

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften



Life Sciences und
Facility Management

IUNR Institut für Umwelt und
Natürliche Ressourcen

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

Erneuerungskonzept ARA Sernftal, Engi GL

Bachelorstudiengang Umweltingenieur 2008-2012
Modul Anlagenprojektierung

Projektarbeit von:

Silvan Bissegger

Thomas Fink

Aurel Nardo

Benjamin Ruf

Betreuer:

Urs Baier

Prof. Dr.

Life Sciences und Facility Management

Einsiedlerstrasse 29, 8820 Wädenswil

Telefon: 058 934 57 14

E-Mail: urs.baier@zhaw.ch

Wichtiger Hinweis

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich *nicht* um eine offizielle Studie der ZHAW Wädenswil, sondern um eine Studentenarbeit. Dieser Bericht wurde durch eine Gruppe von Studentinnen und Studenten im 6. Semester Umweltingenieurwesen, Vertiefungsrichtung „Nachwachsende Rohstoffe und Erneuerbare Energien“ an der ZHAW Wädenswil im Rahmen des Studiums erstellt.

Die Arbeit wurde durch eine Fachperson betreut und bewertet, allfällige Mängel sind aber nicht nachträglich korrigiert worden. Vor einer weiteren Verwendung dieser Resultate wird deshalb eine Rücksprache mit der Betreuerin bzw. dem Betreuer an der ZHAW Wädenswil empfohlen.

Wädenswil, 24. Juni 2011

Jürg Rohrer, Dozent für Erneuerbare Energien

Juerg.Rohrer (at) zhaw.ch Tel. 058 934 54 33

<http://www.iunr.zhaw.ch/de/science/iunr/studium.html>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Ausgangslage und Ziel.....	6
1.2	Ist Situation der ARA	6
1.3	Die Probleme	7
2	Massnahmen für die TS Erhöhung.....	9
2.1	Problemerk�uterung.....	9
2.1.1	Schlammigenschaften & Technische Systemdaten	10
2.1.2	Schlammfracht	11
2.1.3	Energieproduktion	11
2.1.4	Energiebedarf.....	11
2.2	Verbesserung Ist-Zustand	12
2.3	Kostenabschätzung.....	12
2.3.1	Erhöhung des Trockensubstanzanteiles im Rohschlamm	12
3	Wärmemanagement der ARA Sernftal	14
3.1	Ist-Zustand vom Wärmemanagement.....	14
3.2	Wärmebedarf für den Faulturm	16
3.2.1	Wärmeverluste Faulturm	17
3.2.2	Verbesserung Energetischer Ist- Zustand im Faulturm.....	19
3.2.3	Kostenabschätzung.....	20
3.3	Wärmeverluste in der Produktion und der Übertragung von Energie	21
3.4	Unregelmässige Gasproduktion	22
3.4.1	Verbesserung des Ist-Zustandes bei der Energiespeicherung.....	22
3.4.2	Kostenabschätzung.....	23
3.5	Preis-Leistungs-Vergleich der verschiedenen Lösungen	26
4	Literaturverzeichnis	27

Zusammenfassung

Die ARA Sernftal kann die vorgeschriebenen Einleitbedingungen des CSB, GUS, BSB₅ und der Sichttiefen nicht einhalten. In einer Studie ermittelte die Firma TBF + PARTNER AG die Schwachstellen im System und schlug verschiedene Massnahmen zur Verbesserung der Situation vor. In der folgenden Arbeit wurden einige dieser festgestellten Probleme isoliert angeschaut und dazu konkrete Lösungsvorschläge und zu erwartende Verbesserungen erarbeitet. Das Hauptaugenmerk lag auf dem Wärmemanagement der Biogasproduktion unter Einbezug des Einflusses der Vorklärung auf die Abwasserreinigung.

Berechnungen zeigten, dass durch geeignete Massnahmen beträchtliche Energieeinsparungen möglich sind und somit theoretisch auf den Öl Verbrauch verzichtet werden könnte.

