauch liegt über den empirischen Werten, obwohl diese nicht in Nutzenergieform vorliegen und deshalb niedriger sein müssten. Die empirischen Daten weisen einen unbestimmten Anteil an Abwärme auf, weshalb unklar ist, wie hoch der zu Grunde gelegte Nutzenergieverbrauch ist. Der Anteil der Abwärmenutzung ist dank der Co-Vergärung überdurchschnittlich hoch.

Es gilt zu bemerken, dass alle Daten nach dem 21. August 2006 aufgrund des Ausfalls der Trocknung wegen dem Hochwasser nicht in die Gesamtauswertung einbezogen werden konnten und dadurch die warmen Monate August und September nicht vollständig erfasst wurden.

6.3 ARA Im Blettler, Wohlen

Von der ARA Im Blettler liegen Daten von März bis Ende Dezember 2005 vor. Der Monat März wurde aber nicht ausgewertet, da die elektrischen Daten für diesen Zeitraum mit Fehlern behaftet waren (Stromzähler stimmt nicht). Um bei allen Daten den gleichen Zeitraum auszuwerten, beginnt die Auswertung am 11. April 2005. Am 22. Dezember wurde die Trocknung für die Feiertage abgestellt und im Januar stand der Betrieb still, weil der Abnehmer (Zementwerk) in Revision war und das Granulat nicht entsorgt werden konnte.

Die Auswertung der erhobenen Daten ergibt für den Mitteltemperatur-Bandrockner das Bild gemäss Tabelle 8 (die erhobenen Daten sind im Anhang 2.3 zu finden).

⁴ Energieform ist bei den Herstellerangaben nicht klar definiert

Tabelle 8: Energieverbrauch Mitteltemperatur-Bandrocknung ARA Im Blettler, Wohlen

		ARA Im Blettler	aus empirischem Vergleich Trocknungsverfahren siehe Anhang 1
Elektrische Energie			
Energieverbrauch	kWh _{el} /t _{WV}	81	129
Energieverbrauch inkl. Kühlwasser	kWh _{el} /t _{WV}	86	132
Energieverbrauch elektrisch für Kühlwasser	kWh _{el} /t _{WV}	5	3.9
Thermische Energie			
Nutzenergieverbrauch total	kWh _{therm} /t _{WV}	648	863 bis 927 ⁵
Nutzenergieverbrauch netto (abzüglich genutzte Abwärme)	kWh _{therm} /t _{WV}	648	
Genutzte Abwärme	kWh _{therm} /t _{WV}	0	
	%	0	bis 36%

Der elektrische Energieverbrauch ist deutlich geringer als aus dem empirischen 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 und deshalb für Betriebsmittelvergleiche weniger relevant sind.

Beim empirischen Wert kann davon ausgegangen werden, dass er ohne Abwärmenutzung zu Stande kam und es sich bei den dargestellten Werten um Endenergie handelt. Die Umrechnung auf Nutzenergie mit einem Wirkungsgrad von 85% ergibt einen Literaturwert von 733 bis 787 kWh_{therm}/t_{WV}. Der gemessene thermische Energieverbrauch ist entsprechend ca. 15 % tiefer als gemäss empirischem Trocknungsvergleich. Dieser tiefe Wert ist durch die Direktbeheizung mit den Rauchgasen zu erklären.

6.4 Diskussion der Messergebnisse

6.4.1 Elektrische Energie

Tabelle 9: Vergleich des elektrischen Energieverbrauchs der untersuchten Trocknungsverfahren

		Messkampagne	aus empirischem Vergleich Trocknungsverfahren siehe Anhang 1
Elektrische Energie			
ARA Region Bern	kWh _{el} /t _{WV}	94	68 - 99
ARA Schwyz	kWh _{el} /t _{WV}	22	95 - 100
ARA Im Blettler	kWh _{el} /t _{WV}	86	132 - 133

⁵ Energieform ist bei den Herstellerangaben nicht klar definiert und eher als Endenergie anzusetzen

Beim empirischen Vergleich der Trocknungsverfahren (Anhang 1) schnitt die Wirbelschichttrocknung mit unter 100 kWh_{el}/tWV am besten ab, demgegenüber die Mitteltemperatur-Bandrocknung mit 132 kWh_{el}/tWV am schlechtesten dastand. Am meisten elektrische Energie braucht aber die Niedertemperatur-/Umlufttrocknung wenn Wärmepumpen zur Abwärmenutzung verwendet werden (vgl. Kapitel 3.3.2).

Die Messkampagne an den drei Trocknungsanlagen hat - im Gegensatz zu den empirischen Werten - ergeben, dass die Niedertemperatur-/Umlufttrocknung ohne Einsatz von Wärmepumpen mit Abstand am wenigsten elektrische Energie braucht (siehe Tabelle 9). Folgende Gründe sind dafür massgebend:

- Das System Niedertemperatur-/Umlufttrocknung weist mit Abstand am wenigsten elektrisch angetriebene Aggregate auf.
- Auf der ARA Schwyz enthält der Schlamm einen spürbaren Anteil an Stroh (Abwasserzulauf aus Schlachtbetrieben), wodurch die Dichte des Schlammes niedrig ist und das Gebläse mit einer geringeren Leistung betrieben wird, um nicht Staub aufzuwirbeln. Dadurch ist der Druckverlust über die Bänder des Trockners gering und der Ventilator, der massgebende Stromverbraucher des Systems, braucht deutlich weniger elektrische Energie.

Der elektrische Energieverbrauch der Wirbelschicht- und Mitteltemperatur-Bandrockner liegt in einem vergleichbaren Bereich. Diese beiden Trocknungsverfahren sind ähnlich komplex, wodurch sich dieser Umstand erklären lässt.

6.4.2 Thermische Energie

Tabelle 10: Vergleich des thermischen Energieverbrauchs auf Nutzenergiestufe der untersuchten Trocknungsverfahren

		Messkampagne	aus empirischem Vergleich Trocknungsverfahren ⁶ siehe Anhang 1
Thermische Nutzenergie			
ARA Region Bern	kWh _{ltherm} /t _{WV}	806	820 - 880
ARA Schwyz	kWh _{ltherm} /t _{WV}	1'033	843 - 1'000
ARA Im Blettler	kWh _{ltherm} /t _{WV}	648	863 - 927

Aus dem empirischen Vergleich der Trocknungsanlagen zeigt sich, dass die Wirbelschicht- und die Mitteltemperatur-Bandrocknung einen ähnlichen thermischen Energieverbrauch aufweisen. Die Niedertemperatur-/Umlufttrocknung weist einen hohen Schwankungsbereich auf (siehe Kapitel 3.3.1), wodurch eine Aussage erschwert wird.

Aus dem Messprogramm wird deutlich, dass die auf der ARA Im Blettler verwendete Mitteltemperatur-Bandrocknung den tiefsten thermischen Nutzenergieverbrauch aufweist (siehe Tabelle 10). Dies ist auf den Umstand zurückzuführen, dass die Beheizung direkt erfolgt, d.h. dass direkt die Wärme aus den Rauchgasen zur Trocknung verwendet werden. Energetisch weist dies Vorteile auf, da Verluste durch Wärmetauscher bzw. Energieumwandlungen vermieden werden.

Die Niedertemperatur-/Umlufttrocknung in Schwyz weist einen ca. 60 % höheren Nutzenergiebedarf auf als die Mitteltemperatur-Bandrocknung, weil die Trocknung mit tieferen Temperaturen läuft. Dadurch ist das Wasseraufnahmevermögen der Luft deutlich kleiner und die Luftmenge, die aufgewärmt werden muss, deutlich grösser. Ausserdem wird in Schwyz die Luft mit vergleichsweise geringer relativer (und aufgrund der tiefen Temperaturen auch absoluter) Feuchte ausgeschleust, was sich zusätzlich negativ auf die erforderliche Gesamtluftmenge und den Energieverbrauch auswirkt.

⁶ Energieform ist bei den Herstellerangaben nicht klar definiert

6.4.3 Abwärme

Abwärmeeinbindung in den Trocknungsprozess

Wie erwartet ist bei den drei untersuchten Kläranlagen der Beitrag der Abwärme bei der ARA Schwyz am höchsten (siehe Tabelle 11). Da die Trocknung auf einem tiefen Temperaturniveau stattfindet (die Trocknungsluft wird im Mittel bei 27°C ausgeschleust), kann jegliche auf der Kläranlage anfallende Abwärme genutzt werden.

Tabelle 11: Abwärmennutzung der untersuchten Trocknungsverfahren

		Messkampagne	aus empirischem Vergleich Trocknungsverfahren siehe Anhang 1
Elektrische Energie			
ARA Region Bern	%	28	-
ARA Schwyz	%	58	10 - 40
ARA Im Blettler	%	-	bis 36

Die Abwärmennutzung auf der ARA Region Bern ist mit 28% ebenfalls sehr hoch. Da es sich bei der Wirbelschichttrocknung eigentlich um eine Hochtemperaturtrocknung handelt, ist die Einbindung von Abwärme nicht so problemlos möglich wie bei der Niedertemperaturtrocknung. Die intelligente Verfahrensführung auf der ARA Region Bern mit Verbrennungsluftvorwärmung durch die Rauchgase und Vorwärmung des Thermoöls mit den Rauchgasen der BHKW erlaubt die optimale Einbindung von Abwärme in das System.

Auf der ARA Im Blettler ist keine Abwärmennutzung eingerichtet. Die Möglichkeiten der Abwärmennutzung sowohl von Heisswasser als auch aus der Restwärme der Rauchgase wurden untersucht und erwiesen sich als unwirtschaftlich. Stattdessen wird die Trocknungsanlage mit Direktbeheizung betrieben.

Abwärmeauskopplung

Sowohl bei der Wirbelschichttrocknung als auch bei der Mitteltemperatur-Bandrocknung ist es aber möglich, überschüssige Wärme zu nutzen. Die anfallende Wärme ist dabei aber auf einem niedrigen Temperaturniveau vorliegend und kann deshalb nicht mehr so einfach in den Prozess eingebunden werden. Weder die ARA Region Bern noch die ARA Im Blettler weisen eine Abwärmeauskopplung auf.

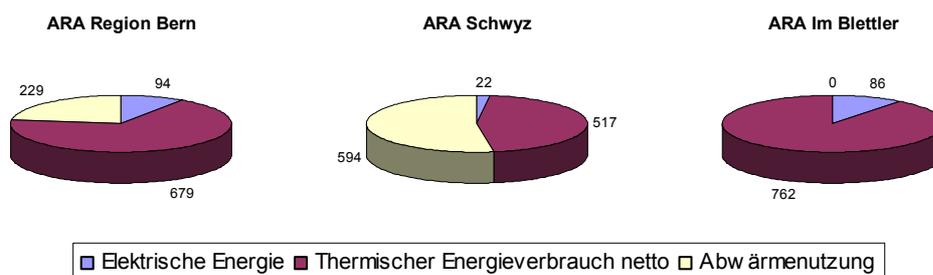
6.5 Energetische Gesamtbeurteilung

Die Beurteilung des Gesamtenergieverbrauchs, also die Summe der elektrischen und thermischen Energie, bedingt eine vorgängige Bewertung der eingesetzten Energie auf Stufe Endenergie. Insbesondere fällt bei einer derartigen Bewertung die Abwärmennutzung, die keinen Einkauf an Endenergieträgern erfordert, stark ins Gewicht, andererseits muss dann auch die zur weiteren Verwendung bereitgestellte Wärme einbezogen werden, sofern sie auch genutzt werden kann.

Beim vorgängigen Vergleich des thermischen Energieverbrauchs (Kapitel 6.4.2) wurde die gesamte thermisch benötigte Energie auf Nutzenergiestufe verglichen, also sowohl die durch externe Energieträger (Klärgas, Erdgas, Öl) aufgewendete Energie als auch die Abwärmennutzung. Wird die Abwärme von der gesamten aufgewendeten thermischen Energie abgezogen und nur der Endenergieverbrauch an Strom, Erdöl, Erdgas oder Klärgas betrachtet, sieht der Vergleich der drei untersuchten Trocknungsverfahren folgendermassen aus.

Tabelle 12: Energieverbrauch auf Endenergiestufe der drei Trocknungsverfahren inkl. Abwärmenutzung

	Elektrischer Energieverbrauch kWh _{el} /tWV	Thermischer Endenergieverbrauch total kWh _{therm} /tWV	Abwärmenutzung kWh _{therm} /tWV	Thermischer Endenergieverbrauch netto kWh _{therm} /tWV
ARA Region Bern	94	908	229	679
ARA Schwyz	22	1'111	594	517
ARA Im Blettler	86	762	0	762



Figur 8: Energieverbrauch auf Endenergiestufe aufgeschlüsselt nach Energieformen (Angaben in kWh/tWV)

Aus Tabelle 12 sowie der Figur 8 wird ersichtlich, dass die Niedertemperatur-/Umlufttrocknung sowohl bezüglich des elektrischen wie auch, unter Berücksichtigung der Abwärmenutzung, des thermischen Energieverbrauchs das energie günstigste Trocknungsverfahren ist.

Aus den erhobenen Zahlen lässt sich eindeutig zeigen, dass es sich energetisch lohnt, vorhandene Abwärme in das System einzubringen. Die ist selbstverständlich auf niedrigem Temperaturniveau wie bei der Niedertemperatur-/Umlufttrocknung besonders einfach möglich.

6.6 Potenzialabschätzung Schweiz

6.6.1 Gesamte Schlammmenge Schweiz basierend auf Messergebnissen

In der Schweiz fallen pro Jahr ca. 200'000 t Trockensubstanz Schlamm an. Gemäss dem BUWAL [2] wurden im Jahre 2002 19% in Zementwerken, 39% in Schlammverbrennungsanlagen SVA, 13% in KVA, 21% in Landwirtschaft, 2% in Deponien entsorgt und 6% gingen in den Export.

Das Potenzial für Solartrocknungen wird dabei gemäss einer Untersuchung von *EnergieSchweiz* auf ca. 10 % der gesamten Schlammmenge geschätzt [10]. In der Potenzialabschätzung wird angenommen, dass die restliche Schlammmenge vor der Verbrennung getrocknet wird, und dass anstelle einer Wirbelschichttrocknung eine Niedertemperatur-/Umlufttrocknung (mit 58 % Abwärmenutzung) eingesetzt wird. Unter diesen Annahmen ergibt sich ein theoretisches Einsparpotenzial an elektrischer Energie von ca. 32 Mio. kWh_{el}/a (siehe Tabelle 13). Das thermische Einsparpotenzial vom Mitteltemperatur-Bandrockner ohne Abwärmeeinbindung zur Niedertemperatur-/Umlufttrocknung mit Abwärmeeinbindung beträgt ca. 133 Mio. kWh_{therm}/a. Hierbei muss beachtet werden, dass die Mitteltemperatur-Bandrocknung mit Direktbeheizung grundsätzlich energetisch günstig ist und deshalb insbesondere bei fehlenden Möglichkeiten zur Abwärmeeinbindung besser sein kann.

6.6.2 Gesamte Schlammmenge Schweiz, basierend auf aktuellen Betriebserfahrungen

Auf der ARA Mellingen wurde im Jahr 2005 eine Niedertemperatur-/Umlufttrocknung installiert, die ihren thermischen Wärmebedarf mit Abwasserwärmepumpen deckt [9]. Da diese Trocknungsanlage erst nach dem Beginn des Messprogramms ihren Betrieb aufgenommen hat, konnte die Anlage deshalb nicht einbezogen werden. In der Zwischenzeit liegen aber erste Betriebsergebnisse vor, welche für die Potenzialabschätzung miteinbezogen werden sollen.

Bei den eingesetzten Wärmepumpen werden Leistungsziffern von 3 und mehr (neuerdings bis zu 4) erreicht, d.h. im Jahresmittel muss nur ein Drittel oder weniger des Energiebedarfes mit zugekaufter Endenergie (Strom) abgedeckt werden. Der Rest stammt aus kostenloser Abwärme aus dem Abwasser. Daneben kann auch Abwärme aus der Gebläseluft oder dem BHKW genutzt werden.

Es wird für den Wärmebedarf vom gemessenen Wert der Niedertemperatur-/Umlufttrocknung auf Stufe Nutzenergie aus Kapitel 6.4.2 ausgegangen, wobei 25% durch Abwärme aus dem BHKW und 75% durch Abwasserwärmenutzung gedeckt wird. Für die Leistungsziffer der Wärmepumpe wird von 3 ausgegangen.

Unter diesen Annahmen ergibt sich ein theoretisches Einsparpotenzial von 339 Mio. kWh pro Jahr an fossilen Brennstoffen, der elektrische Verbrauch nimmt um 44 Mio. kWh pro Jahr zu (siehe Tabelle 13). Die fossilen Einsparungen sind also rund 8-mal grösser als die Zunahme an Strom. Selbst wenn nur ein Teil dieses Potenzials ausgeschöpft werden kann, so wäre dies ein beträchtlicher Beitrag zur Schweizerischen Energiepolitik bzw. zur Nutzung von Abwärme und erneuerbarer Energien und zur CO₂-Reduktion.

Tabelle 13: Energiesparpotenzial der Niedertemperatur-/Umlufttrocknung in der Schweiz

Endenergieverbrauch	getrocknete Schlammmenge	spez. Strombezug	spez. Brennstoffeinkauf	Verbrauch Elektrizität	Verbrauch Brennstoff
	tTS/a	kWh _{el} /tTS	kWh _{therm} /tTS	Mio. kWh _{el} /a	Mio. kWh _{therm} /a
Wirbelschichttrocknung	200'000	209	1'509	42	
Mitteltemperatur-Bandrocknung	200'000	191	1'693		339
Solartrocknung	20'000	44	0	1	0
Niedertemperaturtrocknung	180'000				
- aus Messprogramm		49	1'149	9	206
- mit Abwasserwärmepumpe		623	0	112	0
Einsparpotenzial					
- Messprogramm				32	133
- mit Abwasserwärmepumpe				-70	339

6.6.3 Schlammmenge, die getrocknet werden kann

Getrockneter Schlamm wird heute 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 (basierend auf Messprogramm) berechnet sich zu ca. 11 - 19 GWh_{el}/a. Das thermische Einsparpotenzial liegt bei 27 - 46 GWh_{therm}/a.

Zurzeit ist die Verbrennung von Granulat ausserhalb von Zementwerken noch nicht weit verbreitet. In verschiedenen Schlammverbrennungsanlagen und Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) wird aber über diese Möglichkeit nachgedacht, da getrockneter Klärschlamm einen wesentlich höheren Heizwert als entwässerter Schlamm aufweist. Aus energetischer Sicht sind Schlammverbrennungs- und Kehrichtverbrennungsanlagen insbesondere dann interessant, wenn neben der Wärmenutzung (= Fernwärme) auch Strom produziert wird.

7 Empfehlungen für Kläranlagenbetreiber und Fachingenieure

Aufgrund der aus den Messkampagnen gewonnenen Erkenntnisse wird nachfolgend das Vorgehen bei der Planung einer Klärschlamm-trocknungsanlage dargestellt. Das Augenmerk wird dabei hauptsächlich auf den energetischen Aspekt gelegt, wobei die örtlichen Verhältnisse und Gegebenheiten eine nicht unwesentliche Rolle spielen und im Einzelfall unbedingt berücksichtigt werden müssen.

7.1 Checkliste Energie

Für die energetische Betrachtung einer geplanten Klärschlamm-trocknungsanlage sind folgende Fragen planerisch zu berücksichtigen:

- Welche übergeordneten Überlegungen müssen gemacht werden?
Zu Beginn müssen einige grundsätzliche Überlegungen angestellt werden. Einerseits stellt sich die Frage, ob in der Umgebung der untersuchten Kläranlage grössere Energiequellen vorhanden sind (z.B. KVA oder andere Kraftwerke), deren Abwärme für den Trocknungsprozess genutzt werden kann. Es muss aber auch grundsätzlich betrachtet werden, ob eine regionale Lösung mit einer gemeinsamen Trocknung des Klärschlammes aus verschiedenen Kläranlagen möglich und zweckmässig ist. Ausserdem muss abgeklärt werden, ob die Trocknung der energetisch sinnvollste Weg darstellt oder ob eine direkte Verbrennung des Schlammes energetisch eventuell sinnvoller wäre.
- Welche Abwärmequellen stehen zur Verfügung?
Es geht insbesondere um auf der Kläranlage anfallende Abwärme, z.B. die Abwärme der BHKW, die Abwärme der Rauchgase der BHKW oder die Wärmerückgewinnung aus der Gebläseluft. Diese wird dann vor dem Einblasen in die Biologie gekühlt und die Wärme daraus kann genutzt werden. Diese Abwärmequellen haben auf einer Kläranlage erste Priorität, da sie ohne zusätzlichen Endenergieaufwand genutzt werden können. Reicht dies noch nicht aus, steht bei allen Kläranlagen Abwärme aus dem Abwasser zur Verfügung, die mittels Wärmepumpen bei Niedertemperatur-trocknern genutzt werden kann. Bei sämtlichen Abwärmeeinbindungen ist das Temperaturniveau besonders wichtig.
- Kann beim Trocknungsprozess anfallende Abwärme auf der Kläranlage genutzt werden?
Bei der thermischen Trocknung bleibt immer Restwärme übrig. Steht diese auf einem geeigneten Temperaturniveau zur Verfügung, kann sie ausgekoppelt und z.B. zur Faulraumheizung oder für Wärmebezüger in der Nähe der Kläranlage genutzt werden.
- Wie kann der Trocknungsprozess in das vorhandene Wärmesystem eingebunden werden?
Da die Klärschlamm-trocknung einen weitergehenden Verfahrensschritt darstellt, muss der Prozess in die bestehende Kläranlage und das bestehende Wärmesystem eingefügt werden. Bei diesem Punkt müssen Fragen zur Einbindung der neuen Wärmeströme beantwortet werden. Es stellen sich insbesondere Fragen zu den räumlichen Entfernungen zwischen den Energieströmen, zu den herrschenden Platzverhältnissen (erlauben die Platzverhältnisse den Einbau von neuen Wärmetauschern) und den vorhandenen Energieerzeugungssystemen (kann der Trocknungsprozess energetisch eingebunden werden oder muss ein eigener Wärmekreislauf erstellt werden?).
- Ist eine Solartrocknung machbar, ev. in Kombination mit Abwärmennutzung?
Die Solartrocknung ist aus rein energetischer Sicht das beste Trocknungsverfahren. Dabei sind aber die Anforderungen des Flächenbedarfes individuell zu beurteilen. Bei der Solartrocknung ist deshalb auch immer eine Kombination mit Abwärmennutzung zu prüfen.

- Was für ein Energieträger wird für die nebst der Abwärme einzubringende thermische Energie genutzt?
Zunächst sind die Potenziale aus den Abwärmequellen (sowohl Kläranlagen-intern als auch Abwärme z.B. von KVAs) zu nutzen. Als weitere Energiequelle verfügen die Kläranlagen über Klärgas, das aber primär zur höherwertigen Nutzung verwendet werden sollte, also zur erneuerbaren Stromproduktion und gleichzeitigen Wärmenutzung. Dabei darf auch zukünftig von verbesserten Rahmenbedingungen für die Vergütung des gesamten produzierten Stromes aus dem erneuerbaren Klärgas für alle Betreiber, gleichgültig ob von abhängigen oder unabhängigen Produzenten, ausgegangen werden [5]. Grundsätzlich bietet sich auch der Einsatz von Holz an, in Form von Holzhackschnitzeln oder Pellets. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass das Potenzial dieses erneuerbaren Energieträgers beschränkt ist. Zudem ist dieser Energieträger transportierbar und kann auch an einem anderen Ort genutzt werden. Ausserdem ist bei den energetischen Überlegungen immer auch der Aufwand für den Transport zu berücksichtigen.
- Welches Verfahren soll eingesetzt werden?
Nach Abschätzung der vorhandenen Abwärme und der technische Verfügbarkeit muss das energetisch günstigste Verfahren gesucht werden. Steht keine Abwärme zu Verfügung (z.B. auf einer Kläranlage, die keine Faulung und dadurch keine BHKWs hat), hat sich die Mitteltemperatur-Bandrocknung mit Direktbeheizung als energetisch günstiges Verfahren erwiesen. Wenn zwar Abwärme zur Verfügung steht, aber nur auf einem tiefen Temperaturniveau, dann bietet sich eher die Niedertemperatur-/Umluftrocknung an. Abwärme auf hohem Temperaturniveau kann sowohl in die Niedertemperatur- als auch in die Hochtemperaturverfahren eingebunden werden. In diesem Fall ist auch der Einsatz von Holz zu prüfen.
- Kann der Energieverbrauch durch vorgeschaltete Stufen gesenkt werden?
Die Entwässerung weist einen 20-fach geringeren spezifischen Elektrizitätsverbrauch und zudem keinen Brennstoffbedarf auf. Deshalb hat die Entwässerung einen möglichst hohen Anteil zum angestrebten Trocknungsgrad beizusteuern. Hier muss einerseits die Effizienz der eingesetzten Entwässerung betrachtet und gegebenenfalls auch energetisch optimiert werden.
- Kann der elektrische Energieverbrauch durch ökologisch produzierten Strom gedeckt werden?
Da die Trocknung von Klärschlamm Strom verbraucht und der Verbrauch durch Auswahl des geeigneten Verfahrens zwar niedrig gehalten aber trotzdem nicht ganz vermieden werden kann, stellt sich die Frage, ob der elektrische Energieverbrauch mit ökologisch produziertem Strom gedeckt werden kann (z.B. durch Verstromung des Klärgases).

7.2 Checkliste übrige Kriterien

Nebst energetischen Gesichtspunkten muss die Planung einer Klärschlammrocknungsanlage immer auch die örtlichen Verhältnisse berücksichtigen. Wirtschaftliche Überlegungen spielen selbstverständlich auch eine wichtige Rolle und können gerade bei kleinen Kläranlagen nicht vernachlässigt werden. Dabei ist aber die zukünftige Entwicklung der Energiepreise insbesondere von fossilen Brennstoffen zu berücksichtigen.

Die Einbindung von Abwärme in den Trocknungsprozess bedeutet immer Anpassungen an der bestehenden Kläranlage. An diesem Punkt stellt sich immer die Frage nach dem Aufwand für die Anpassungsarbeiten und dem Ertrag durch Energieeinsparungen durch die Abwärmenutzung. Beides muss im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnung durch den Planer überprüft und gemäss der aktuellen SIA 480 [11] auch die externen Kosten aufgezeigt werden, damit der Bauherr aufgrund belastbarer Grundlagen entscheiden kann.

Als weitere Überlegung bei der Planung muss zudem die Betriebssicherheit sowie die Einfachheit des Verfahrens berücksichtigt werden. Je mehr verschiedene Energieströme eingebunden werden müssen, desto komplexer wird das Verfahren und die Störungsanfälligkeit der Trocknung steigt.

8 Umsetzung

Die Klärschlamm-trocknung ist ein grosser Energieverbraucher. Würde beispielsweise der gesamte Klärschlamm in der Schweiz von jährlich 200'000 t getrocknet, so würde sich der fossile Brennstoffverbrauch der heutigen Kläranlagen in der Schweiz wesentlich erhöhen (je nach Verfahren um das 10 bis 20-fache) und der Elektrizitätsverbrauch der Kläranlagen um bis zu 10 % ansteigen.

Durch geeignete Massnahmen kann dieser Mehrverbrauch auf das erforderliche Mindestmass reduziert werden. Das im Rahmen von *EnergieSchweiz* durchgeführte Projekt zeigt, dass die untersuchten Verfahren auf den beschriebenen Kläranlagen zwar bereits energetisch optimiert betrieben werden, ohne die jeweiligen Energiemassnahmen aber einen wesentlichen Mehrverbrauch verursachen würden. Für jedes Verfahren sind spezielle Energieoptimierungsmöglichkeiten gegeben, die in Abhängigkeit von den herrschenden Randbedingungen bei den untersuchten Anlagen bereits optimal umgesetzt wurden. Es ist anzustreben, dass bei der Realisierung von zukünftigen Schlamm-trocknungsanlagen auf Basis der vorliegenden *Checkliste Energie* (Kapitel 7.1) ähnliche energetische Optimierungen bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden, damit der Energiebedarf auf das notwendige Minimum reduziert werden kann.

Ein zusätzliches Energieeinsparpotenzial ergibt sich aus der Abwärmenutzung aus Abwasser. Auch wenn diese nicht Gegenstand der im Rahmen des Messprogramms untersuchten Verfahren war, so ergeben sich aus den theoretisch berechneten Energieverbrauchszahlen und den, parallel zur Erstellung des vorliegenden Berichtes, ersten veröffentlichten Planungsdaten der ersten technischen Schlamm-trocknungsanlage mit Abwasserwärmenutzung wichtige Erkenntnisse [9]. Danach könnte der Schlamm auch getrocknet werden, ohne dass ein zusätzlicher Brennstoffverbrauch oder ein zusätzlicher CO₂-Ausstoss resultiert. Der zusätzliche Elektrizitätsverbrauch liegt (lediglich) bei einem Zehntel des Brennstoffverbrauches der konventionellen Hochtemperatur-trocknung. Das Energiepotenzial ist also äusserst gross.

In nächster Zeit werden zahlreiche neue Schlamm-trocknungsanlagen in der Schweiz gebaut. Bisher wurden die energetischen Aspekte nicht immer berücksichtigt, da sie bei Betreibern und Planern noch kaum bekannt waren. Aus diesem Grunde ist es sehr wichtig, die neuen Erkenntnisse aus dieser Arbeit, die wichtige Grundlagen liefert, möglichst rasch dem Zielpublikum zu unterbreiten. Die Umsetzung dazu wird durch *EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen*, welche guten Kontakt zum Zielpublikum pflegt, durchgeführt.

Diese Umsetzung von *EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen* erfolgt in Zusammenarbeit mit den einschlägigen Fachverbänden, insbesondere dem VSA (Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute) und dem FES (Schweizerischer Städteverband - Fachorganisation für Entsorgung und Strassenunterhalt). Die Verbreitung der Informationen und die Motivation der Betreiber und Planer zur energetischen Optimierung basiert auf folgenden Pfeilern:

- Beitrag auf der Website von *EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen*
- Telefonische Auskunft und Vermittlung neuer Erkenntnisse
- Rundmailing an die Kläranlagen in der Schweiz
- Erstellung eines einfachen Flyers
- Durchführung von Veranstaltungen

Eine Veranstaltung über die Klärschlamm-trocknung konnte bereits anlässlich der Einweihung auf der ARA Mellingen durchgeführt werden, welche die erste Niedertemperatur-trocknung mit Abwasserwärmenutzung in der Schweiz realisiert hat. Im Hinblick auf diese Tagung wurden alle Kläranlagen in der deutschsprachigen Schweiz angeschrieben, ein Beitrag in der grössten Fachzeitschrift der Abwasserbranche erstellt [9] und die rund 180 Teilnehmer am Anlass selbst über die neue Anlage und die energetischen Vorteile informiert. Die vorliegende Arbeit gibt nun einen Überblick über die energetische Qualität der verschiedenen Verfahren, weshalb die Erstellung eines Flyers und die Verbreitung über die Website, Rundmailing etc. sinnvoll wären. Dazu müssen die Budgetfragen noch geklärt werden.

Forschungslücken

Da inzwischen die erste Trocknung mit Abwasserwärmenutzung realisiert wurde, schlagen wir vor, ein Messprogramm und eine entsprechende Auswertung durchzuführen. Es wird deshalb empfohlen, im Rahmen eines weiteren Messprogramms an der Klärschlamm-trocknungsanlage mit Abwasserwärmenutzung der ARA Mellingen festzustellen, in wie weit die für dieses Verfahren prognostizierten Energieeinsparpotenziale tatsächlich zugänglich sind und unter Praxisbedingungen umgesetzt werden können. Dabei sollten dieselben Mess- und Auswertungsgrundsätze wie im vorliegenden Messprogramm angewendet werden, damit die Ergebnisse auch wirklich vergleichbar und auf die vorliegenden Potenzialabschätzungen angewendet werden können, denn es gilt diese zu bestätigen oder zu verifizieren. Besonderes Augenmerk ist hierbei auf die Verfügbarkeit der Abwasserwärme, insbesondere im Hinblick auf die Wärmespeicherung und -verfügbarkeit während der Zeiten mit geringem Abwasserzulauf, z.B. während der Nachtstunden, zu richten.

Der Hersteller hat hier bereits Hand geboten, für die notwendigen Messinstallationen selbst aufzukommen und trotzdem die Auswertungen durch neutrale Fachleute durchführen zu lassen.

Darüber hinaus befindet sich zurzeit die erste kombinierte Schlamm-trocknungsanlage mit solarer Vortrocknung und nachgeschalteter Mitteltemperatur-Band-trocknung der Schweiz in Erstellung. Für die Bereitstellung der thermischen Energie wird eine Holzschnitzelfeuerung eingesetzt. Die Inbetriebnahme ist für Ende 2006 vorgesehen. Eine Verifizierung der bisher gemessenen Betriebsdaten auf diese Verfahrenskombination würde sicher eine äusserst interessante und gesamtökologisch wertvolle Alternative zu den bisher gewonnenen Erkenntnissen bedeuten.

Zudem wäre die Realisierung und messtechnische Überprüfung einer kombinierten solaren Schlamm-trocknungsanlage mit Abwasserwärmenutzung - aus energetischer Sicht - sicher sehr interessant.

Eine einheitliche Darstellung der Herstellerangaben betreffend Nutz-/Endenergiebedarf wäre ebenfalls wünschenswert. Diese Problematik wurde bereits u.a. in den Kapiteln 3.3.1 Thermische Energie und 3.3.2 Elektrische Energie erläutert. Es würde sich deshalb anbieten in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Trocknungsanlagenherstellern eine einheitliche Regelung zu erarbeiten um etwaige Systemvergleiche einfacher und transparenter durchführen zu können.

Übergeordnet fehlen noch wichtige Erkenntnisse über die Energiebilanzen der verschiedenen Schlamm-trocknungswege und insbesondere auch ein Vergleich mit und ohne Faulung sowie direkte Verbrennung oder Trocknung für die Varianten Nutzung in Zementwerken bzw. KVA.

9 Energiebegriffe (gemäss Handbuch Energie in ARA [8])

Nutzenergie	Genutzte Energie in Form von Licht, Kraft, Wärme und Prozessen (= Energiebedarf)
Endenergie	Der Kläranlage unmittelbar zugeführte Energie in Form von Heizöl, Gas, Fernwärme
Endenergieverbrauch	Der Kläranlage zugeführter Energieverbrauch auf Endeneergiestufe
Primärenergie	Aus einer natürlichen Quelle gewinnbare Energie in Form von Wasserkraft, Rohöl, Erdgas, Steinkohle

10 Symbolverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BFE	Bundesamt für Energie
BHKW	Blockheizkraftwerk
DS	Dickschlamm (entwässerter Schlamm)
FES	Schweizerischer Städteverband – Fachorganisation für Entsorgung und Strassenunterhalt
GWh _{el}	Gigawattstunde elektrisch
h	Stunde
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
kWh _{el}	Kilowattstunde elektrisch
kWh _{therm}	Kilowattstunde thermisch
m ³	Kubikmeter
t	Tonne
TS	Trockensubstanz
VSA	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
WV	Wasserverdampfung

11 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL: **Energie- und CO₂-Bilanz im Kärschlamm, von der Entsorgung zur Nutzung**, Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 31, Bern 1999
- [2] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL: **Klärschlamm Entsorgung in der Schweiz - Mengen- und Kapazitätenerhebung**, Umweltmaterialien Nr. 181, Bern 2004
- [3] Fischli O., Zweifel H.R.: **Messkampagne für eine solare Klärschlamm trocknungsanlage in Bilten GL**, im Auftrag Bundesamt für Energie, Bern 2004
- [4] **HOLINGER AG**: Interne technische Unterlagen und Erfahrungswerte aus Inbetriebnahmen und Garantieabnahmen von Schlammaufbereitungsanlagen
- [5] Kernen M.: **Erneuerbare Energien in der Schweiz - Potenzial (ARA, KVA, WV) und politische Weichenstellungen**, in gwa 3/06, Zürich 2006
- [6] Müller E.A., Kobel B., Pinnekamp J., Böcker K. et al.: **Handbuch Energie in Kläranlagen**, im Auftrag Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1999
- [7] Müller E.A., Schmid F.: **Heizen und Kühlen mit Abwasser - Ratgeber für Bauherrschaften und Gemeinden**, EnergieSchweiz, Bern 2005
- [8] Müller E.A., Thommen R., Stähli P. et al.: **Handbuch Energie in ARA**, im Auftrag Bundesamt für Energiewirtschaft, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1994
- [9] Schmid F.: **Ökonomische Klärschlamm trocknung, Nutzung von erneuerbarer Energie**, Niedertemperatur trocknung mit Abwasserwärmenutzung (Bsp. ARA Mellingen), in gwa 3/06, Zürich 2006
- [10] Vetter H., Burger S.: **Potenzialabschätzung "Solare Klärschlamm trocknung"**, im Auftrag Bundesamt für Energie und EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen, Bern 2005
- [11] SIA 480: Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau, Zürich 2004
- [12] Technische Unterlagen *Andritz 3Sys AG*
- [13] Technische Unterlagen *Innoplana Umwelttechnik AG*
- [14] Technische Unterlagen *Picatech Huber AG*
- [15] Technische Unterlagen *Swiss Combi Technology AG*
- [16] Technische Unterlagen *Thermo-System*
- [17] Technische Unterlagen *VA TECH WABAG*