Folgende Massnahmen werden in dieser Arbeit vorgeschlagen:

- Eine nachhaltige **Erhöhung des TS im Rohschlamm** von 2.7% auf mindestens 3.2% würde den Energiebedarf zur Erwärmung des Faulturmes um 15 % senken und einen Betrieb der Anlage ohne Ölverbrauch gewährleisten. Diese Erhöhung kann durch eine **mechanische Filteranlage**, welche in der Vorklärung eingebaut wird, erreicht werden. Mögliche Varianten dafür sind eine Salsnesfilter-Anlage oder eine Trommelsiebanlage (Micropur®). Nach den Angaben der Hersteller sollte damit ein TS von mindestens 5-6% erreicht werden können. Zusätzlich weisen diese beiden Verfahren eine höhere CSB-Eliminationsleistung (20-40% CSB) und Feststoffabtrennung (40-80% TSS) auf, was die Überlastung des Wirbelbetts und des Tuchfilters beträchtlich verbessern dürfte. Die Kosten würden sich auf ca. 140000 CHF belaufen.
- Die temporären Gasüberschüsse bei Produktionsspitzen sollten nicht über die Fackel vernichtet, sondern in einem zweiten **Gasstank** (Gasometer) gespeichert werden. Mit dem Einbau eines zusätzlichen Gasometers von 50 m³, was eine Gesamtspeicherkapazität von 100 m³ ermöglicht, kann eine Deckung der Wärmeenergie durch die Gasverbrennung gewährleistet, sofern der Tagesbedarf nicht höher ausfällt, als die gespeicherte Energie in den Gasometern. Die Kosten für solch einen Gasometer belaufen sich auf ca. 100'000 CHF. Eine weitere Möglichkeit wäre die Speicherung der Energie mittels **Warmwasserspeicher**. Hierbei würde das überschüssige Gas verbrannt und die gewonnene Wärmeenergie in einem Warmwassertank (Pufferspeicher) gespeichert werden. Mit einem 50 m³ grossen Pufferspeicher liesse sich der Wärmebedarf eines Tages speichern. Für die Materialkosten kann mit 25'000-35'000 CHF, für den Einbau mit nochmals der gleichen Summe, gerechnet werden.

- Wärmeverluste durch fehlende **Isolation des Faulturms** und fehlende **Wärmerückgewinnung** aus dem Faulschlamm können beträchtlich minimiert werden. Eine Dämmung des Faulturmes mit herkömmlichem Dämmstoff und einer Dicke von 100 mm verringert den Wärmeverlust durch den Faulturm um 75%. Die Kosten betragen würden ca. 18'500 CHF betragen. Mit einem Rekuperator (Wärmetauscher), der den aus dem Faulturm kommenden Faulschlamm von 36°C auf 26°C abkühlen würde, könnte pro Woche 585 kWh zurückgewonnen werden. Dies entspricht in etwa der Hälfte des Wöchentlichen Ölverbrauchs. Die Kosten inklusive Anpassung der Module und Einbau belaufen sich auf ca. 30'000 CHF.

Antrag:

Wir empfehlen aufgrund der Analyse in einem ersten Schritt die Installation des mechanischen Feststoffabscheiders Micropur® der Firma WABAG zur Erhöhung der Trockensubstanz im Frischschlamm. Dadurch würde das energetische Problem, dem Zukauf von zusätzlichem Erdöl, gelöst und gleichzeitig die hydraulische Situation der Anlage verbessert.

Der Vorteil des Micropur®-Verfahrens gegenüber Anderen ist die hohe Entlastung des Wirbelbettes bei geringem Energieverbrauch und vergleichbaren Kosten. Insgesamt erfüllt dieses Verfahren im Vergleich mit drei Weiteren die gestellten Anforderungen am besten.

Kostenpunkt: CHF 140'000.-

Falls die erste Massnahme das Energieproblem nicht vollständig lösen sollte, empfehlen wir als sekundären Schritt die Verbesserung der Isolation des Faulturmes (100 mm dicke Isolationsschicht), weil sie mit den geringsten Investitionen die grössten Energieeinsparungen erbringt. Die Isolation ist trotz der sieben Mal teureren Micropur®-Lösung als zweitrangig eingeordnet, weil sie nur die energetischen Probleme löst, jedoch keinen Einfluss auf die Hydraulik der Kläranlage ausüben kann.

Kostenpunkt: CHF 20'000.-

Abkürzungsverzeichnis

TS	Trockensubstanz
oTS	organische Trockensubstanz
mTS	mineralische Trockensubstanz
GV	Glühverlust
GR	Glührückstand
GUS	Gesamte ungelöste Stoffe
TSS (= GUS)	Total suspendierte Stoffe
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf innerhalb von 5 Tagen
ARA	Abwasser- Reinigungs- Anlage
kWh	kilo Watt Stunden
ATV	Abwasser Technischer Verband Deutschland

Definitionen

Rohschlamm	Schlamm bevor er in die Faulung eintritt
Faulschlamm	Schlamm nach der Faulung

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Ziel

Im April 2011 wurde von TBF + Partner AG eine Studie fertiggestellt in welcher die Probleme der ARA Sernftal (Abwasserverband Sernftal der Gemeinde Engi, Matt und Elm) identifiziert werden. Dieser Bericht und verschiedenste Daten, die von ARA zur Verfügung gestellt wurden, dienen diesem Projekt als Grundlage für die Vorschläge.

In der vorliegenden Arbeit geht es nicht darum weitere Schwachstellen der ARA zu ermitteln, sondern aufgrund von den Analysen der Firma TBF + Partner AG konkrete Möglichkeiten aufzuzeigen wie ausgewählte Problemstellen eliminiert werden können.

1.2 Ist Situation der ARA

Das Schema in Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Hydraulischen und Energetischen Flüsse in der ARA. Das Abwasser gelangt vom Einlauf in die ARA über die verschiedenen klassischen Reinigungsstufen einer Kläranlage in, in den Abfluss der ARA und somit in die Sernf. Die Biologische Reinigungsstufe ist mit einem Kaldnes-Filter ausgerüstet und somit nicht als klassisch zu bezeichnen.

Der Schlamm gelangt in einen Faulungsprozess in welchem durch anaerobe Vergärung Biogas produziert wird. Da es sich um eine mesophile Vergärung handelt, muss der Faulturm auf 35 - 38°C aufgeheizt werden. Bei gut funktionierenden Kläranlagen mit Faulturm reicht die produzierte Biogasmenge aus, um die Faulung mindestens im Sommer auf Temperatur zu halten. Dies ist bei dieser ARA nicht der Fall, was in Abbildung 1 im Öleinkauf dargestellt wird.

Der gelbe Pfeil von der Wärmeproduktion zur Faulung, stellt die notwendige Wärme für die Faulung dar und setzt sich aus der Summe der kWh vom Biogas und der zugekauften Energie im Heizöl zusammen.

Die roten Pfeile zeigen den Strominput in die ARA. Es ist darauf zu achten, dass in der Abbildung 1 nur die Energieinputs dargestellt sind, die direkt mit Abwasserbehandlung in Verbindung stehen. So werden die Strom und Wärmeverbrauche im Betriebsgebäude in dieser Abbildung nicht gezeigt.

1.3 Die Probleme

Die hier aufgeführten Probleme der ARA stammen aus dem Zwischenbericht und dem Schlussbericht der Firma TBF + Partner AG.

Die Einleitbedingungen des CSB, GUS, BSB₅ und der Sichttiefen können nicht eingehalten werden. Mit den Auswertungen sind die Ingenieure der TBF + PARTNER AG zum Schluss gekommen, dass die Belastung des Wirbelbetts und der Tuchfiltration mit Feststoffen zu hoch ist. Die Vorklärung arbeitet mit einer tiefen CSB- Eliminationsleistung, was zur Folge hat, dass die Biologie im Wirbelbett sowie die Tuchfiltration überlastet werden. Dies hat weiter zur Folge, dass es in der Anlage zu einem Feststoffkreislauf kommt, bei welchem die Feststoffe, die vom Tuchfilter wieder in das Vorklärbecken gepumpt werden (die Tuchfilter werden bei Überlastung vermehrt gespült, in Abbildung 1 als „Rückstand vom Tuchfilter“ bezeichnet), dort nicht sedimentieren, sondern über die Biologie wieder zum Tuchfilter gelangen.