12 Anhang

Anhang 1: Energieverbrauch für die Klärschlamm-trocknung

Anhang 2: Messdatenprotokolle

Anhang 2.1: Messdaten ARA Region Bern

Anhang 2.2: Messdaten ARA Schwyz

Anhang 2.3: Messdaten ARA Im Blettler, Wohlen

ANHANG 1

ENERGIEBEDARF FÜR DIE KLÄRSCHLAMMTROCKNUNG

Energieverbrauch 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					Mittel- und Niedertemperaturtrocknung							
	Wirbelschichttrocknung		Trommel-trocknung	Scheiben-trocknung	Dünnschicht-verdampfung mit anschliessender Bandtrocknung (zweistufig)	Mitteltemperatur-Bandtrockner		Niedertemperatur-/Umlufttrocknung		Nieder-temperatur-/Umlufttrocknung mit Abwasserwärme-pumpen	Solare Trocknung in Kombination mit Abwärme und Frischluft	Solare Trocknung	
Quelle	Literaturrecherche/Herstellerrangaben	Messprogramm	Literaturrecherche/Herstellerrangaben	Technische Unterlagen	Herstellerrangaben/ Garantiewerte	Herstellerrangaben/ Garantiewerte	Messprogramm	Herstellerrangaben/ Garantiewerte	Messprogramm	Herstellerrangaben	Literaturrecherche/Herstellerrangaben	Literaturrecherche/Herstellerrangaben	
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 Abwärmebereitstellung von Hochtemperaturtrocknern zu beachten.													
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		15'000 - 100'000 ⁶⁾	5'000	5'000 bis 100'000
Wasserverdampfung	kgWV/h	> 1'500		> 1'500	> 1'500	< 3'000	< 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	25 bis 30	3 bis 30
TS-Gehalt Ende	% TS	> 90		> 90	> 90	> 90	90		90		90	85 bis 90	ganzjährig 65 - 70
Elektrische Energie													
Energieverbrauch elektrisch ¹⁾	kWh/t WW	64 bis 93	92	85	64	128 bis 156	127 bis 129	81	95 bis 100	22	215 bis 295	205	10 bis 30
Energieverbrauch elektrisch mit Kühlwasserbedarf	kWh/t WW	68 bis 99	94	87	66	134 bis 160	132 bis 133	86	95 bis 100	22	215 bis 295	205	10 bis 30
Thermische Energie													
Energieverbrauch thermisch (aus Erdgas, Klärgas, Erdöl oder Abwärme) ²⁾	kWh/t WW	820 bis 880		800 bis 865	876	717 bis 771	863 bis 927		843 bis 1'000		225 bis 764	0	0
Endenergieverbrauch thermisch total			908					762		1'111			
Abwärmenutzung	kWh/tWW		229					0		594			
Endenergieverbrauch thermisch netto (abzüglich genutzte Abwärme)	kWh/tWW		679					762		517			
Mögliche Abwärmenutzung zur Deckung des therm. Energiebedarfs ³⁾	%		25%			9%	bis 36%	0%		53%	43% bis 75%	100	Therm. Energie durch Sonneneinstrahlung gedeckt
Mögliche Nutzung der Abwärme der Schlamm-trocknungsanlage ⁴⁾	%	9 bis 90%		20 bis 50%	37%	50%	72% bis 75%		10 bis 40%				
Kühlwasserbedarf													
Kühlwasserbedarf	m ³ /tWW	7 bis 12		3 bis 4	3,5	12,0	8 bis 13				0	0	0
Energieverbrauch elektrisch für Kühlwasser	kWh/m ³	0,5		0,5	0,5	0,5	0,5				0	0	0
Energieverbrauch elektrisch für Kühlwasser	kWh/t WW	3 bis 6	2	1,5 bis 2	2	6,0	3,9 bis 6,7	5		0	0	0	0
Energieverbrauch pro Einwohnerwert ⁵⁾		Mittelwert		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert		Mittelwert		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
Elektrischer Energieverbrauch	kWh/EW*a	3,8	4,5	4,1	3,1	6,9	6,2	3,9	4,7	1,1	12,4	10,0	1,0
Elektrischer Energieverbrauch mit Kühlwasser	kWh/EW*a	4,1	4,6	4,2	3,2	7,2	6,4	4,2	4,7	1,1	12,4	10,0	1,0
Thermischer Energieverbrauch	kWh/EW*a	41,4	33,0	40,5	42,6	36,2	44	37,1	45	25,2	24	0	0
Energieverbrauch pro t entwässertes Schlamm ⁵⁾		Mittelwert		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert		Mittelwert		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
Elektrischer Energieverbrauch	kWh/t DS	52	61	57	43	95	85	54	65	15	170	137	13
Elektrischer Energieverbrauch mit Kühlwasser	kWh/t DS	56	63	58	44	98	88	57	65	15	170	137	13
Thermischer Energieverbrauch	kWh/t DS	567	453	555	584	496	597	508	614	345	330	0	0
Energieverbrauch pro t Trockensubstanz ⁵⁾		Mittelwert		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert		Mittelwert		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
Elektrischer Energieverbrauch	kWh/t TS	174	204	189	142	316	284	180	217	49	567	456	44
Elektrischer Energieverbrauch mit Kühlwasser	kWh/t TS	186	209	193	147	327	294	191	217	49	567	456	44
Thermischer Energieverbrauch	kWh/t TS	1'889	1'509	1'850	1'947	1'653	1'989	1'693	2'048	1'149	1'099	0	0

1) Beim elektrischen Energiebedarf spielt die Anordnung der Aggregate (z.B. für Schlammzuführung) eine entscheidende Rolle; im Messprogramm wurden die Systemgrenzen derart gezogen, dass die Verfahren untereinander verglichen werden können

2) Bei den Herstellerangaben ist die Energieform nicht klar definiert; es kann davon ausgegangen werden, dass es sich um Endenergie handelt

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

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

5) falls von mehreren Anlagen Daten vorlagen, wurden die Werte für den Energieverbrauch gemittelt

ANHANG 2.1

MESSDATEN

ARA REGION BERN

Messprogramm Trocknung ARA Region Bern

Datum	Zeit	TR-Gehalt nach Entwässerung	TR-Gehalt nach Trocknung	Granulat in Zementwerk	Füllstand Granulatsilo		Verbrauch Klärgas	Verbrauch Heizöl	Kühlwasser	Stromverbrauch Trocknung	Trocknung	Schlammannahme STD				Trockengranulattransport STG								Silo 1 und 2 STG3							
					%	%						FTS z. Annahme-bunker	Hydraulik Annahme-bunker	Dick-schlamm-pumpe Annahme-bunker	Becherwerk z. Vorl./Förderung	Becherwerk zu Endprodukt	Granulatförderband	FTS Granulat Vorlage/Förderung	Granulatvorlage, zum WST	Trockner Kühlgas-kreislauf	Verdichter Kühlgas-kreislauf	FTS f. Befüllung Endprodukt	Kerzenfilter Endprodukt Silo 1	Kerzenfilter Endprodukt Silo 2	Austrags-hilfe Granulat silo 1	Austrags-hilfe Granulat silo 2	Verlade-balg Granulat silo 1	Verlade-balg Granulat silo 2	Ventilator Verlade-luft Granulat silo 1	Ventilator Verlade-luft Granulat silo 2	
					Zähler	Zähler						Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh	Bh
Mi 09.03.05	09:00	31.98	91.55		43.7	40.4	2'831'362	3'412	30'731	2'207'399	11'198	11'876	11'828	3'861	11'184	11'204	11'221	11'255	20	11'191	8'149	16'779	89	94	41	46	15	20	107	122	
Do 10.03.05	14:10	31.70	92.41	105.8	76.6	-	2'837'252	3'412	32'639	2'214'750	11'227	11'905	11'857	3'877	11'213	11'232	11'250	11'284	20	11'219	8'178	16'807	89	94	41	46	15	20	107	123	
Mi 16.03.05	09:30	32.39	91.20	109.3	76.7	-	2'852'350	3'412	36'802	2'233'096	11'292	11'974	11'926	3'920	11'277	11'297	11'315	11'348	20	11'284	8'242	16'872	89	94	42	46	15	20	108	123	
Do 24.03.05	09:00	32.55	92.50	115.7	86.9	46.0	2'886'705	3'412	45'633	2'267'966	11'424	12'122	12'074	4'003	11'407	11'426	11'444	11'478	20	11'413	8'372	17'047	90	95	42	46	15	21	109	124	
Do 31.03.05	09:10	30.99	92.69	141.0	87.1	42.4	2'909'092	3'412	51'578	2'292'030	11'509	12'202	12'154	4'059	11'495	11'514	11'532	11'566	20	11'501	8'460	17'176	91	96	43	47	15	21	110	124	
Do 07.04.05	15:30	31.41	91.99	135.8	74.7	-	2'938'750	3'412	59'328	2'322'888	11'627	12'307	12'259	4'132	11'613	11'632	11'632	11'604	20	11'620	8'578	17'361	92	97	43	47	16	21	111	126	
Do 14.04.05	10:00	30.66	92.25	118.1	87.0	4.3	2'965'615	3'412	66'700	2'349'956	11'731	12'399	12'351	4'196	11'716	11'736	11'754	11'788	20	11'723	8'681	17'498	93	97	43	47	16	21	112	126	
Mi 20.04.05	10:00	32.54	92.76	269.6	9.5	64.2	2'997'899	3'412	75'182	2'381'488	11'850	12'504	12'456	4'271	11'856	11'873	11'907	11'907	20	11'843	8'801	17'679	94	98	44	48	16	21	113	127	
Do 28.04.05	13:17	31.95	91.43	139.2	17.9	87.1	3'036'660	3'412	85'377	2'420'646	11'999	12'637	12'589	4'366	11'985	12'005	12'022	12'056	20	11'992	8'950	17'936	94	99	44	48	16	22	114	129	
Mi 04.05.05	07:45	32.17	90.27	185.3	87.0	27.7	3'063'763	3'412	93'047	2'447'522	12'101	12'728	12'680	4'428	12'087	12'107	12'124	12'158	20	12'094	9'052	18'077	95	100	44	49	16	22	115	130	
Do 12.05.05	14:15	33.03	91.28	191.4	4.5	55.8	3'105'445	3'412	4'151	2'490'778	12'264	12'878	12'830	4'537	12'249	12'269	12'286	12'340	20	12'256	9'214	18'332	96	101	45	49	16	22	117	132	
Do 19.05.05	14:10	32.32	93.24	181.6	38.4	-	3'140'379	3'412	14'330	2'528'218	12'405	13'010	12'962	4'624	12'390	12'410	12'427	12'461	20	12'397	9'355	18'515	98	102	46	50	16	22	118	133	
Do 26.05.05	15:00	33.26	91.98	77.7	31.3	-	3'172'475	3'412	22'379	2'562'521	12'540	13'133	13'085	4'707	12'525	12'545	12'563	12'596	20	12'533	9'491	18'713	99	103	46	51	17	23	120	135	
Do 02.06.05	14:15	34.38	92.82	198.7	40.8	-	3'182'603	3'466	24'809	2'576'087	12'586	24	13'114	4'730	12'625	12'591	12'609	12'644	21	12'578	9'537	18'759	99	103	47	51	17	23	120	135	
Do 09.06.05	09:30	32.78	91.52	173.5	10.1	59.4	3'224'722	3'466	35'437	2'614'707	12'740	188	13'278	4'833	12'725	12'745	12'763	12'716	21	12'732	9'691	18'964	101	104	47	51	17	23	122	135	
Fr 17.06.05	09:30	33.09	89.29	141.7	51.0	-	3'259'274	3'466	44'412	2'647'298	12'865	312	13'402	4'915	12'850	12'870	12'888	12'926	21	12'857	9'816	19'146	102	105	48	51	17	23	124	137	
Do 23.06.05	09:00	32.00	92.09	161.9	63.1	12.4	3'288'216	3'466	51'935	2'673'236	12'968	411	13'501	4'981	12'952	12'972	12'990	13'028	21	12'959	9'918	19'278	103	106	48	52	17	23	125	138	
Do 30.06.05	13:50	34.37	93.90	201.3	28.8	-	3'323'292	3'466	60'237	2'700'786	13'078	515	13'605	5'057	13'062	13'083	13'100	13'138	21	13'070	10'028	19'425	104	106	49	52	17	23	126	139	
Do 07.07.05	09:30	32.14	91.47	157.2	1.4	64.0	3'362'175	3'466	69'192	2'732'592	13'196	624	13'714	5'140	13'180	13'201	13'218	13'258	22	13'188	10'146	19'617	105	107	49	52	18	23	127	140	
Do 14.07.05	13:57	32.13	92.08	167.7	18.9	48.4	3'397'305	3'466	79'044	2'765'415	13'327	748	13'838	5'224	13'312	13'332	13'349	13'389	22	13'319	10'278	19'827	105	108	49	53	18	24	128	141	
Do 21.07.05	10:40	32.65	91.93	155.1	57.3	-	3'426'304	3'466	86'720	2'792'886	13'433	849	13'939	5'289	13'417	13'438	13'455	13'708	22	13'425	10'383	19'967	106	109	50	53	18	24	159	142	
Do 28.07.05	09:55	33.65	90.09	175.3	38.6	-	3'451'904	3'466	92'940	2'818'353	13'529	947	14'037	5'352	13'513	13'534	13'551	13'591	22	13'521	10'479	20'063	108	109	51	53	18	24	131	142	
Do 04.08.05	10:00	32.12	92.32	106.5	72.4	4.3	3'483'048	3'466	297	2'847'412	13'640	1'049	14'139	5'422	13'623	13'644	13'661	13'701	22	13'631	10'590	20'203	109	110	51	54	18	24	132	143	
Do 11.08.05	11:00	32.03	91.13	94.5	1.0	-	3'508'670	3'466	6'649	2'873'081	13'735	1'151	14'241	5'489	13'718	13'739	13'756	13'796	22	13'726	10'685	20'299	110	110	52	54	19	24	135	144	
Do 18.08.05	09:00	32.06	91.98	251.2	-	61.0	3'533'746	3'466	13'632	2'898'374	13'830	1'248	14'338	5'556	13'813	13'834	13'851	13'891	22	13'821	10'779	20'420	111	110	52	54	19	24	136	144	
Do 01.09.05	09:00	36.98	92.98	209.3	87.0	41.8	3'585'191	3'972	26'432	2'944'417	14'003	1'423	14'514	5'678	13'986	14'007	14'024	14'069	24	13'994	10'953	20'686	113	113	53	55	19	24	138	147	
Do 08.09.05	10:40	36.20	92.00	164.7	86.7	43.5	3'618'520	3'972	35'810	2'976'902	14'129	1'548	14'639	5'769	14'112	14'133	14'150	14'195	24	14'120	11'078	20'871	114	114	54	56	19	25	139	148	
Do 15.09.05	09:00	37.13	93.64	261.2	11.1	24.4	3'649'101	3'972	43'884	3'007'162	14'244	1'652	14'742	58'757	14'227	14'248	14'265	14'310	24	14'235	11'194	21'042	115	115	54	56	19	25	140	149	
Do 22.09.05	09:50	38.99	92.97	140.6	87.0	17.6	3'686'373	3'972	52'942	3'041'426	14'375	1'783	14'874	5'957	14'358	14'379	14'396	14'440	24	14'366	11'324	21'270	115	117	54	57	19	25	141	152	
Do 29.09.05	15:45	36.65	92.04	199.7	20.2	11.3	3'717'040	3'972	60'477	3'069'284	14'479	1'878	14'969	6'032	14'462	14'493	14'500	14'545	24	14'470	11'429	21'450	116	118	55	58	20	25	142	153	
Do 06.10.05	09:30	36.74	92.39	208.7	13.1	50.6	3'743'974	3'972	67'514	3'095'921	14'581	1'975	15'066	6'106	14'563	14'585	14'602	14'646	24	14'572	11'530	21'610	117	119	55	58	20	26	142	154	
Do 13.10.05	09:00	36.99	92.96	165.1	-	68.7	3'770'065	3'977	74'801	3'123'012	14'688	2'073	15'163	6'172	14'671	14'692	14'709	14'754	24	14'679	11'638	21'774	118	119	55	58	20	26	143	155	
Do 20.10.05	10:10	36.31	90.67	123.2	87.0	4.3	3'797'292	3'972	82'207	3'151'747	14'799	2'173	15'264	6'240	14'781	14'803	14'820	14'864	24	14'790	11'748	21'907	118	120	56	59	20	26	144	156	
Do 27.10.05	10:06	37.95	91.69	136.0	60.2	-	3'823'153	3'972	89'556	3'177'589	14'900	2'269	15'359	6'304	14'882	14'903															

Messprogramm Trocknung ARA Region Bern

Datum	Zeit	Start Trockner	Ende Trockner	Luftvorwärmer			Abwärme BHKW	
				Lastfall Thermoöl- anlage	Temperatur vor Luvo °C	Temperatur nach Luvo °C	Temperatur Rücklauf °C	Temperatur Vorlauf °C
Mi 09.03.05	09:00			3	205	100	154.9	202.6
Do 10.03.05	14:10			3	205	100	153.8	202.1
Fr 11.03.05			02:40					
Mo 14.03.05	11:00	06:30		3	220	105	162.5	208.6
Di 15.03.05	07:00			4	240	115	174.0	218.4
Di 15.03.05	09:30			4	245	120	171.0	217.0
Di 15.03.05	14:20			4	255	120	177.8	221.7
Mi 16.03.05	09:30			4	250	120	171.2	216.1
Do 17.03.05	10:03			4	250	120	169.9	215.1
Fr 18.03.05			16:30					
Mo 21.03.05	10:00	08:00		4	245	120	176.1	221.5
Do 24.03.05	09:00			4	240	115	173.1	218.9
Do 24.03.05			13:40					
Mo 28.03.05	11:30	10:00		4	230	110	170.2	216.5
Do 31.03.05	14:30			4	240	115	169.0	215.6
Sa 02.04.05			00:30					
Mo 04.04.05	11:00	09:00		4	235	110	170.4	216.2
Di 05.04.05	15:00			4	225	105	176.0	221.2
Mi 06.04.05	11:30			4	245	115	177.7	222.8
Do 07.04.05	15:30			4	235	115	174.9	220.2
Fr 08.04.05			23:00					
Mo 11.04.05	12:00	10:00		3	215	105	158.3	206.6
Mo 11.04.05	17:15			4	230	115	169.4	214.9
Di 12.04.05	14:30			3	230	110	170.7	216.3
Do 14.04.05	10:00			4	250	120	175.6	220.9
Sa 16.04.05			08:30					
Mo 18.04.05	11:00	09:30		5	260	125	165.5	211.6
So 24.04.05			10:25					
Mo 25.04.05		10:30		5	240	110	174.1	218.0
Do 28.04.05	13:15			5	250	120	172.6	218.0
Sa 30.04.05			20:00					
Mo 02.05.05		10:30		5	230	110	167.4	213.4
Mo 02.05.05	17:45			5	240	115	167.4	214.2
Di 03.05.05	07:30			5	230	110	165.2	211.2
Mi 04.05.05	07:45			5	230	110	165.2	211.0
Mi 04.05.05	09:15			5	240	115	168.9	213.5
Do 12.05.05	14:00			4	230	110	165.1	211.0
So 15.05.05			08:00					
Mo 16.05.05	11:00	11:00		4	230	110	162.0	202.0
Do 19.05.05			03:49					
Do 19.05.05		05:44						
Do 19.05.05	14:00			4	230	110	166.6	212.3
Fr 20.05.05			04:39					
Fr 20.05.05		08:10		4	230	110		
So 22.05.05			02:25					