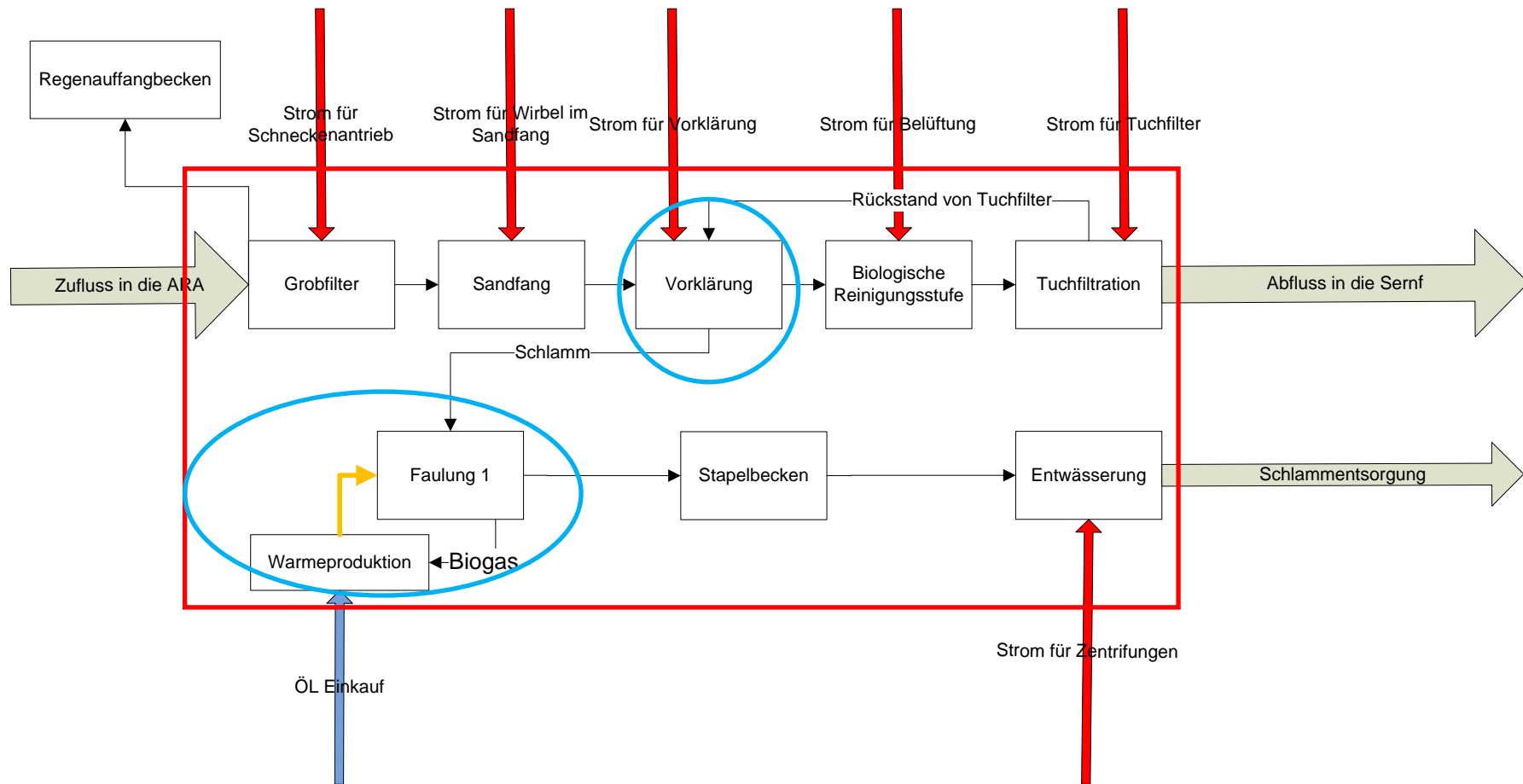


Abbildung 1: Schematische Darstellung der ARA mit den Problempunkten (Blaue Ovale) die optimiert werden sollen. Das obere Oval behandelt die Problematik der Trockensubstanz (Kapitel 2), das untere die Wärmebilanz und Wärmeverluste der Gasproduktion (Kapitel 3).