		Start Trockner	Ende Trockner	Luftvorwärmer			Abwärme BHKW	
Datum	Zeit			Lastfall Thermoöl- anlage	Temperatur vor Luvo °C	Temperatur nach Luvo °C	Temperatur Rücklauf °C	Temperatur Vorlauf °C
Mo 23.05.05		10:00		5	235	115	168.8	214.2
Do 26.05.05	15:00			5	235	115	168.9	215.1
Fr 27.05.05			14:42					
Mi 01.06.05		14:00		5	235	115	170.1	216.1
Do 02.06.05			02:25					
Do 02.06.05	14:15	06:40		5	245	120	171.6	216.1
Do 09.06.05	09:30			4	245	120	172.2	217.0
Fr 10.06.05			14:45					
Mo 13.06.05		10:15		4	235	115	160.5	206.0
Fr 17.06.05	09:30			4	245	120	177.6	224.5
Sa 18.06.05			15:30					
Mo 20.06.05		10:30		5	250	125	176.5	218.5
Do 23.06.05	09:00			4	245	120	183.8	228.2
Fr 24.06.05			18:30					
Mo 27.06.05		09:00		5	260	130	177.5	215.3
Mi 29.06.05	09:30			5			75.1	77.1
Do 30.06.05	13:50			6	270	130	75.1	77.1
Fr 01.07.05			06:30					
Fr 01.07.05		11:30		6	270	130		
Sa 02.07.05			15:50					
Mo 04.07.05		10:00		5	250	125	34.5	33.1
Mi 06.07.05	08:00			6	270	130	68.9	68.1
Do 07.07.05	09:30			5	260	130	62.8	63.0
Sa 09.07.05			21:15					
Mo 11.07.05		11:30		5	240	115	172.6	219.8
Do 14.07.05	13:57			5	245	120	171.2	218.4
Fr 15.07.05			22:55					
Mo 18.07.05		10:00		5	245	120	172.6	219.0
Do 21.07.05	10:40			5	250	120	170.0	218.0
Fr 22.07.05			11:17					
Mo 25.07.05		10:00		4	245	110	160.0	209.0
Di 26.07.05	13:14			5	250	120	170.2	219.1
Do 28.07.05	09:55			5	250	120	171.6	219.1
Fr 29.07.05			23:08					
Mo 01.08.05		10:45		5	245	120	162.9	209.2
Do 04.08.05	10:00			4	240	120	161.5	210.6
Do 11.08.05	11:00			3	220	110	162.4	211.5
Fr 12.08.05			07:30					
Mo 15.08.05		08:15		5	245	120	163.5	212.8
Di 16.08.05	13:05			5	248	124	172.8	220.2
Do 18.08.05	09:00			4	245	120	171.4	219.3
Do 18.08.05	13:20			5	250	125	174.9	222.1
Fr 19.08.05			13:00					
Fr 26.08.05		16:00		5	250	125		
Mo 29.08.05	07:35			6	240	120	66.5	61.0
Mi 31.08.05	08:00			6	240	120	165.1	214.1
Do 01.09.05	09:00			4	230	110	165.1	214.2

		Start Trockner	Ende Trockner	Luftvorwärmer			Abwärme BHKW	
Datum	Zeit			Lastfall Thermoöl- anlage	Temperatur vor Luvo °C	Temperatur nach Luvo °C	Temperatur Rücklauf °C	Temperatur Vorlauf °C
Sa 03.09.05			12:56					
Mo 05.09.05		09:00		3	225	110	165.1	213.8
Di 06.09.05	09:00			4	245	120	166.5	214.1
Do 08.09.05	10:40			4	250	120	145.3	144.7
Sa 10.09.05			06:10					
Mo 12.09.05		10:30		4	235	115	161.4	207.8
Di 13.09.05	14:00			5	250	125	167.5	167.5
Do 15.09.05	09:00			5	250	125	160.4	159.1
So 18.09.05			04:00					
Mo 19.09.05		10:30		5	250	125	160.4	159.1
Mo 19.09.05			12:30					
Mo 19.09.05		15:00		5	250	125	160.4	159.1
Di 20.09.05			00:00					
Di 20.09.05		06:30		5	240	120	165.5	206.9
Do 22.09.05	09:50			4	230	110	164.0	210.6
Fr 23.09.05			12:20					
Mo 26.09.05		10:30		4	230	115	162.4	199.3
Di 27.09.05	09:15			5	250	120	164.7	202.6
Do 29.09.05	15:45			6	260	130	70.1	70.2
Fr 30.09.05			21:15					
Mo 03.10.05		10:15		4	220	110	160.6	208.2
Do 06.10.05	09:30			4	240	120	167.5	214.4
Fr 07.10.05			21:00					
Mo 10.10.05		11:15		4	240	115	153.7	202.3
Do 13.10.05	09:00			3	230	110	157.0	205.3
Do 13.10.05	15:00			4	240	115	162.0	209.0
Fr 14.10.05			14:10					
Fr 14.10.05		15:00		4	240	115	162.0	209.0
Fr 14.10.05			23:25					
Mo 17.10.05		10:00		4	220	110	155.2	203.5
Di 18.10.05	15:47			4	230	110	155.6	203.8
Mi 19.10.05	06:48			4	240	115	164.2	210.3
Mi 19.10.05	13:56			4	240	110	161.1	209.6
Do 20.10.05	10:10			4	235	115	157.4	206.3
Fr 21.10.05			22:42					
Mo 24.10.05		10:28		4	220	110	155.7	202.8
Mo 24.10.05			12:34					
Mo 24.10.05		14:44		5	240	120	164.1	209.8
Di 25.10.05			00:29					
Di 25.10.05		07:00		5	240	120	167.7	214.7
Mi 26.10.05	15:29			4	220	110	161.6	209.6
Do 27.10.05	10:06			4	220	110	160.7	209.2
Fr 28.10.05			11:00					
Mo 31.10.05		11:00		4	220	110	157.5	204.3
Mi 02.11.05	17:00			4	220	110	160.0	209.0
Do 03.11.05	08:00			4	225	110	164.0	210.0
Fr 04.11.05			23:16					

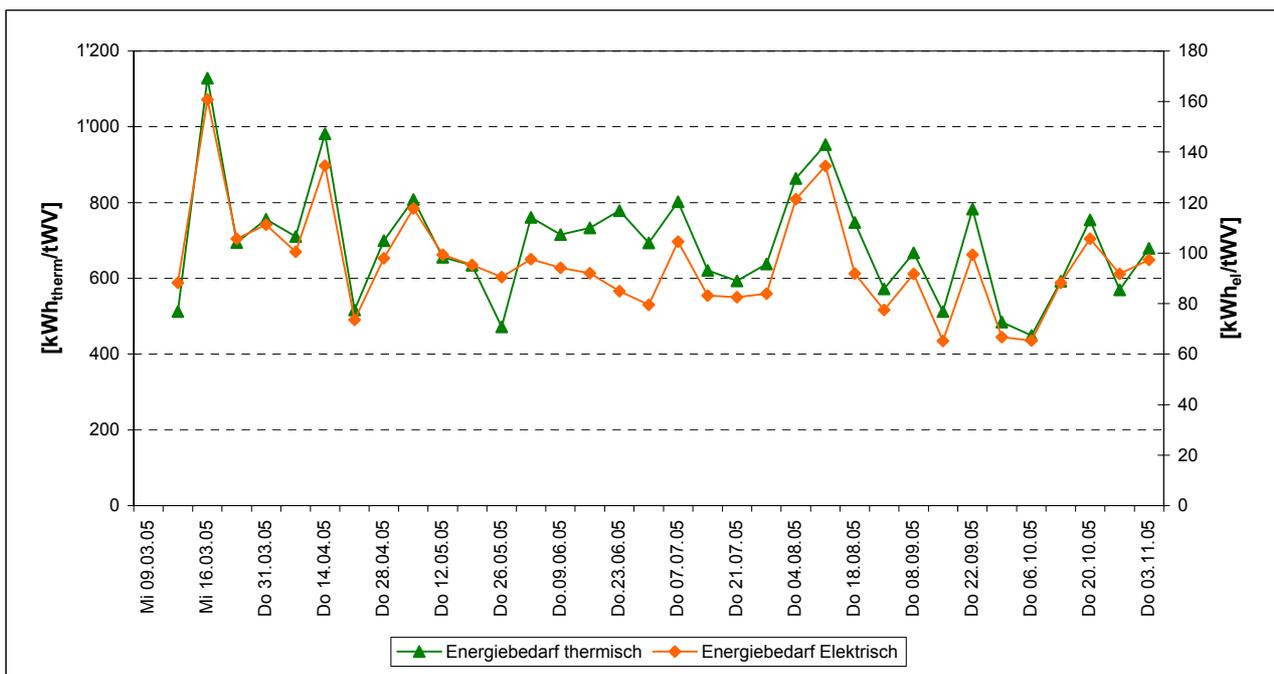
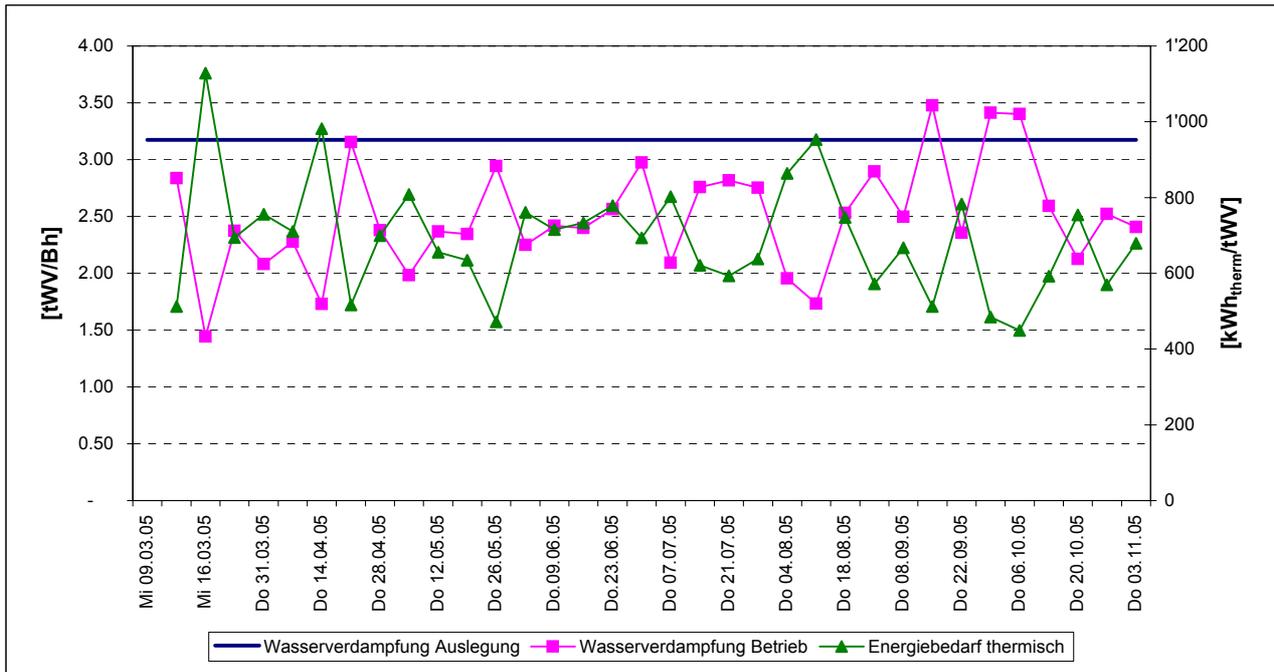
		Start Trockner	Ende Trockner	Luftvorwärmer			Abwärme BHKW	
Datum	Zeit			Lastfall Thermoöl- anlage	Temperatur vor Luvo °C	Temperatur nach Luvo °C	Temperatur Rücklauf °C	Temperatur Vorlauf °C
Mo 07.11.05		13:10		3	215	105	155.5	204.0
Mo 07.11.05			18:55					
Di 08.11.05		08:00		5	240	120	171.2	216.2
Do 10.11.05	09:30			5	255	125	174.6	220.4
Sa 12.11.05			13:30					
Mo 14.11.05		10:00		4	215	105	160.0	207.0
Di 15.11.05	14:00			5	245	120	171.0	215.0
Fr 18.11.05			11:00					
Do 24.11.05	13:30			4	235	110	159.0	206.0
Fr 25.11.05			22:55					
Mo 28.11.05		09:00		4	220	105	152.9	22.7
Di 29.11.05	07:45			5	240	115	163.4	209.7
Mi 30.11.05			14:39					
Mi 30.11.05		15:48						
Do 01.12.05	09:09			5	255	125	168.4	213.3
Sa 03.12.05			02:05	5				
Mo 05.12.05		09:06		4	225	110	158.7	205.8
Di 06.12.05	08:08			5	245	120	163.2	210.0
Do 08.12.05	09:00			5	240	120	164.0	210.1
So 11.12.05			03:11					
Mo 12.12.05		09:41			225	105	156.0	204.0
Di 13.12.05	10:13			5	235	115	157.5	204.9
Do 15.12.05	14:00			5	240	115	162.0	209.0
Sa 17.12.05			07:08					
Mo 19.12.05		09:30		4	225	110	157.0	208.0
Mo 19.12.05			15:50					
Mi 21.12.05		17:11			230	110	163.0	211.0
Do 22.12.05	13:50			5	230	110	162.9	210.0
Sa 24.12.05			02:31					
Sa 24.12.05		04:30						
Mo 26.12.05			04:45					
Mo 26.12.05		09:00		5	230	110	160.0	206.0
Do 29.12.05	15:50			4	240	115	62.0	62.0
Fr 30.12.05			22:55					
Mo 02.01.06		09:20			225	110	162.0	205.0
Do 05.01.06	10:00			5	255	130	59.0	56.0
Sa 07.01.06			05:00					
Mo 09.01.06		10:30		5	245	115	50.0	46.0
Di 10.01.06	10:00			5	250	120	46.0	46.0
Do 12.01.06	07:30			5	250	125	40.0	39.0
Sa 14.01.06			09:40					
Mo 16.01.06		09:30		5	245	120	168.0	223.0
Do 19.01.06	09:00			5	245	120	145.0	197.0
Sa 21.01.06			10:30					
Mo 23.01.06		09:57		4	240	115	48.0	45.9
Di 24.01.06	09:30			4	235	113	51.2	47.9

		Start Trockner	Ende Trockner	Luftvorwärmer			Abwärme BHKW	
				Lastfall Thermoöl- anlage	Temperatur vor Luvo °C	Temperatur nach Luvo °C	Temperatur Rücklauf °C	Temperatur Vorlauf °C
Datum	Zeit							
Fr 27.01.06			20:57					
Mo 30.01.06		08:51		4	220	105	156.0	205.0
Di 31.01.06	07:11			4	225	110	159.0	207.0
Mi 01.02.06	07:42			5	225	110	162.8	208.3
Do 02.02.06	11:25			4	235	115	163.3	213.0

Aggregatliste Trocknung ARA Region Bern

Aggregate, die von der Strommessungen abgezogen werden müssen

	Stroaufnahme
	A
Schlammannahme STD1	
Förderschnecke zu Annahmehunker	6.7
HA Annahmehunker	3.7
Dickschlammpumpe Annahmehunker	34.5
Trockengranulattransport STG2	
Becherwerk zu Vorlage/Förderung	3.6
Förderschnecke Granulatvorlage/Förderband	1.9
Förderschnecke Granulatvorlage	
Granulatförderband	2.1
Becherwerk zu Endprodukt	3.5
Trockner Kühlgaskreislauf	5.0
Verdichter Kühlgaskreislauf	2.0
Silo 1 und 2 STG3	
Förderschnecke für Befüllung Endprodukt	2.5
Verladebalg Granulatsilo 1	0.4
Verladebalg Granulatsilo 2	0.4
Ventilator Verladeluft Silo 1	1.2
Ventilator Verladeluft Silo 2	1.4
Austragshilfe Granulatsilo 1	0.6
Austragshilfe Granulatsilo 2	0.6
Kerzenfilter Endproduktesilo 1	-
Kerzenfilter Endproduktesilo 2	-
Abluft STA	
Ventilator Biofilter BF3	1.6