2 Massnahmen für die TS Erhöhung

2.1 Problemerkklärung

Bakterien vergasen im Faulturminnenen organisches Material zu Faulgas. Sie zeigen ihre beste Arbeitsleistung um eine Temperatur von 35 – 38°C (mesophiler Bereich). Dieser Faulbetrieb produziert weniger Gas, als zur Erhaltung dieser Arbeitstemperatur nötig wäre. Das Problem besteht hauptsächlich darin, dass der Rohschlamm zu verwässert ist. Es ist nicht möglich, dem Schlamm im Faulturm gezielt Wärme zu zuführen. Es muss der gesamte Faulturminhalt geheizt werden, um die mesophile Arbeitstemperatur aufrecht zu erhalten. Wenn der Schlamm dicker wird, gelangt weniger Volumen in den Faulturm, produziert jedoch dieselbe Menge Gas. Wenn das zu heizende Volumen sinkt, sinkt auch der Energiebedarf des Faulturmes.

Will die ARA-Sernftal Wärmeautarkie erreichen, muss die Faulgasproduktion den Wärmeenergiebedarf des Faulturmes decken, ohne externe Wärmequellen wie Öl einzusetzen. Die nachfolgenden Kapitel 2.1.1 bis 2.1.4 berechnen die Auswirkungen verschiedener Schlammstärken auf den Wärmebedarf des Faulturmes. Die Schlammstärke wird ausgedrückt in unterschiedlichen Prozentzahlen der Trockensubstanz (TS). In den Berechnungen in Tabelle 1 befindet sich das Beispiel „Zero-Ölverbrauch“, welches die minimale Schlammstärke berechnet, um die Wärmeautarkie zu erreichen.

Resultat: Eine Erhöhung der TS von 2.7 auf 3.2 % genügt für diesen Zweck. Die anfallende Schlammmenge sinkt dabei um ca. 8.5 m³ auf 44 m³ wöchentlich. Der detaillierte Berechnungsaufbau befindet sich in Tabelle 10.

Tabelle 1: Szenariobericht der aktuellen Version und der Situation ohne Ölverbrauch.

Szenariobericht TS			
		Ist-Zustand	Zero- Ölverbrauch
Veränderbare Zellen:			
TS	%	2.7	3.2
Schlammmenge	m ³ / Woche	52.3	43.8
oTS Rohschlamm	%	0.7	0.75
oTS Faulschlamm	%	0.6	0.579
mTS Faulschlamm	%	0.3	0.421
Erwartete			
Energieproduktion	kWh / Tag	417.6	417.6
Energiebedarf Faulturm	kWh / Tag	497.5	417.6
Ergebniszellen:			
Ölverbrauch	Liter/d	8.8	0

2.1.1 Schlammeigenschaften & Technische Systemdaten

Die Namen der Kapitel 2.1.1 bis 2.1.4 entsprechen den Datengruppierungen der Tabelle 10 im Anhang 1. In dieser Tabelle bedeuten die Spalten verschiedene Schlammstärken. In den Zeilen sind verschiedenste Daten gelistet. Sie sind nach Funktionalität und Teilschritt gruppiert und bauen die Berechnungen Schritt für Schritt auf. Um die dynamischen Berechnungen des Kapitels Schlammfrachten (2.1.2) zu berechnen, beziehen sich dessen Daten auf die grösstenteils statischen und systembeschreibenden Daten dieses Kapitels. Diese sind als Grundlage der dynamischen Berechnungen notwendig, weil im Excel-Programm unlösbare und unberechenbare Zirkelbezüge entstehen würden. Der aktuelle Berechnungsbauteil basiert auf dem Bericht von TBF + PARTNER AG und ergänzenden Betriebsdaten des Klärmeisters und hat nur systembeschreibenden Charakter. D.h. diese Daten sind beispielsweise gemessene Heizwerte des Schlammes oder als feste Brennwerte von Heizöl zu verstehen. Sie müssen nicht extra berechnet werden, sondern bilden Grundpfeiler der Berechnungen, die gegeben sind. Die zwei dynamischen Werte „Schlammmenge“ und „Aufenthaltszeit“ bilden eine Ausnahme der ansonsten statischen Daten. Die Schlammmenge sämtlicher Varianten basiert auf der Schlammmenge des statischen Originaldatensatzes und multipliziert ihn mit der dem relativen TS und dividiert ihn anschliessend mit dem varianteneigenen relativen TS. Die Aufenthaltszeit ergibt sich durch das Füllvolumen des Faulturmes dividiert durch die täglich zufließende Schlammmenge.

2.1.2 Schlammfracht

Die Berechnungen dieses Kapitels beziehen sich auf das vorhergehende Kapitel der systembeschreibenden Datensätze. Das Ziel dieser Datengruppe ist die Berechnung von TS-Anteilen im In- und Output. Es bereitet Daten vor, die den Berechnungen der Faulgasberechnung dienen.

Die absolute TS-Konzentration in kg wird erreicht durch den relativen Prozentsatz der TS mal dem Masseninhalte von 1m^3 ($1'000\text{ kg} * 0.027$). Die Rohschlammfracht ist das Produkt vom absoluten TS und der täglich anfallenden Schlammmenge.

Die Berechnung der Faulschlammfracht ist komplizierter. Im Originaldatensatz unterscheidet sich mengenmässig der In- und Output, was in der Praxis nicht möglich ist. Nachvollziehbar ist, dass der Faulschlamm als Output leichter ist, weil ein Teil der oTS des Rohschlammes in Faulgas umgewandelt wurde und deswegen in der Mengenbilanz fehlt. Dass sich aber die mTS des Outputs vom Input unterscheidet ist unlogisch. Deswegen wurde die mTS des Roh- und Faulschlammes berechnet (Glührückstand). Der original gemessene oTS des Outputs wurde beibehalten, jedoch wurde seine mTS mit derjenigen des Rohschlammes geeicht (gleichgesetzt). Aufgrund dieser neuen Absolutwerte wurde die %-Zahl für oTS und mTS des Faulschlammes angepasst.

2.1.3 Energieproduktion

Der mengenmässige Gehalt an organischem Material des Roh- und Faulschlammes berechnet sich aus der Rohschlammfracht, multipliziert mit den Prozentzahlen für oTS. Die Differenz dieser beiden Zahlen ergibt die Menge an in Faulgas umgewandelter oTS. Diese umgewandelte oTS multipliziert mit dem spezifischen Gasproduktionswert ($\text{m}^3\text{ Gas} / \text{kg oTS}$) ergibt die produzierte Menge Faulgas. Das Faulgas besitzt einen typischen Brennwert von 6.30 kWh/m^3 , der dem Bericht von TBF + PARTNER AG entnommen wurde. Mit dem Wirkungsgrad des Brennkessels multipliziert, führt das zur nutzbaren Nettoenergie des produzierten Faulgases.

2.1.4 Energiebedarf

Der Totale Energiebedarf des Faulturmes berechnet sich aus dem täglich anfallenden Neuschlammes, der aufgeheizt werden muss, multipliziert mit der benötigten Heizenergiemenge pro anfallendem m^3 Neuschlamm. Die Zelle Ölbedarf steht für die Differenz der Energieproduktion und des Energiebedarfes. Der Ölbedarf mit Wirkungsgradkompensation ist lediglich eine Einheitenumformung des Ölbedarfes in Liter. Er gibt unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Brennkessels, die tatsächliche Menge täglich genutzten Heizöls an.