ANHANG 2.2

MESSDATEN ARA SCHWYZ

Messprogramm Trocknung ARA Schwyz

Datum	Schlamm- menge flüssig m3	TR-Gehalt vor Ent- wässerung % TS	TR-Gehalt nach Ent- wässerung % TS	TR-Gehalt nach Trocknung % TS	Granulat t	Füllstand Granulat- silo m3	BHKW 60 kW _{el}			BHKW 100 kW _{el}			Heizöl- verbrauch l	Strom- verbrauch Trocknung kWh/d	Trogketten- förderer Bh/d	Ventilator Silo Bh/d	Austrags- schleuse Bh/d	Trog- schnecke Bh/d	Frischluf- betrieb Bh/d	Umluf- betrieb Bh/d	Sollwert delta x g/kg	Frequenz Venti Umluft %	Frequenz Venti Frischluf %	Frischluf		
							Leistungs- punkt Niederlast kWh	Leistungs- punkt Hochlast kWh	Strom- produktion kWh	Leistungs- punkt Niederlast kWh	Leistungs- punkt Hochlast kWh	Strom- produktion kWh _{el}												Tem- peratur °C	Feuchte %	
Di 01.03.05	29	3.5	24.5	88.1		34	65	75		65	75	1'700	400	229	20.9	7.4	7.4			23.5	3.5	60	60	-3.8	50.1	
Mi 02.03.05	33	3.5	26.5	88.2		39	65	75		65	75	1'709	400	201	19.8	7.7	7.7			24.0				-0.7	47.4	
Do 03.03.05	55	3.5	26.4	90.1		44	65	75		65	75	1'698	300	228	21.8	8.3	8.3			23.3				0.9	51.0	
Fr 04.03.05	46	3.4	26.6	88.5		49	65	75		65	75	1'690	500	225	22.5	8.5	8.5			23.2				2.8	53.6	
Sa 05.03.05	47	3.8	25.7	92.1		53	65	75		65	75	1'708	200	225	21.5	6.8	6.9			23.0				1.2	72.3	
So 06.03.05	36	4.3	25.9	88.1		57	65	75		65	75	1'709	500	229	23.2	7.9	7.9			23.8				-0.8	64.1	
Mo 07.03.05	26	4.0	25.8	88.8		62	55	65		55	65	1'621	200	235	23.0	8.7	8.7			23.8				0.1	54.6	
Di 08.03.05	53	3.8	26.6	88.7	18.68	65	55	65		55	65	1'455	400	230	22.0	8.3	8.3	0.63		23.6				2.9	68.3	
Mi 09.03.05	51	3.3	26.3	88.4		26	55	65		55	65	1'385	300	220	21.4	7.8	7.9			22.3				3.9	68.5	
Do 10.03.05	53	2.7	26.4	88.5		29	55	65		55	65	1'298	400	234	23.4	8.3	8.4			23.8				4.1	54.1	
Fr 11.03.05	55	3.2	26.8	88.8		33	55	65		55	65	1'467	400	161	15.1	6.2	6.3			23.7				6.6	48.5	
Sa 12.03.05	35	3.2	26.7	89.4		37	60	70		60	70	1'571	300	203	21.0	8.0	8.1			23.6				5.5	59.0	
So 13.03.05	42	3.3	26.4	88.6		43	60	70		60	70	1'588	400	229	23.8	9.0	9.0			23.9				4.0	58.6	
Mo 14.03.05	43	3.4	25.9	89.3		43	60	70		60	70	1'577	350	229	23.3	8.1	8.1			23.6				7.2	55.3	
Di 15.03.05	53	3.4	26.1	89.7		47	58	62		60	70	1'582	350	231	23.7	9.4	9.4			24.0				9.1	56.5	
Mi 16.03.05	49	3.4	25.9	88.4	19.08	22	58	62		60	70	1'407	200	232	22.3	8.7	8.7	0.64	1.7	21.4				9.9	50.5	
Do 17.03.05	47	3.4	26.7	90.5		22	58	62	63	60	70	1'150	300	230	22.7	8.8	8.8			3.7				11.7	49.6	
Fr 18.03.05	59	3.3	26.5	91.6		22	58	62	933	60	70	728	300	199	16.5	5.6	5.6			3.0				12.0	52.4	
Sa 19.03.05	27	3.3	24.7	91.3		22	58	62	1'447	60	70	460	400	226	22.3	8.3	8.4			3.8				13.0	52.8	
So 20.03.05	42	3.3	26.1	91.1		22	58	62	1'448	55	65	633	200	218	21.8	6.2	6.2			24.0				13.1	60.4	
Mo 21.03.05	63	3.3	27.4	92.5		22	58	62	1'432	55	65	584	200	210	18.0	5.9	5.9			22.6				11.4	62.4	
Di 22.03.05	49	3.3	27.5	90.0		25	58	62	1'448	55	65	566	500	236	22.5	11.1	11.1			23.6				12.5	64.9	
Mi 23.03.05	52	3.3	27.6	90.4		33	58	62	1'344	55	65	582	200	229	22.3	8.9	8.9			23.3				13.8	60.1	
Do 24.03.05	51	3.2	27.7	88.7		38	58	62	1'290	55	65	388	300	231	23.6	8.6	8.6			24.0				15.0	61.7	
Fr 25.03.05	63	3.2	26.9	89.4		43	58	62	1'447	55	65	563	300	228	23.2	9.1	9.1			23.6				12.5	64.3	
Sa 26.03.05	56	3.1	27.0	90.5		48	58	62	1'387	55	65	646	300	217	22.8	9.0	9.0			23.0				14.1	60.1	
So 27.03.05	63	3.1	26.8	89.3		54	58	62	1'067	55	65	684	400	227	23.0	8.6	8.7			23.6				11.3	75.0	
Mo 28.03.05	62	3.1	27.3	89.9		58	58	62	1'420	55	65	755	100	229	22.6	9.0	9.1			23.6				12.9	63.2	
Di 29.03.05	60	3.1	27.3	89.0		22	58	62	1'448	55	65	689	100	229	22.7	9.4	9.4	0.65		23.5				13.0	66.3	
Mi 30.03.05	52	3.1	27.0	89.0	18.90	22	58	62	1'158	55	65	944	300	230	23.2	9.1	9.1			23.5				10.7	72.8	
Do 31.03.05	63	3.2	26.9	89.8		23	58	62	1'421	55	65	775	400	227	22.9	8.8	8.8			23.6				10.9	68.3	
Fr 01.04.05	56	3.1	27.4	90.3		29	58	62	1'449	55	65	501	400	230	23.6	9.1	9.1			24.0	3.5	60	60	10.5	65.2	
Sa 02.04.05	64	3.2	26.7	90.6		35	58	62	1'398	55	65	522	300	234	22.8	9.2	9.2			9.1	14.5	3.5	60	60	13.5	32.3
So 03.04.05	63	3.0	26.9	91.2		40	58	62	1'390	55	65	521	250	236	22.9	9.6	9.6			9.0	14.7	3.5	60	60	12.8	30.1
Mo 04.04.05	44	3.0	26.8	90.7		46	58	62	1'381	55	65	683	350	224	20.9	8.8	8.8			4.0	20.0	3.5	60	60	12.6	38.1
Di 05.04.05	35	3.0	26.8	93.5		50	58	62	1'449	55	65	844	200	209	16.5	4.8	4.8			0.8	23.1	3.5	60	60	13.1	50.4
Mi 06.04.05	104	3.0	27.5	92.7		22	58	62	341	55	65	1'452	288	227	19.4	9.5	9.5	0.74	2.5	21.3	3.5	60	60	15.4	46.9	
Do 07.04.05	63	3.0	27.3	89.3		22	58	62		55	65	1'471	200	233	22.2	8.4	8.4			23.3	3.5	60	60	13.0	65.6	
Fr 08.04.05	40	3.0	27.2	88.7		22	58	62		55	65	1'459	300	235	23.5	9.1	9.1			23.9	3.5	60	60	7.8	72.0	
Sa 09.04.05	69	3.0	26.4	89.7	18.88	22	58	62		55	65	1'145	300	235	22.8	9.1	9.1			23.7	3.5	60	60	3.5	75.1	
So 10.04.05	68	3.0	26.4	88.2		23	58	62		75	85	1'803	200	234	23.6	8.8	8.9			24.0	3.5	60	60	6.8	56.6	
Mo 11.04.05	61	3.1	27.2	89.2		29	58	62	865	75	85	616	200	241	23.4	9.5	9.6			23.8	3.5	60	60	8.6	56.5	
Di 12.04.05	59	3.3	27.3	89.5		35	58	62	1'378	55	65	493	200	235	23.2	8.2	8.2			23.8	3.5	60	60	9.5	62.9	
Mi 13.04.05	63	3.3	26.9	88.6		39	58	62	1'374	55	65	623	400	237	22.7	9.9	9.9			23.7	3.5	60	60	10.6	63.0	
Do 14.04.05	74	3.2	27.4	90.3		45	58	62	1'437	55	65	779	200	227	22.4	10.1	10.1			0.5	22.9	3.5	60	60	13.1	55.0
Fr 15.04.05	100	2.7	26.6	91.1		51	58	62	1'448	55	65	814	200	226	23.4	9.1	9.1			5.5	18.5	3.5	60	60	14.0	51.8
Sa 16.04.05	68	2.6	26.8	88.2		56	58	62	1'425	55	65	571	400	227	23.7	8.8	8.8			24.0	3.5	60	60	10.1	68.4	
So 17.04.05	56	2.9	26.9	88.3		61	58	62	1'449	55	65	536	400	230	22.9	9.0	9.0			23.7	3.5	60	60	8.4	71.2	
Mo 18.04.05	61	2.9	26.7	88.9	18.90	22	58	62	1'449	55	65	578	200	228	23.2	8.2	8.3	0.69		23.6	3.5	60	60	10.2	74.7	
Di 19.04.05	67	2.9	27.0	91.1		22	58	62	1'448	55	65	654	300	229	23.1	9.1	9.1			23.8	3.5	60	60	9.2	73.7	
Mi 20.04.05	69	2.9	27.0	90.1		26	58	62	1'449	55	65	575	300	228	22.4	8.2	8.2			23.4	3.5	60	60	7.2	78.1	
Do 21.04.05	75	2.9	26.8	88.0		32	58	62	1'091	55	65	787	300	231	21.6	9.0	9.0			23.2	3.5	60	60	8.7	65.8	
Fr 22.04.05	70	2.9	27.3	89.9		38	58	62	1'361	55	65	534	400	237	23.5	9.4	9.5			23.8	3.5	60	60	10.8	53.1	
Sa 23.04.05	68	2.9	27.5	89.3		43	58	62	1'449	55	65	711	500	234	22.9	9.6	9.5			0.5	23.1	3.5	60	60	12.7	63.1
So 24.04.05	49	2.8	27.1	89.3		48	58	62	1'430	55	65	565	500	229	23.2	8.2	8.3			23.6	3.5	60	60	13.4	69.8	
Mo 25.04.05	68	2.9	27.7	89.4		53	58	62	1'449	55	65	624	200	226	22.6	9.4	9.4			23.8	3.5	60	60	11.5	74.8	
Di 26.04.05	74	2.8	27.6	90.1		59	58	62	1'386	55	65	473	300	229	23.4	9.3	9.2			1.5	22.5					

Messprogr.

Datum	Abluft		Umluft		Zeit	Wärme- zähler Schlamm- erwärmung Zähler MWh	Wärme- zähler Trocknung Zähler MWh	Wärme- zähler Heizung BG Zähler MWh	Wärme- zähler Heizung Neubau Zähler MWh
	Tem- peratur	Feuchte	Tem- peratur	Feuchte					
	°C	%	°C	%					
Di 01.03.05	19.7	54.3	29.0	24.6	7.30				
Mi 02.03.05	19.4	62.2	28.3	31.6	7.30				
Do 03.03.05	22.3	54.5	32.2	23.6	7.30				
Fr 04.03.05	22.9	56.5	33.1	24.5	17.30				
Sa 05.03.05	23.5	54.9	33.1	25.3	7.30	0.185	0.346	0.022	0.046
So 06.03.05	22.0	58.5	31.9	25.8	8.30	0.487	0.923	0.058	0.129
Mo 07.03.05	21.1	62.0	31.0	27.1	7.30	0.777	1.488	0.092	0.212
Di 08.03.05	24.3	52.4	34.7	23.5	7.30	1.808	3.671	0.138	0.152
Mi 09.03.05	24.1	55.7	34.6	24.9	9.00	4.836	9.476	0.292	0.292
Do 10.03.05	23.6	54.5	34.2	23.7	7.30	7.253	14.560	0.481	0.383
Fr 11.03.05	24.0	43.0	31.9	26.2	7.30	9.199	19.969	0.678	0.477
Sa 12.03.05	26.0	47.0	36.3	22.2	7.30	12.341	23.757	0.914	0.580
So 13.03.05	24.5	54.0	35.5	22.9	8.00	13.964	29.228	1.134	0.682
Mo 14.03.05	25.6	49.7	36.1	21.5	8.00	16.738	34.741	1.332	0.774
Di 15.03.05	26.3	51.5	36.8	22.6	8.00	19.527	40.138	1.528	0.863
Mi 16.03.05	26.8	48.4	37.5	20.8	7.30	22.221	45.347	1.528	0.934
Do 17.03.05	27.0	46.9	37.7	20.5	8.00	23.330	50.834	1.528	1.009
Fr 18.03.05	31.8	34.9	40.8	17.2	7.30	26.128	55.952	1.528	1.009
Sa 19.03.05	28.5	45.7	39.0	20.7	7.30	27.961	61.013	1.528	1.009
So 20.03.05	31.9	38.5	41.1	19.7	7.30	30.654	66.066	1.528	1.009
Mo 21.03.05	33.6	31.7	41.4	17.4	8.00	32.127	71.206	1.528	1.009
Di 22.03.05	28.1	55.0	38.4	25.4	7.30	34.895	75.968	1.528	1.009
Mi 23.03.05	29.1	51.8	39.5	23.8	7.15	37.458	80.926	1.528	1.009
Do 24.03.05	27.2	55.3	36.2	28.9	7.45	38.963	86.165	1.528	1.009
Fr 25.03.05	28.6	50.8	38.4	24.2	9.30	41.177	90.881	1.528	1.009
Sa 26.03.05	28.8	52.9	39.1	24.2	7.45	43.584	95.486	1.528	1.009
So 27.03.05	28.2	54.9	37.5	27.4	9.40	46.533	100.742	1.528	1.009
Mo 28.03.05	29.0	50.6	38.7	24.2	9.10	49.158	105.729	1.528	1.009
Di 29.03.05	29.7	51.6	39.6	24.5	8.00	51.880	110.519	1.528	1.009
Mi 30.03.05	27.9	55.2	37.5	26.3	8.20	52.929	115.905	1.528	1.009
Do 31.03.05	28.3	50.6	37.5	24.8	7.15	55.560	120.886	1.528	1.009
Fr 01.04.05	27.2	54.0	36.5	26.5	7.40	58.316	126.071	1.528	1.013
Sa 02.04.05	25.4	46.7	35.8	18.6	7.35	60.925	131.056	1.528	1.013
So 03.04.05	25.5	45.3	35.7	18.4	8.20	62.535	136.273	1.528	1.013
Mo 04.04.05	27.1	44.1	36.7	19.4	8.05	65.027	141.295	1.528	1.013
Di 05.04.05	33.1	30.9	40.0	17.2	7.50	67.762	146.128	1.528	1.013
Mi 06.04.05	31.7	39.0	40.5	18.3	7.30	70.576	150.772	1.528	1.013
Do 07.04.05	27.7	54.6	36.1	27.5	7.30	71.955	155.884	1.528	1.013
Fr 08.04.05	25.9	56.7	34.3	28.1	8.40	75.027	161.040	1.528	1.014
Sa 09.04.05	24.3	56.9	32.3	29.8	7.20	77.712	165.819	1.528	1.014
So 10.04.05	25.3	51.9	33.8	24.6	7.45	80.401	171.007	1.528	1.015
Mo 11.04.05	24.0	55.9	32.1	27.1	8.25	83.374	176.521	1.528	1.015
Di 12.04.05	25.2	55.2	33.5	26.8	7.40	85.640	181.335	1.528	1.015
Mi 13.04.05	25.9	57.1	34.1	28.7	7.45	86.623	186.476	1.528	1.016
Do 14.04.05	28.1	51.4	37.6	24.2	7.30	89.321	191.308	1.528	1.016
Fr 15.04.05	28.3	46.4	37.6	21.6	8.15	90.898	196.574	1.528	1.017
Sa 16.04.05	27.5	52.8	36.0	27.1	7.20	92.556	201.329	1.528	1.017
So 17.04.05	26.5	55.1	34.9	28.0	9.30	96.339	206.826	1.528	1.017
Mo 18.04.05	26.8	56.4	35.6	28.7	8.30	98.730	211.622	1.528	1.017
Di 19.04.05	26.2	56.6	34.6	28.9	7.40	101.381	216.302	1.528	1.017
Mi 20.04.05	25.2	58.1	33.6	29.6	7.30	104.146	221.282	1.528	1.018
Do 21.04.05	26.3	56.9	34.5	28.7	7.30	106.870	226.316	1.528	1.018
Fr 22.04.05	26.2	54.9	34.1	27.6	7.30	107.800	231.570	1.528	1.018
Sa 23.04.05	28.0	54.3	35.9	28.1	7.30	110.366	236.430	1.528	1.018
So 24.04.05	28.9	53.2	36.4	29.2	9.40	111.993	241.935	1.528	1.019
Mo 25.04.05	29.0	50.3	37.7	26.3	8.10	114.473	246.266	1.528	1.019
Di 26.04.05	29.6	47.4	39.1	23.4	7.40	117.106	250.957	1.528	1.019
Mi 27.04.05	29.1	53.5	38.4	27.5	7.40	119.794	255.668	1.528	1.020
Do 28.04.05	30.8	50.6	40.5	25.9	8.00	120.540	260.538	1.528	1.020
Fr 29.04.05	30.5	49.6	40.3	24.3	7.30	120.651	265.160	1.528	1.020
Sa 30.04.05	31.5	46.9	42.1	21.5	7.45	120.755	269.986	1.528	1.021

Datum	Schlamm- menge flüssig m3	TR-Gehalt vor Ent- wässerung % TS	TR-Gehalt nach Ent- wässerung % TS	TR-Gehalt nach Trocknung % TS	Granulat t	Füllstand Granulat- silo m3	BHKW 60 kW _{el}			BHKW 100 kW _{el}			Heizöl- verbrauch l	Strom- verbrauch Trocknung kWh/d	Trogketten- förderer Bh/d	Ventilator Silo Bh/d	Austrags- schleuse Bh/d	Trog- schnecke Bh/d	Frischluf- betrieb Bh/d	Umluf- betrieb Bh/d	Sollwert delta x g/kg	Frequenz Venti Umluft %	Frequenz Venti Frischluf %	Frischluf	
							Leistungs- punkt Niederlast kWh	Leistungs- punkt Hochlast kWh	Strom- produktion kWh	Leistungs- punkt Niederlast kWh	Leistungs- punkt Hochlast kWh	Strom- produktion kWh _{el}												Tem- peratur °C	Feuchte %
So 01.05.05	105	2.8	28.0	90.2		34	58	62	1'236	55	65	207	400	238	22.9	10.3	10.3		6.0	17.7	3.5	60	60	20.5	47.8
Mo 02.05.05	47	2.9	27.4	90.8		40	58	62	1'448	55	65	320	400	233	23.3	9.9	9.9		7.4	16.5	3.5	60	60	21.1	50.9
Di 03.05.05	68	2.9	27.8	89.1		46	58	62	1'448	55	65	329	400	233	23.8	9.4	9.3			23.9	3.5	60	60	15.2	77.1
Mi 04.05.05	45	2.9	28.0	90.5		22	58	62	1'238	55	65	493	300	190	18.9	6.7	6.7	0.73		23.4	3.5	60	60	13.3	71.0
Do 05.05.05	90	2.9	27.7	89.8		22	58	62	239	55	65	1'468	300	237	22.6	9.6	9.6			23.8	3.5	60	60	11.0	77.3
Fr 06.05.05	49	3.0	27.8	90.5	18.80	22	58	62		55	65	1'468	200	237	23.8	10.2	10.2			23.9	3.5	60	60	10.3	76.8
Sa 07.05.05	70	3.0	27.5	90.3		22	58	62		55	65	1'458	400	236	22.3	9.7	9.8			23.6	3.5	60	60	10.3	75.7
So 08.05.05	71	2.9	27.8	90.7		22	58	62		55	65	1'069	100	237	23.7	9.4	9.4			23.9	3.5	60	60	11.5	58.0
Mo 09.05.05	76	2.9	27.8	90.2		27	58	62		55	65	906	100	238	23.9	9.0	9.0			24.0	3.5	60	60	9.3	71.4
Di 10.05.05	60	3.0	27.8	90.8		33	58	62		55	65	1'070	200	233	22.8	8.0	8.0			23.4	3.5	60	60	9.5	73.8
Mi 11.05.05	79	3.0	28.2	92.5		38	58	62		55	65	1'052	300	234	23.6	8.5	8.5			23.8	3.5	60	60	11.5	56.8
Do 12.05.05	70	3.0	27.8	90.4		42	58	62		55	65	1'296	400	232	23.2	9.4	9.4			23.9	3.5	60	60	13.4	59.4
Fr 13.05.05	42	3.0	27.1	90.9		22	58	62		55	65	740	300	235	23.7	9.4	9.4	0.74	0.8	23.2	3.5	60	60	16.9	48.4
Sa 14.05.05	71	2.9	27.7	91.7		22	58	62		55	65	1'071	300	236	23.6	9.6	9.6			23.8	3.5	60	60	14.6	71.0
So 15.05.05	69	2.9	27.5	90.4		22	58	62		55	65	1'299	300	235	21.9	8.9	8.9			23.2	3.5	60	60	15.1	66.0
Mo 16.05.05	65	2.9	28.1	90.6		22	58	62		55	65	1'468	100	234	22.5	8.6	8.7			23.4	3.5	60	60	11.1	78.8
Di 17.05.05	64	3.2	27.9	91.7	18.82	22	58	62	246	55	65	1'461	100	236	23.3	9.8	9.8			23.8	3.5	60	60	15.2	59.8
Mi 18.05.05	71	3.0	28.4	89.6		25	58	62		55	65	1'469	100	240	23.6	9.6	9.6			23.9	3.5	60	60	10.5	78.6
Do 19.05.05	75	2.9	27.9	89.8		32	58	62		55	65	1'468	100	238	23.0	9.3	9.3			23.7	3.5	60	60	13.2	66.4
Fr 20.05.05	68	2.9	29.0	91.6		37	58	62		55	65	1'468	300	228	22.3	9.9	9.9		4.4	19.3	3.5	60	60	18.2	54.0
Sa 21.05.05	67	2.9	29.0	92.3		42	58	62		55	65	1'326	200	120	12.0	5.0	5.0			12.2	3.5	60	60	19.3	59.8
So 22.05.05	68	2.9	28.4	91.4		44	58	62		55	65	1'469	200	213	20.8	9.0	9.0			21.4	3.5	60	60	15.9	71.6
Mo 23.05.05	38	2.9	28.8	90.0		50	58	62		55	65	1'380	300	235	23.3	9.7	9.7			23.9	3.5	60	60	11.7	78.2
Di 24.05.05	72	2.9	29.5	91.4		56	58	62		55	65	1'469	300	230	23.2	9.8	9.8			24.0	3.5	60	60	15.3	64.5
Mi 25.05.05	100	2.9	28.8	91.4		22	58	62		55	65	1'468	300	234	22.1	9.6	9.7	0.74	4.4	19.1	3.5	60	60	18.3	58.9
Do 26.05.05	64	2.9	28.8	90.6		22	58	62		55	65	1'466	100	233	23.7	10.6	10.6		5.5	18.5	3.5	60	60	20.6	57.7
Fr 27.05.05	67	2.9	28.3	93.2	19.30	22	58	62	106	55	65	1'125	100	235	23.1	10.9	10.8		5.1	18.7	3.5	60	60	22.6	52.0
Sa 28.05.05	68	2.9	27.5	90.3		29	58	62		55	65	1'289	100	233	23.7	9.4	9.4		6.0	17.9	3.5	60	60	23.0	55.7
So 29.05.05	77	2.9	28.3	91.7		34	58	62		55	65	1'268	200	232	21.1	8.9	9.0		5.7	17.0	3.5	60	60	23.2	54.2
Mo 30.05.05	70	2.9	28.2	91.5		40	58	62	1'223	55	65	115	300	228	22.6	8.7	8.7		1.7	22.0	3.5	60	60	18.1	66.3
Di 31.05.05	70	2.9	28.3	92.7		45	58	62	1'399	55	65	407	300	228	23.3	8.7	8.7			23.7	3.5	60	60	17.5	53.6
Mi 01.06.05	74	2.9	28.7	92.8		50	58	62	1'448	55	65	599	200	229	23.2	9.7	9.7		0.5	23.2	3.5	60	60	17.8	55.2
Do 02.06.05	69	3.0	29.0	92.5		55	58	62	1'406	55	65	436	300	225	22.3	8.5	8.5		4.0	19.4	3.5	60	60	19.0	55.3
Fr 03.06.05	71	3.0	29.4	93.1		22	58	62	1'272	55	65	501	100	151	14.3	6.8	6.8	0.74	5.5	17.9	3.5	60	60	22.5	55.1
Sa 04.06.05	73	2.9	27.9	91.6		22	58	62	1'449	55	65	589	100	224	22.1	8.9	8.9			23.6	3.5	60	60	17.6	67.2
So 05.06.05	68	2.9	30.0	92.3		22	58	62	1'448	55	65	536	300	231	23.4	9.2	9.2			23.9	3.5	60	60	17.6	55.5
Mo 06.06.05	42	2.9	29.9	90.7	19.52	24	58	62	1'330	55	65	407	160	234	23.6	9.7	9.7			23.9	3.5	60	60	15.1	74.0
Di 07.06.05	72	3.1	29.7	91.8		31	58	62	1'386	55	65	612	200	235	22.8	8.8	8.8			23.2	3.5	60	60	14.0	55.5
Mi 08.06.05	62	3.1	27.9	92.0		37	58	62	1'449	55	65	264	400	220	20.7	7.2	7.2		1.8	21.3	3.5	60	60	14.1	47.5
Do 09.06.05	68	3.1	29.0	92.8		41	58	62	384	55	65	1'429	100	235	23.0	10.7	10.8		2.2	21.7	3.5	60	60	13.4	47.4
Fr 10.06.05	65	3.0	28.8	91.0		48	58	62	433	55	65	944	400	230	22.6	8.5	8.5		2.9	20.7	3.5	60	60	14.4	51.1
Sa 11.06.05	38	3.0	28.9	90.5		52	58	62		55	65	1'232	200	208	21.3	8.3	8.3		4.3	19.8	3.5	60	60	17.8	50.5
So 12.06.05	75	3.0	29.2	92.4		57	58	62	914	55	65	161	300	190	19.1	6.4	6.4			20.1	3.5	60	60	18.6	63.1
Mo 13.06.05	63	3.1	28.9	91.6		22	58	62	1'448	55	65	485	100	224	23.2	9.1	9.1	0.74	1.0	23.0	3.5	60	60	19.3	63.7
Di 14.06.05	67	3.0	29.0	90.3	19.76	22	58	62	1'379	55	65	521	300	227	23.0	9.3	9.3			24.0	3.5	60	60	17.4	75.0
Mi 15.06.05	64	3.1	28.2	92.3		22	58	62	1'311	55	65	385	100	227	23.2	9.2	9.2			23.9	3.5	60	60	18.7	66.5
Do 16.06.05	37	3.5	28.8	93.1		26	58	62	1'209	55	65	780	200	230	23.6	9.8	9.8		0.5	23.5	3.5	60	60	20.6	60.9
Fr 17.06.05	92	3.2	28.2	91.9		33	58	62	1'414	55	65	537	100	232	23.7	9.7	9.7		0.5	23.5	3.5	60	60	21.8	62.0
Sa 18.06.05	45	3.2	28.1	91.9		39	58	62	1'448	55	65	564	200	233	23.4	9.7	9.9		0.5	23.5	3.5	60	60	22.8	62.2
So 19.06.05	71	3.2	28.7	92.6		44	58	62	868	55	65	1'006	100	231	23.5	9.8	9.7		4.3	19.8	3.5	60	60	22.4	59.2
Mo 20.06.05	62	3.1	28.5	89.8		22	58	62	1'338	55	65	386	200	231	22.8	9.5	9.5	0.69	5.0	19.0	3.5	60	60	22.3	58.0
Di 21.06.05	60	3.2	28.8	91.7	19.52	22	58	62	1'375	55	65	426	200	230	23.2	9.1	9.1		6.2	17.8	3.5	60	60	23.4	52.7
Mi 22.06.05	58	3.4	28.8	91.8		22	58	62	1'157	55	65	394	100	220	18.8	7.4	7.5		9.3	10.3	3.5	60	60	23.6	52.9
Do 23.06.05	50	3.4	28.8	92.7		22	58	62	938	55	65	361	100	210	20.3	8.0	8.0		3.3	17.8	3.5	60	60	23.8	60.1
Fr 24.06.05	57	3.3	28.4	91.5		22	58	62	158	55	65	1'352	100	236	23.6	9.6	9.6		6.8	17.2	3.5	60	60	24.5	58.1
Sa 25.06.05	64	3.3	28.8	91.1		2																			

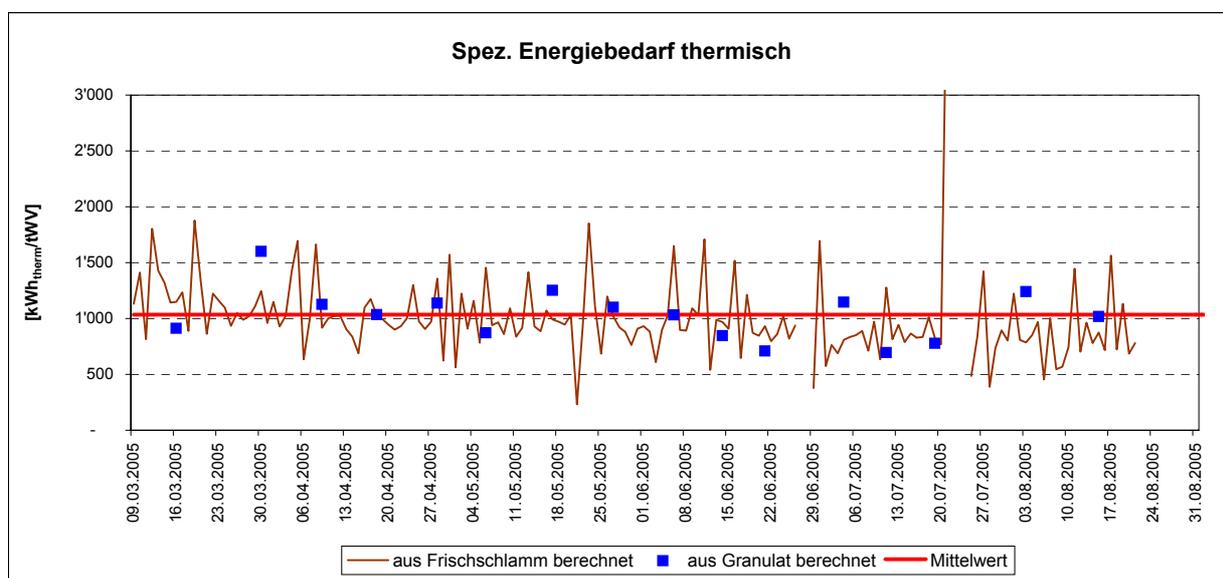
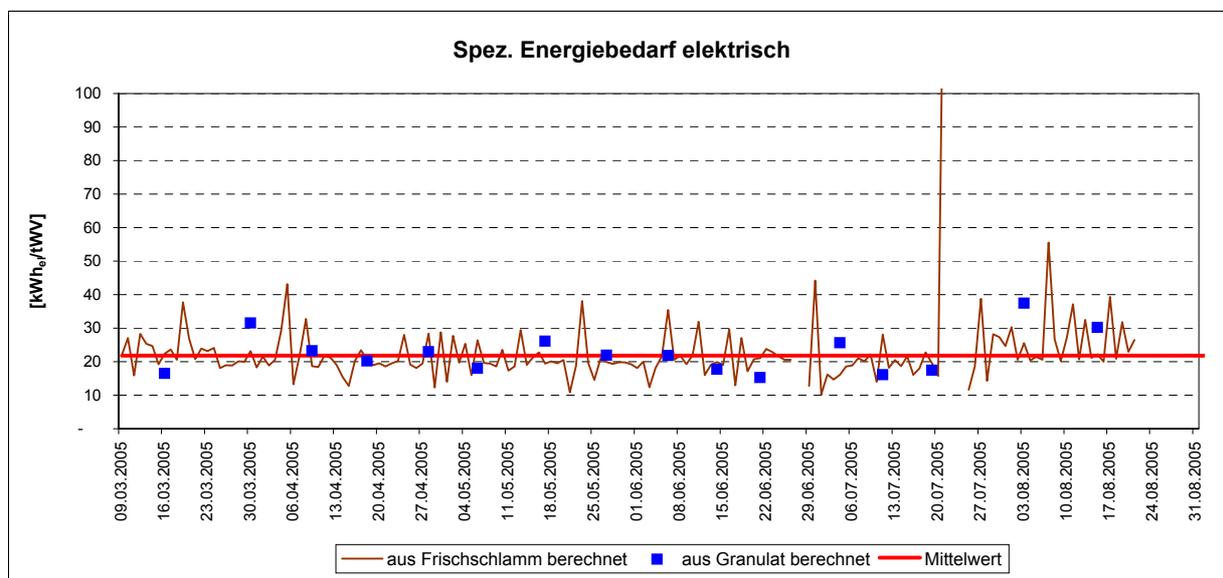
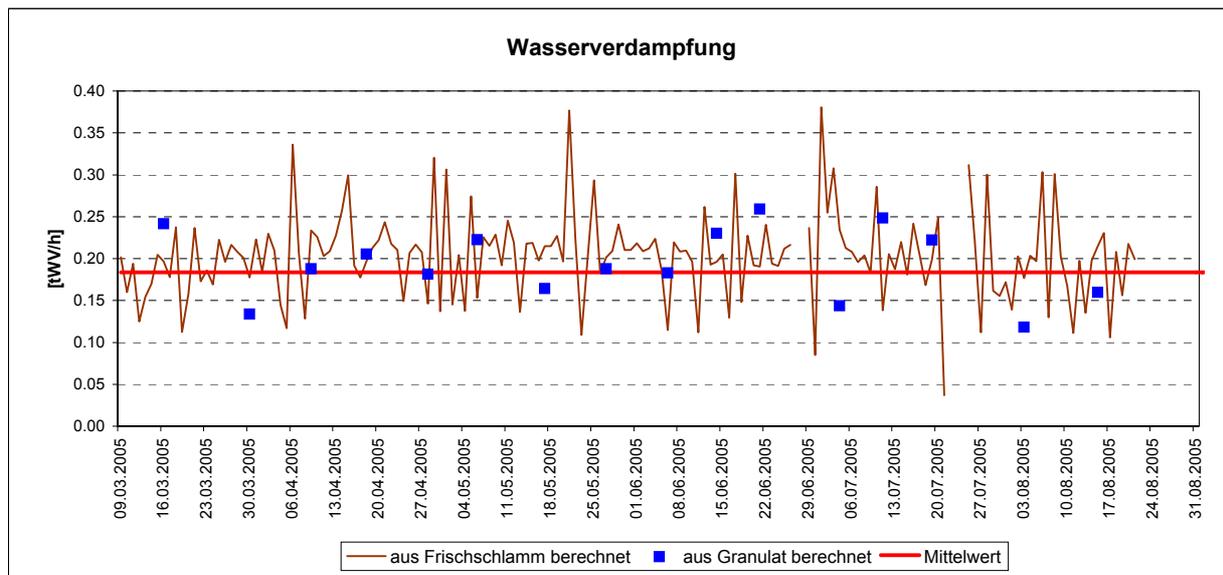
Datum	Abluft		Umluft		Zeit	Wärme- zähler Schlamm- erwärmung Zähler MWh	Wärme- zähler Trocknung Zähler MWh	Wärme- zähler Heizung BG Zähler MWh	Wärme- zähler Heizung Neubau Zähler MWh
	Tem- peratur °C	Feuchte %	Tem- peratur °C	Feuchte %					
So 01.05.05	30.9	46.3	40.1	23.5	8.30	120.903	275.245	1.528	1.021
Mo 02.05.05	30.2	49.6	39.7	24.8	8.40	123.842	279.407	1.528	1.021
Di 03.05.05	29.9	56.3	38.3	30.8	7.50	126.738	283.510	1.528	1.021
Mi 04.05.05	29.3	50.9	36.4	31.0	7.50	129.676	287.967	1.528	1.021
Do 05.05.05	28.6	53.3	36.6	27.7	8.30	132.749	291.855	1.528	1.021
Fr 06.05.05	28.6	53.0	37.1	26.7	7.25	135.853	296.697	1.528	1.021
Sa 07.05.05	27.9	54.1	36.1	27.7	7.30	137.033	302.058	1.528	1.021
So 08.05.05	27.3	52.2	35.8	25.9	7.30	139.847	307.138	1.528	1.022
Mo 09.05.05	26.0	56.2	33.7	30.4	8.05	141.040	312.204	1.528	1.023
Di 10.05.05	26.2	56.7	34.5	29.3	7.40	143.672	316.789	1.528	1.023
Mi 11.05.05	28.0	47.6	36.2	24.7	7.15	144.891	321.685	1.528	1.023
Do 12.05.05	27.4	53.1	35.7	27.2	8.05	146.695	326.722	1.528	1.024
Fr 13.05.05	27.8	54.3	36.3	28.2	7.35	148.421	331.409	1.528	1.024
Sa 14.05.05	29.3	53.4	36.8	30.0	7.20	149.271	335.925	1.528	1.024
So 15.05.05	28.8	52.9	35.7	30.0	8.40	150.525	341.024	1.528	1.025
Mo 16.05.05	28.1	55.1	35.0	30.7	8.05	153.386	345.523	1.528	1.025
Di 17.05.05	28.8	53.0	36.1	28.1	8.15	154.755	350.633	1.528	1.025
Mi 18.05.05	26.7	59.0	32.9	33.7	8.10	156.686	355.648	1.528	1.026
Do 19.05.05	27.9	55.9	34.4	30.9	7.55	159.236	360.543	1.528	1.026
Fr 20.05.05	29.5	52.8	37.3	27.1	7.25	160.206	365.555	1.528	1.026
Sa 21.05.05	29.5	46.9	33.2	37.7	7.45	161.092	370.463	1.528	1.026
So 22.05.05	30.1	53.1	35.4	34.2	9.30	163.143	372.676	1.528	1.026
Mo 23.05.05	26.9	59.6	33.3	34.1	7.50	164.638	377.307	1.528	1.026
Di 24.05.05	31.0	47.7	40.2	24.0	7.35	167.847	382.043	1.528	1.027
Mi 25.05.05	30.6	49.3	39.7	24.7	9.05	168.297	387.656	1.528	1.027
Do 26.05.05	33.3	46.2	43.0	22.9	7.55	170.953	392.190	1.528	1.027
Fr 27.05.05	33.2	47.9	42.9	24.2	8.10	171.332	397.477	1.528	1.027
Sa 28.05.05	32.5	51.3	41.7	26.9	5.45	171.962	401.850	1.528	1.027
So 29.05.05	34.0	47.3	43.6	24.4	8.20	174.195	406.921	1.528	1.027
Mo 30.05.05	29.6	55.0	36.8	32.6	7.50	175.029	411.861	1.528	1.027
Di 31.05.05	29.7	50.4	37.9	27.0	7.35	177.774	415.615	1.528	1.027
Mi 01.06.05	31.3	47.1	39.4	25.1	8.05	179.224	420.259	1.528	1.027
Do 02.06.05	30.0	50.7	38.3	26.9	7.45	180.783	425.021	1.528	1.027
Fr 03.06.05	30.8	45.6	38.4	28.7	7.15	182.282	429.321	1.528	1.027
Sa 04.06.05	30.9	52.4	38.7	29.3	7.55	183.910	432.464	1.528	1.028
So 05.06.05	29.6	51.4	37.2	27.7	9.15	185.462	437.526	1.528	1.028
Mo 06.06.05	29.1	56.8	36.0	33.4	8.35	186.770	441.966	1.528	1.028
Di 07.06.05	28.0	51.5	34.8	28.5	8.10	189.330	446.374	1.528	1.028
Mi 08.06.05	26.9	49.1	35.8	24.3	7.25	190.654	450.933	1.528	1.028
Do 09.06.05	28.9	44.5	38.2	20.6	8.05	193.348	455.458	1.528	1.028
Fr 10.06.05	27.7	48.7	36.5	23.7	8.00	194.535	460.840	1.528	1.028
Sa 11.06.05	29.6	45.8	39.4	22.1	6.30	197.511	465.341	1.528	1.029
So 12.06.05	31.2	44.2	37.7	28.5	8.45	197.677	470.341	1.528	1.029
Mo 13.06.05	31.5	51.2	40.5	27.4	7.40	199.334	473.525	1.528	1.029
Di 14.06.05	30.4	57.1	38.6	32.1	7.15	200.200	477.970	1.528	1.030
Mi 15.06.05	31.0	53.4	38.9	30.4	7.35	202.942	482.560	1.528	1.030
Do 16.06.05	32.0	51.2	40.3	28.1	7.40	203.378	487.034	1.528	1.030
Fr 17.06.05	32.9	51.2	40.9	29.3	7.20	204.760	491.623	1.528	1.030
Sa 18.06.05	32.4	53.7	40.1	31.7	7.55	205.160	496.355	1.528	1.031
So 19.06.05	33.7	47.0	41.7	26.5	9.10	207.467	500.865	1.528	1.031
Mo 20.06.05	30.5	54.0	38.2	31.2	8.45	208.165	505.495	1.528	1.031
Di 21.06.05	31.7	50.1	40.3	27.6	7.15	210.573	509.117	1.528	1.031
Mi 22.06.05	31.9	52.5	39.7	30.0	7.35	211.286	513.410	1.528	1.031
Do 23.06.05	32.0	55.0	39.2	33.5	7.40	213.153	518.015	1.528	1.031
Fr 24.06.05	34.9	46.8	42.1	27.4	7.30	214.133	521.933	1.528	1.031
Sa 25.06.05	32.9	54.9	38.0	37.4	8.00	215.599	526.671	1.528	1.031
So 26.06.05	34.2	52.2	41.2	30.9	8.25	218.993	530.890	1.528	1.031
Mo 27.06.05	26.8	60.7	29.3	56.2	8.10	219.262	535.639	1.528	1.031
Di 28.06.05	40.4	31.1	48.9	27.3	7.20	219.262	536.346	1.567	1.032
Mi 29.06.05	32.9	47.4	38.6	35.7	7.30	220.338	537.700	2.581	1.032
Do 30.06.05	30.2	58.3	40.2	31.1	8.00	221.591	539.866	3.075	1.032