2.2 Verbesserung Ist-Zustand

Die Berechnung lokalisiert die Trockensubstanz als grössten Einflussparameter der Energiebilanz. Je mehr TS in der Schlammmenge vorhanden, desto grösser ist der organische Mengenanteil, welcher zu Faulgas umgewandelt wird. Analog der Erhöhung des TS, sinkt die Input-Schlammmenge gleichmässig ab und hält so die Gasproduktion konstant. Die Veränderung des TS erhöht nicht etwa die zur Verfügung stehende Energiemenge, sondern reduziert den Energieverbrauch. Um die TS zu verändern, benötigt die Kläranlage eine zusätzliche mechanische Filteranlage in der Vorklärung, die im nachfolgenden Kapitel vorgestellt wird.

2.3 Kostenabschätzung

2.3.1 Erhöhung des Trockensubstanzanteiles im Rohschlamm

Um den TS im Rohschlamm zu erhöhen kann an zwei Stellen im System angesetzt werden. Der Rohschlamm kann nach dem Abpumpen aus dem Vorklärbecken (z.B. mit einer Pressschnecke oder Schlammeindicker mit Krälwerk) eingedickt werden oder man ersetzt die konventionelle Vorklärung durch ein Verfahren, das einen Rohschlamm mit höherem TS generiert.

Da mit einer Pressschnecke nach der Vorklärung die Probleme der Abwasserbehandlung nicht verändert bzw. verbessert werden können, sollte der Fokus auf die Verbesserung der überlasteten Vorklärung gerichtet werden. Diese nimmt eine zentrale Rolle des Systems ein, da sie sowohl einen stofflichen Einfluss auf die Abwasserbehandlung, als auch über den TS-Gehalt des Rohschlammes einen Einfluss auf den Energiebedarf ausübt. Um in beiden Bereichen Verbesserungen zu erzielen, sollte neben der Erhöhung des TS im Rohschlamm auch eine erhöhte CSB-Eliminationsleistung und eine effizientere Feststoffabscheidung angestrebt werden.

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten die klassische Vorklärung durch effizientere Systeme zu ersetzen. Neben Verfahren, die optional mit Zusatzmitteln die Flockung und Sedimentation unterstützen (Actiflo®, Lamellenabscheider), gibt es auch rein mechanische Abscheideverfahren (Salsnes-Filter, Micropur®).

Verfahren mit einem **Lamellenabscheider** entsprechen grundsätzlich einem konventionellen Klärbecken (Flockung und Sedimentation), das mit eingebauten Lamellen die Sedimentationsstrecke verkürzt. Dadurch wird der Platzbedarf erheblich minimiert. Hinsichtlich der Reinigungswirkung und Anfall der Reststoffe können die Erkenntnisse aus konventionellen Klärbecken herangezogen werden.

Das **Actiflo®**-Verfahren ist Flockungs- und Sedimentationsverfahren, welches auf einem Lamellenabscheideverfahren basiert. Zur Steigerung der Reinigungswirkung werden dem Lamellenabscheider drei Becken (Koagulations-, Injektions- und Reifebecken) vorgeschaltet, die mit Hilfe von feinstem Sand und Flockungsmittel die Abscheidegrade für TSS und CSB maximieren.

Das **Salsnes-Filter**-Verfahren ist ein rein mechanisches Wasseraufbereitungsverfahren, das mit Hilfe eines feinen, in einem Laufband integrierten Filters das Abwasser reinigt.

Das **Micropur®**-Verfahren ist ebenfalls ein mechanisches Reinigungsverfahren, das im Unterschied zum Salsnes-Filter-Verfahren einen Trommelfilter verwendet und mit wesentlich geringerem Stromverbrauch betrieben werden kann.