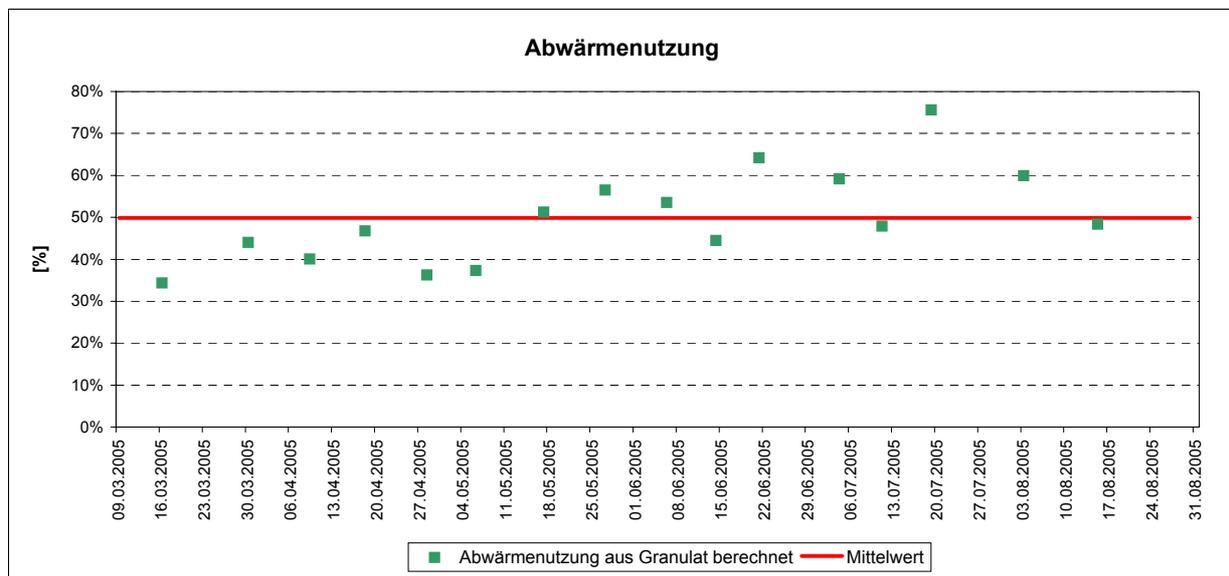
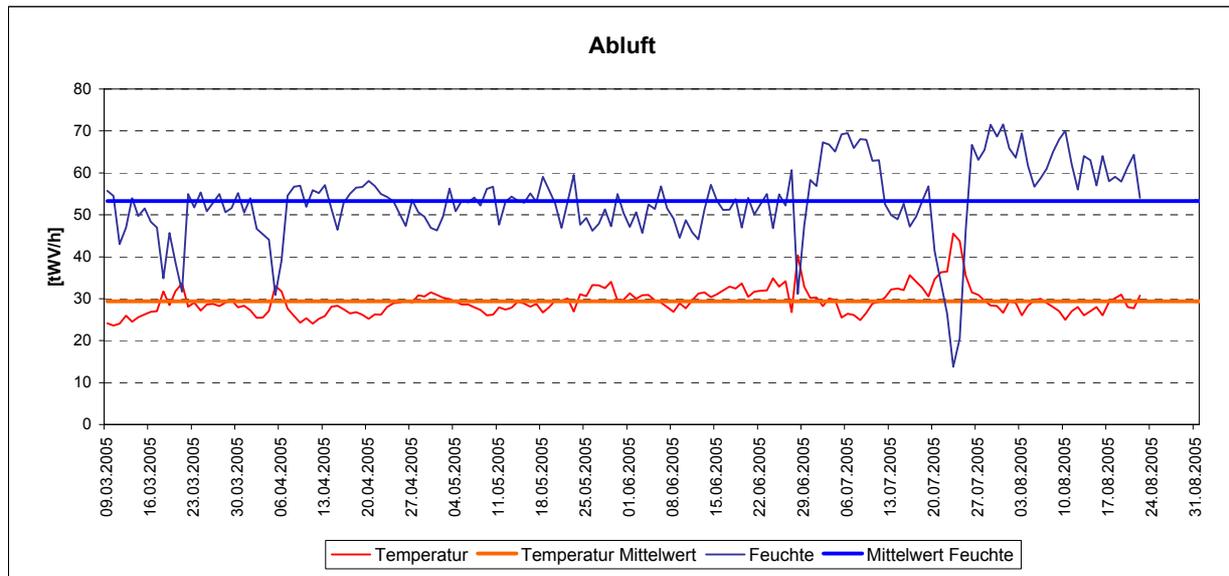
Datum	Abluft		Umluft		Zeit	Wärme- zähler Schlamm- erwärmung Zähler MWh	Wärme- zähler Trocknung Zähler MWh	Wärme- zähler Heizung BG Zähler MWh	Wärme- zähler Heizung Neubau Zähler MWh
	Tem- peratur °C	Feuchte %	Tem- peratur °C	Feuchte %					
Fr 01.07.05	30.3	56.9	40.6	28.0	7.30	224.325	543.217	3.092	1.032
Sa 02.07.05	28.2	67.3	39.9	30.7	7.20	227.483	548.349	3.092	1.032
So 03.07.05	30.1	66.7	43.1	28.9	7.20	227.483	553.006	3.092	1.033
Mo 04.07.05	29.7	65.1	40.8	32.2	8.00	230.311	558.179	3.092	1.033
Di 05.07.05	25.5	69.2	35.5	34.5	7.45	230.475	562.612	3.092	1.033
Mi 06.07.05	26.4	69.5	36.7	34.7	7.25	230.758	566.766	3.092	1.033
Do 07.07.05	26.1	66.0	35.0	35.2	7.30	232.989	571.018	3.092	1.033
Fr 08.07.05	24.9	68.0	32.8	39.8	8.10	235.015	575.261	3.092	1.033
Sa 09.07.05	26.6	67.9	36.1	35.7	7.20	237.000	578.607	3.092	1.033
So 10.07.05	28.8	62.9	37.8	34.4	9.30	238.463	583.251	3.092	1.033
Mo 11.07.05	29.2	63.0	38.4	34.0	8.35	241.039	587.425	3.092	1.033
Di 12.07.05	30.3	52.5	38.2	30.9	8.20	242.307	591.557	3.092	1.034
Mi 13.07.05	32.2	49.9	40.7	28.3	7.40	243.482	595.438	3.092	1.034
Do 14.07.05	32.4	48.9	40.5	28.2	8.00	244.012	599.722	3.092	1.034
Fr 15.07.05	32.1	52.6	40.2	30.2	7.20	245.251	603.746	3.092	1.034
Sa 16.07.05	35.6	47.2	44.2	27.2	7.25	245.455	607.523	3.092	1.034
So 17.07.05	34.0	49.6	42.0	29.3	8.05	247.527	612.407	3.092	1.034
Mo 18.07.05	32.6	53.4	40.1	32.5	8.35	247.874	616.568	3.092	1.034
Di 19.07.05	30.5	56.8	37.9	33.4	7.55	249.890	620.523	3.092	1.034
Mi 20.07.05	34.7	41.4	41.9	25.3	8.10	250.769	624.499	3.092	1.034
Do 21.07.05	36.3	33.6	41.6	24.2	7.30	253.334	628.948	3.092	1.034
Fr 22.07.05	36.5	26.4	39.6	22.9	7.20	253.579	632.799	3.092	1.034
Sa 23.07.05	45.5	13.8	48.5	13.6	7.35	255.066	635.989	3.092	1.034
So 24.07.05	43.7	20.5	46.0	21.5	8.00	257.356	639.528	3.092	1.034
Mo 25.07.05	35.4	46.7	41.0	31.9	7.30	257.661	641.836	3.092	1.034
Di 26.07.05	31.5	66.7	41.6	35.7	7.25	258.764	645.410	3.092	1.034
Mi 27.07.05	30.9	63.1	40.4	34.1	7.15	261.571	649.755	3.092	1.034
Do 28.07.05	29.5	65.4	37.5	39.5	8.15	261.928	653.740	3.092	1.034
Fr 29.07.05	28.4	71.5	35.7	46.4	7.10	261.928	656.374	3.092	1.034
Sa 30.07.05	28.3	68.6	35.3	43.8	5.45	263.359	659.041	3.092	1.034
So 31.07.05	26.6	71.5	33.8	44.2	9.30	263.784	662.853	3.092	1.034
Mo 01.08.05	29.4	65.8	37.7	37.4	9.14	266.935	666.085	3.092	1.034
Di 02.08.05	29.0	63.6	35.9	39.5	8.20	267.183	670.002	3.092	1.034
Mi 03.08.05	26.1	69.4	32.3	45.0	8.10	269.502	673.858	3.092	1.034
Do 04.08.05	28.3	61.7	36.2	34.6	8.10	271.094	677.194	3.092	1.034
Fr 05.08.05	29.6	56.7	38.3	29.6	7.35	272.047	681.228	3.092	1.034
Sa 06.08.05	30.0	58.7	36.3	39.0	7.15	273.196	685.699	3.092	1.035
So 07.08.05	29.0	61.0	35.0	40.0	7.45	274.109	689.047	3.092	1.035
Mo 08.08.05	28.0	65.0	34.0	42.0	8.30	276.362	692.233	3.092	1.035
Di 09.08.05	27.0	68.0	33.0	43.0	7.35	276.395	696.016	3.092	1.035
Mi 10.08.05	25.0	70.0	31.0	45.0	7.30	277.468	698.730	3.092	1.035
Do 11.08.05	27.0	62.0	36.0	36.0	7.30	278.996	701.716	3.092	1.035
Fr 12.08.05	28.0	56.0	36.0	32.0	8.00	279.331	705.628	3.092	1.035
Sa 13.08.05	26.0	64.0	33.0	40.0	7.45	279.911	708.874	3.092	1.035
So 14.08.05	27.0	63.0	34.0	38.0	8.30	281.401	712.051	3.092	1.035
Mo 15.08.05	28.0	57.0	36.0	30.0	9.15	283.358	715.820	3.092	1.035
Di 16.08.05	26.0	64.0	33.0	39.0	8.00	285.695	720.038	3.092	1.035
Mi 17.08.05	29.3	58.0	37.8	33.0	7.25	286.365	723.884	3.092	1.035
Do 18.08.05	30.2	59.0	37.9	36.1	7.35	287.198	727.880	3.092	1.035
Fr 19.08.05	31.0	57.9	39.7	32.9	7.25	288.698	731.417	3.092	1.035
Sa 20.08.05	28.0	61.5	34.6	39.0	7.20	289.218	735.580	3.092	1.035
So 21.08.05	27.7	64.3	34.8	39.2	7.50	291.268	739.203	3.092	1.035
Mo 22.08.05	30.7	54.0	37.8	32.5	8.45	293.382	743.021	3.092	1.035
Di 23.08.05					7.40	294.568	745.027	3.092	1.035
Mi 24.08.05						294.568	745.027	3.092	1.035
Do 25.08.05						294.568	745.027	3.092	1.035
Fr 26.08.05						294.568	745.027	3.092	1.035
Sa 27.08.05						294.568	745.027	3.092	1.035
So 28.08.05						294.568	745.027	3.092	1.035
Mo 29.08.05						294.568	745.027	3.092	1.035
Di 30.08.05						294.568	745.027	3.092	1.035
Mi 31.08.05						294.568	745.027	3.092	1.035

Aggregatliste Trocknung Schwyz

Aggregate, die von der Strommessungen abgezogen werden müssen

	Stromaufnahme
	A
Trogkettenförderer	6.8
Ventilator Silo	4.6
Austragsschleuse	1.6
Trogschnecke	5.2





ANHANG 2.3

MESSDATEN

ARA IM BLETTLER, WOHLER

Messprogramm Trocknung ARA Im Blettler, Wohlen

		Granulat		Gaszähler m3	Stromverbrauch Trocknung Zähler	Kühlwasserpumpe		Betriebs- stunden Trock- nung Zähler	Eintrag Schlamm- bunker Zähler	Verteil- schnecke Bunker Zähler	Schnecke 1 Zähler	Schnecke 2 Zähler	Schnecke 3 Zähler	Schnecke 4 Zähler	Quer- schnecke Zähler	Steig- schnecke Zähler	Zuführ- schnecke End- produkt Zähler	Verteil- schnecke Container 1 Zähler	Verteil- schnecke Container 2 Zähler	Niveaumessung Schlamm-bunker		Niveaumessungen Container	
Datum	Zeit	% TS	t			Zähler	Zähler													m3/W	Zähler	Zähler	Zähler
Mo 07.03.05	09:00	91.00	11.76	26'791		576	515	490	2'320	966	500	571	572	572	219	743	503	263	245	0.60	1.76	0.20	0.06
Mo 14.03.05	10:30	91.00	12.22	28'426		612	1'315	521	2'343	989	501	573	575	573	229	754	535	277	263	1.18	0.66	0.16	0.09
Mo 21.03.05	08:30	91.00	12.92	31'345		675	1'157	574	2'394	1'040	504	577	579	577	248	774	589	297	297	2.00	0.86	1.84	0.30
Di 29.03.05	10:15	91.00	11.98	33'183		716	1'667	611	2'431	1'077	506	580	582	580	261	787	626	331	300	1.41	0.84	1.70	0.15
Mo 04.04.05	10:15	91.00	11.54	35'306		774	1'337	652	2'470	1'116	507	583	584	583	274	801	667	339	334	1.68	0.91	0.25	1.30
Mo 11.04.05	11:00	91.00	11.96	36'822	1'195	817	310	679	2'509	1'155	509	585	587	585	284	812	694	365	336	1.62	1.54	1.73	0.24
Mo 18.04.05	10:45	89.74	14.34	37'570	2'165	835	1'420	692	2'530	1'176	509	586	588	586	288	817	707	368	345	2.39	1.64	1.50	0.25
Mo 25.04.05	09:45	92.00	10.88	39'750	4'805	887	885	732	2'561	1'207	511	589	591	590	303	832	748	391	364	0.87	1.72	0.10	0.10
Mo 02.05.05	08:15	92.00	23.96	40'900	6'250	922	693	753	2'576	1'222	512	591	592	591	310	840	769	412	364	0.75	1.87	0.67	1.84
Mo 09.05.05	09:45	92.00	10.84	42'580	8'050	957	1'101	781	2'607	1'253	513	593	595	594	321	851	797	422	382	2.74	1.84	0.16	0.53
Di 17.05.05	11:00	92.00	10.76	45'770	11'830	1'029	792	841	2'654	1'300	517	598	600	599	345	877	856	449	414	1.44	1.01	0.24	0.80
Mo 23.05.05	10:00	92.00	11.18	47'520	13'880	1'068	1'288	873	2'688	1'334	520	602	604	603	361	893	890	474	424	1.68	1.01	1.82	0.18
Mo 30.05.05	10:30	92.00	11.46	49'980	16'750	1'119	942	921	2'736	1'382	522	606	607	606	378	911	937	489	456	0.85	1.46	0.24	1.30
Mo 06.06.05	11:00	91.90		51'360	18'420	1'148	1'311	947	2'769	1'415	523	608	609	608	386	920	963	508	464	2.48	2.20	1.50	0.08
Mo 13.06.05	09:00	92.00	24.50	54'270	22'230	1'217	1'168	1'006	2'800	1'446	525	612	613	612	404	939	1'024	541	491	0.38	1.48	2.00	2.00
Mo 20.06.05	11:00	92.00	23.68	56'250	24'730	1'262	2'408	1'044	2'848	1'494	527	614	616	615	417	952	1'061	549	521	2.51	1.58	0.23	2.00
Mo 27.06.05	11:00	92.00	33.76	59'570	28'440	1'331	3'510	1'104	2'905	1'551	530	620	621	620	441	977	1'122	583	549	2.74	1.74	0.03	2.00
Mo 04.07.05	11:00	92.00	21.00	63'490	33'640	1'429	1'798	1'190	2'958	1'603	533	626	627	626	467	1'005	1'208	635	583	2.73	1.02	1.64	1.30
Mo 11.07.05	08:45	92.00	11.24	65'710	36'640	1'493	1'928	1'237	2'999	1'644	535	629	630	629	481	1'020	1'255	643	623	1.98	1.75	0.18	0.10
Mo 18.07.05	10:00	92.00	11.58	67'850	39'690	1'546	1'403	1'279	3'037	1'683	537	633	633	633	497	1'037	1'297	666	642	1.76	0.74	1.91	0.07
Mo 25.07.05	11:00	92.00	11.62	69'590	42'350	1'588	1'371	1'312	3'062	1'707	538	635	636	635	508	1'049	1'331	672	669	1.99	1.35	0.23	2.00
Di 02.08.05	14:00	92.00	11.66	71'420	45'550	1'630	1'240	1'348	3'098	1'743	540	638	639	638	521	1'063	1'365	698	678	1.67	1.45	1.99	0.12
Mo 08.08.05	10:00	92.00	11.88	72'960	48'010	1'666	717	1'376	3'122	1'767	542	641	641	641	533	1'075	1'395	711	696	1.11	0.46	0.32	2.00
Di 16.08.05	10:00	92.00	11.78	74'030	50'102	1'690	1'255	1'397	3'146	1'791	543	643	643	642	540	1'083	1'415	726	701	2.52	1.22	2.00	0.15
Mo 22.08.05	10:00	92.00	22.94	75'820	52'768	1'732	1'263	1'430	3'173	1'818	545	646	646	645	554	1'097	1'449	739	722	1.97	1.11	0.32	2.00
Mo 29.08.05	09:45	92.00	26.20	77'650	55'441	1'768	1'718	1'463	3'207	1'852	546	649	649	648	567	1'111	1'482	751	743	2.15	1.44	0.33	2.00
Mo 05.09.05	10:30	92.00	26.58	79'800	58'826	1'816	1'744	1'505	3'245	1'890	549	653	652	652	584	1'129	1'524	772	765	1.61	1.13	0.30	2.00
Mo 12.09.05	10:00	92.00	26.12	82'210	62'096	1'869	2'359	1'550	3'285	1'930	553	659	658	657	608	1'154	1'569	800	782	2.73	1.32	0.30	0.30
Mo 19.09.05	11:30	92.00	12.74	85'190	66'256	1'939	1'497	1'607	3'328	1'973	562	669	666	666	643	1'189	1'626	826	814	1.99	1.16	0.30	1.20
Mo 26.09.05	10:30	92.00	24.00	87'140	69'097	1'988	1'341	1'643	3'354	1'999	570	677	677	674	669	1'216	1'663	834	843	0.82	-	0.30	1.50
Mo 03.10.05	11:00	92.00	23.84	89'220	71'943	2'037	1'989	1'681	3'387	2'032	574	682	682	679	689	1'236	1'701	852	862	1.25	0.70	0.32	0.32
Mo 10.10.05	10:30	92.00	12.08	91'770	75'493	2'096	900	1'731	3'422	2'067	577	686	686	683	708	1'255	1'751	886	880	1.70	1.13	0.31	0.27
Mo 17.10.05	10:30	91.90		93'230	77'910	2'134	839	1'763	3'448	2'093	579	689	689	686	719	1'267	1'782	889	908	2.36	0.92	0.32	0.30
Mo 24.10.05	10:30	92.00	24.04	95'050	80'516	2'181	1'274	1'801	3'478	2'123	582	693	692	689	733	1'282	1'820	919	916	2.74	1.07	1.85	0.31
Mo 31.10.05	11:00	91.90		96'920	83'004	2'225	976	1'838	3'499	2'144	584	696	695	692	746	1'295	1'858	928	945	2.74	1.02	0.30	0.30
Mo 07.11.05	11:45	92.00	12.62	98'260	84'850	2'256	1'793	1'865	3'515	2'160	586	697	697	694	754	1'303	1'885	955	945	1.27	1.34	1.87	0.30
Mo 14.11.05	13:30	92.00	24.68	101'580	89'180	2'330	2'094	1'929	3'561	2'206	590	702	702	699	776	1'326	1'950	984	981	2.74	1.24	0.57	2.00
Mo 21.11.05	11:00	92.00	35.52	105'310	94'202	2'411	1'569	2'005	3'606	2'251	593	707	707	704	798	1'349	2'026	1'020	1'022	2.67	1.15	0.28	1.54
Mo 28.11.05	11:30	92.00	12.76	109'030	99'226	2'493	1'206	2'078	3'656	2'301	600	714	714	712	825	1'376	2'099	1'060	1'055	1.60	1.36	0.60	0.31
Mo 05.12.05	13:30	92.00	13.28	112'870	104'025	2'574	1'947	2'148	3'705	2'350	603	720	719	717	848	1'400	2'169	1'091	1'095	1.62	1.28	0.26	-
Mo 12.12.05	11:45	92.00	36.20	114'280	105'985	2'607	3'662	2'175	3'723	2'368	606	722	722	720	859	1'411	2'196	1'115	1'098	1.10	0.90	-	0.31
Di 27.12.05	11:30			117'730	110'852	2'694	1'504	2'242	3'778	2'423	614	732	732	728	891	1'445	2'263	1'145	1'135	-	-	-	-

Messprogramm Trocknung ARA Im Blettler, Wohlen

Datum	Schlamm- menge flüssig	TR-Gehalt vor Ent- wässerung	TR-Gehalt nach Ent- wässerung	Kühlwasser Trocknung
	m3	% TS	% TS	m3/d
Di 01.03.05	67	1.6		
Mi 02.03.05	198	1.9		
Do 03.03.05	129	1.9		
Fr 04.03.05				
Sa 05.03.05				
So 06.03.05				
Mo 07.03.05				47
Di 08.03.05	188	2.6		
Mi 09.03.05				224
Do 10.03.05	264	2.0		244
Fr 11.03.05				
Sa 12.03.05				
So 13.03.05				
Mo 14.03.05	390	3.0	31.8	238
Di 15.03.05	66	2.4	30.0	58
Mi 16.03.05	114	2.3	28.5	487
Do 17.03.05	235	2.1	28.5	331
Fr 18.03.05	156	1.7	28.2	201
Sa 19.03.05				
So 20.03.05				
Mo 21.03.05	226	1.7	30.0	591
Di 22.03.05	139	1.6	27.7	304
Mi 23.03.05	179	1.3	28.6	
Do 24.03.05	150	1.6	28.1	262
Fr 25.03.05				
Sa 26.03.05				
So 27.03.05				
Mo 28.03.05				
Di 29.03.05	198	2.2	30.6	293
Mi 30.03.05	283	1.8		600
Do 31.03.05	73	1.7		542

	Schlamm- menge flüssig	TR-Gehalt vor Ent- wässerung	TR-Gehalt nach Ent- wässerung	Kühlwasser Trocknung
Datum	m3	% TS	% TS	m3/d
Fr 01.04.05	172	1.7	33.0	232
Sa 02.04.05				
So 03.04.05				
Mo 04.04.05	272	1.9	30.9	337
Di 05.04.05	166	1.6	31.7	260
Mi 06.04.05				438
Do 07.04.05	216	1.7	32.8	198
Fr 08.04.05	47	1.7		104
Sa 09.04.05				
So 10.04.05				
Mo 11.04.05	107	2.2	33.5	129
Di 12.04.05				181
Mi 13.04.05				
Do 14.04.05	102	2.2	33.5	
Fr 15.04.05	147	2.2	34.0	
Sa 16.04.05				
So 17.04.05				
Mo 18.04.05	51	3.3	31.7	332
Di 19.04.05	257	2.2	31.2	410
Mi 20.04.05	118	1.8	29.9	359
Do 21.04.05	162	1.7	28.4	319
Fr 22.04.05				
Sa 23.04.05				
So 24.04.05				
Mo 25.04.05				
Di 26.04.05				
Mi 27.04.05	123	3.7		
Do 28.04.05				403
Fr 29.04.05	84	3.5		277
Sa 30.04.05				205

	Schlamm- menge flüssig	TR-Gehalt vor Ent- wässerung	TR-Gehalt nach Ent- wässerung	Kühlwasser Trocknung
Datum	m3	% TS	% TS	m3/d
So 01.05.05				
Mo 02.05.05	344	3.3	30.9	515
Di 03.05.05	145	2.3	27.5	
Mi 04.05.05				178
Do 05.05.05				
Fr 06.05.05	142	3.0	29.9	
Sa 07.05.05				
So 08.05.05				
Mo 09.05.05	139	3.3	33.4	393
Di 10.05.05	261	2.0	34.0	289
Mi 11.05.05	56	1.8	33.6	205
Do 12.05.05	184	1.6		
Fr 13.05.05	141	1.6	35.4	214
Sa 14.05.05				
So 15.05.05				
Mo 16.05.05				
Di 17.05.05			34.5	446
Mi 18.05.05	392	2.0	34.9	67
Do 19.05.05			32.9	
Fr 20.05.05	239	2.0	31.1	279
Sa 21.05.05				
So 22.05.05				
Mo 23.05.05	321	2.0	33.1	451
Di 24.05.05	234	1.4	31.9	302
Mi 25.05.05	247	1.7	31.3	
Do 26.05.05				
Fr 27.05.05	237	1.7	32.2	535
Sa 28.05.05				
So 29.05.05				
Mo 30.05.05	340	1.4	25.4	786
Di 31.05.05	18	2.5	35.3	156

	Schlamm- menge flüssig	TR-Gehalt vor Ent- wässerung	TR-Gehalt nach Ent- wässerung	Kühlwasser Trocknung
Datum	m3	% TS	% TS	m3/d
Mi 01.06.05				
Do 02.06.05	127	3.2	32.7	
Fr 03.06.05			30.9	
Sa 04.06.05				
So 05.06.05				
Mo 06.06.05				194
Di 07.06.05				106
Mi 08.06.05	383	3.8	33.7	416
Do 09.06.05	346	2.3	30.4	471
Fr 10.06.05				124
Sa 11.06.05				
So 12.06.05				
Mo 13.06.05	182	2.5	33.5	
Di 14.06.05	198	2.5	33.9	666
Mi 15.06.05				279
Do 16.06.05	261	2.0	32.7	
Fr 17.06.05	233	1.8	34.5	223
Sa 18.06.05				
So 19.06.05				
Mo 20.06.05	350	2.0	29.7	804
Di 21.06.05				242
Mi 22.06.05	383	2.7	28.0	365
Do 23.06.05				523
Fr 24.06.05	396	2.6	32.7	474
Sa 25.06.05				
So 26.06.05				
Mo 27.06.05	147	3.0	30.9	858
Di 28.06.05	255	2.9	30.5	796
Mi 29.06.05	424	2.4	30.0	667
Do 30.06.05				838

	Schlamm- menge flüssig	TR-Gehalt vor Ent- wässerung	TR-Gehalt nach Ent- wässerung	Kühlwasser Trocknung
Datum	m3	% TS	% TS	m3/d
Fr 01.07.05	311	2.5	29.4	351
Sa 02.07.05				
So 03.07.05				
Mo 04.07.05	131	2.5		635
Di 05.07.05	184	3.0	31.2	610
Mi 06.07.05	170	2.3	31.9	
Do 07.07.05			32.1	188
Fr 08.07.05	215	2.0	34.2	365
Sa 09.07.05				
So 10.07.05				
Mo 11.07.05	199	2.3	32.9	864
Di 12.07.05	152	1.9	35.9	240
Mi 13.07.05				462
Do 14.07.05	148	2.8	36.6	
Fr 15.07.05	67	4.1		362
Sa 16.07.05				
So 17.07.05				
Mo 18.07.05	129	4.7	35.1	
Di 19.07.05	102	3.5	36.0	359
Mi 20.07.05				369
Do 21.07.05	142	3.6	34.1	373
Fr 22.07.05				302
Sa 23.07.05				
So 24.07.05				
Mo 25.07.05	118	4.1	34.9	
Di 26.07.05	133	2.7	35.0	336
Mi 27.07.05				374
Do 28.07.05	129	2.6	35.0	374
Fr 29.07.05	131	2.4	37.1	285
Sa 30.07.05				
So 31.07.05				1

	Schlamm- menge flüssig	TR-Gehalt vor Ent- wässerung	TR-Gehalt nach Ent- wässerung	Kühlwasser Trocknung
Datum	m3	% TS	% TS	m3/d
Mo 01.08.05				1
Di 02.08.05	90	4.7	36.3	276
Mi 03.08.05	157	3.3	35.8	
Do 04.08.05				580
Fr 05.08.05	120	4.4	37.9	383
Sa 06.08.05				
So 07.08.05				1
Mo 08.08.05	137	4.0	37.6	
Di 09.08.05	89	3.0	36.7	391
Mi 10.08.05	39	3.7	37.4	
Do 11.08.05	113	3.4		326
Fr 12.08.05				
Sa 13.08.05				
So 14.08.05				
Mo 15.08.05				
Di 16.08.05	102	3.2		496
Mi 17.08.05	164	2.8	36.4	173
Do 18.08.05	112	3.0	39.0	586
Fr 19.08.05	37	4.0	40.5	
Sa 20.08.05				
So 21.08.05				
Mo 22.08.05	111	6.5	42.9	
Di 23.08.05	110	6.0	42.5	615
Mi 24.08.05	77	5.5	43.4	352
Do 25.08.05	45	5.2	43.2	
Fr 26.08.05	82	5.5	45.0	296
Sa 27.08.05				
So 28.08.05				
Mo 29.08.05	89	8.0	43.5	662
Di 30.08.05	108	5.5	43.5	348
Mi 31.08.05	64	5.0	45.1	358

	Schlamm- menge flüssig	TR-Gehalt vor Ent- wässerung	TR-Gehalt nach Ent- wässerung	Kühlwasser Trocknung
Datum	m3	% TS	% TS	m3/d
Do 01.09.05	70	3.5	37.5	
Fr 02.09.05	104	3.9	42.9	350
Sa 03.09.05				
So 04.09.05				
Mo 05.09.05	165	3.9	41.8	
Di 06.09.05				369
Mi 07.09.05	128	4.6	35.1	544
Do 08.09.05	138	4.4	36.4	545
Fr 09.09.05	128	4.2		286
Sa 10.09.05				
So 11.09.05				
Mo 12.09.05	93	6.7	39.7	605
Di 13.09.05	109	3.6		632
Mi 14.09.05	119	5.0	40.7	406
Do 15.09.05	88	2.8	41.8	380
Fr 16.09.05	58	3.2	41.5	335
Sa 17.09.05				
So 18.09.05	51	4.8		1
Mo 19.09.05	195	2.5	39.9	413
Di 20.09.05	62	2.6		216
Mi 21.09.05				149
Do 22.09.05	167	3.0	39.5	435
Fr 23.09.05	80	2.5	38.6	284
Sa 24.09.05				
So 25.09.05				
Mo 26.09.05	146	3.5	35.3	319
Di 27.09.05				70
Mi 28.09.05	164	3.4	31.5	320
Do 29.09.05	142	3.2	32.8	601
Fr 30.09.05	44	4.0	32.4	31

	Schlamm- menge flüssig	TR-Gehalt vor Ent- wässerung	TR-Gehalt nach Ent- wässerung	Kühlwasser Trocknung
Datum	m3	% TS	% TS	m3/d
Sa 01.10.05				
So 02.10.05				
Mo 03.10.05	226	3.3	33.6	844
Di 04.10.05	251	2.8	32.4	323
Mi 05.10.05	189	2.5	33.0	301
Do 06.10.05	69	2.7	33.7	327
Fr 07.10.05				194
Sa 08.10.05				
So 09.10.05				
Mo 10.10.05				
Di 11.10.05	145	3.0	36.4	655
Mi 12.10.05	74	2.6	36.1	245
Do 13.10.05			37.0	
Fr 14.10.05	149	2.5		
Sa 15.10.05				
So 16.10.05				
Mo 17.10.05	143	3.2	35.4	331
Di 18.10.05				155
Mi 19.10.05	101	4.0	32.1	185
Do 20.10.05	64	4.5	30.1	
Fr 21.10.05	104	4.0	31.9	168
Sa 22.10.05				
So 23.10.05				
Mo 24.10.05	106	3.8	33.4	744
Di 25.10.05				201
Mi 26.10.05				129
Do 27.10.05				
Fr 28.10.05	184	4.0	33.6	200
Sa 29.10.05				
So 30.10.05				
Mo 31.10.05	126	3.7	32.6	710

	Schlamm- menge flüssig	TR-Gehalt vor Ent- wässerung	TR-Gehalt nach Ent- wässerung	Kühlwasser Trocknung
Datum	m3	% TS	% TS	m3/d
Di 01.11.05				
Mi 02.11.05			34.7	28
Do 03.11.05				
Fr 04.11.05	105	2.5		238
Sa 05.11.05				
So 06.11.05				
Mo 07.11.05	175	2.8	32.0	519
Di 08.11.05				110
Mi 09.11.05	194	3.2	30.1	355
Do 10.11.05	197	2.9	30.7	798
Fr 11.11.05	165	2.7	28.1	165
Sa 12.11.05				
So 13.11.05				
Mo 14.11.05	141	3.4	30.3	365
Di 15.11.05	121	3.2		479
Mi 16.11.05	223	2.9	30.5	581
Do 17.11.05	208	2.8	28.7	613
Fr 18.11.05	122	2.5		56
Sa 19.11.05				
So 20.11.05				
Mo 21.11.05	154	3.0	30.9	524
Di 22.11.05				103
Mi 23.11.05	318	3.2	36.3	392
Do 24.11.05	235	2.3	32.9	274
Fr 25.11.05	127	2.0	27.5	276
Sa 26.11.05				
So 27.11.05				
Mo 28.11.05	220	2.2	30.5	374
Di 29.11.05	47	4.0		373
Mi 30.11.05	200	3.0	28.9	

	Schlamm- menge flüssig	TR-Gehalt vor Ent- wässerung	TR-Gehalt nach Ent- wässerung	Kühlwasser Trocknung
Datum	m3	% TS	% TS	m3/d
Do 01.12.05	235	2.7	29.7	193.0
Fr 02.12.05	216	2.6	30.3	28.0
Sa 03.12.05				
So 04.12.05				238.0
Mo 05.12.05	120	3.2	31.3	
Di 06.12.05	52	2.4	33.7	
Mi 07.12.05				353.0
Do 08.12.05			32.3	276.0
Fr 09.12.05				355.0
Sa 10.12.05				582.0
So 11.12.05				381.0
Mo 12.12.05	127	3.0	32.2	
Di 13.12.05				
Mi 14.12.05	189	3.6	29.3	365.0
Do 15.12.05	182	3.0	29.6	373.0
Fr 16.12.05	72	2.5	31.0	561.0
Sa 17.12.05				596.0
So 18.12.05				197.0
Mo 19.12.05	103	2.0	34.7	
Di 20.12.05	62	2.2	34.2	
Mi 21.12.05	94	2.4	34.4	396.0
Do 22.12.05	44	2.0		231.0
Fr 23.12.05				367.0
Sa 24.12.05				300.0
So 25.12.05				276.0
Mo 26.12.05				
Di 27.12.05				
Mi 28.12.05				342.0
Do 29.12.05				200.0
Fr 30.12.05				344.0
Sa 31.12.05				373.0

Aggregatliste Trocknung Wohlen

Aggregate, die von der Strommessungen abgezogen werden müssen

	Stromaufnahme
	A
Schlammannahme	
Eintragsschnecke Schlamm bunker	4.4
Verteilschnecke Bunker	6.5
Schnecke 1	5.0
Schnecke 2	5.0
Schnecke 3	5.0
Schnecke 4	5.0
Querschnecke	4.3
Steigschnecke	8.3
Endprodukt	
Zuführschnecke Endprodukt	4.3
Verteilschnecke Container 1	2.5
Verteilschnecke Container 2	2.5