In Tabelle 2 werden die Eckdaten der verschiedenen Verfahren einander gegenübergestellt. Bezüglich der Anforderungen im vorliegenden Fall schneiden die Sedimentationsverfahren (Lamellenabscheider, Actiflo®) im Bereich TS des Rohschlammes schlechter ab als die mechanischen Abscheideverfahren. Zudem sind beim Actiflo® die Kosten und der Energieverbrauch sehr hoch. Der Vergleich der mechanischen Abscheideverfahren (Salsnes-Filter, Micropur®) zeigt auf, dass der Abscheidegrad des TSS, der TS des Rohschlammes und die Kosten in etwa gleich sind. Beim Abscheidegrad des CSB und dem Energieverbrauch schneidet das Micropur®-Verfahren besser ab. Aufgrund des aufwendigeren Aufbaus der Salsnes-Filteranlage wird zudem mit einem höheren Wartungsaufwand gerechnet. Insgesamt erfüllt das Micropur®-Verfahren die gestellten Anforderungen am besten.

Tabelle 2: Vergleich der verschiedenen Reinigungsanlagen

	aktuell	Lamellenabscheider	Actiflo®	Salsnes-Filter	Micropur®
Abscheidegrad TSS [%]	keine Daten	50	80-99	40-80	70
Abscheidegrad CSB [%]	25	25	50-80	20-35	40
Rohschlamm TS [%]	2.7	4	4-8	6 - 10 (bis 35)	5 - 8 (bis 30)
Energieverbrauch [KWh]	-	1	650	60-80	12
Flockungsmittel	-	nein	ja	nein	nein
Materialkosten (+Einbau) [CHF]	-	50 000 (+20 000)	1 000 000 (inkl. Einbau)	100 000 (+40 000)	100 000 (+40 000)
Hersteller/Anlagenbauer	-	Zyklomat/ WABAG/GEA	ALPHA/ Veolia Water	Bluewater Technologies	Passavant/ WABAG
Einbau in Gebäude notwendig	-	nein	nein	ja	nein

3 Wärmemanagement der ARA Sernftal

3.1 Ist-Zustand vom Wärmemanagement

Eines der Probleme ist wie in der Einleitung beschrieben das Wärmemanagement.

Abbildung 2 zeigt die für die Wärmeproduktion, Wärmetransport und Biogasproduktion zuständigen Bauteile. In dieser Erläuterung werden nur diese drei Bauteile betrachtet. Es werden grundsätzlich drei verschiedene Stoffflüsse beschrieben: Wasserkreislauf Schlammweg und Gaswege.

Schlammweg

Überschreitet der Rohschlamm im Vorklärbecken (VKB) eine bestimmte Menge oder Konzentration, wird der Rohschlamm in den Schlamm Schlacht gepumpt. Die Rohschlammtemperatur schwankt nach Jahreszeit von 5.5°- 15°C. Bei einem Inhalt von 1m³ fördert die Rohschlammpumpe den Schlamm in den Faulturm. Um die ideale Reaktortemperatur von 38°C zu erreichen wird der Schlamm mit Hilfe der Umwälzpumpe über den Wärmetauscher aufgewärmt. Bei der Neubeschickung des Faulturmes gelangt der vergorene Überschuss ins Stapelbecken, wo er von ca. 37°C auf ca.16°C abkühlt. Im Frühling 2011 wurde der Faulturm durchschnittlich alle zwei Stunden mit 0.75 m³ beschickt. Der Dekanter entlädt periodisch den Stapel und entwässert ihn auf ca. 20% TS, wo er schlussendlich mit einem Muldenkipper entsorgt wird. Das Faulwasser von der Gärung, Stapel und Dekanter wird zum VKB rückgeführt.

Wasserkreislauf

Der Zweistoffbrenner (Gas/Öl) heizt Wasser für den Wärmetauscher auf. Der Heizkessel hat im Vorlauf (VL) ca.85°C und im Rücklauf(RL) 48°C. Die Umwälzpumpe leitet das heiße Wasser zum Wärmetauscher, wo der Schlamm auf 38°C Aufgewärmt wird.

Gas

Das im Faulturm entstehende Biogas wird im Gasspeicher (Gasometer) mit einem Gesamtvolumen von 50m³ mit 24 mbar gespeichert. Die Heizung wird primär mit diesem Biogas betrieben. Ist das Gasometer leer schaltet die Heizung automatisch auf Heizöl um. Ist das Gasometer voll wird das Überschüssige Biogas mit der Fackel abgebrannt.

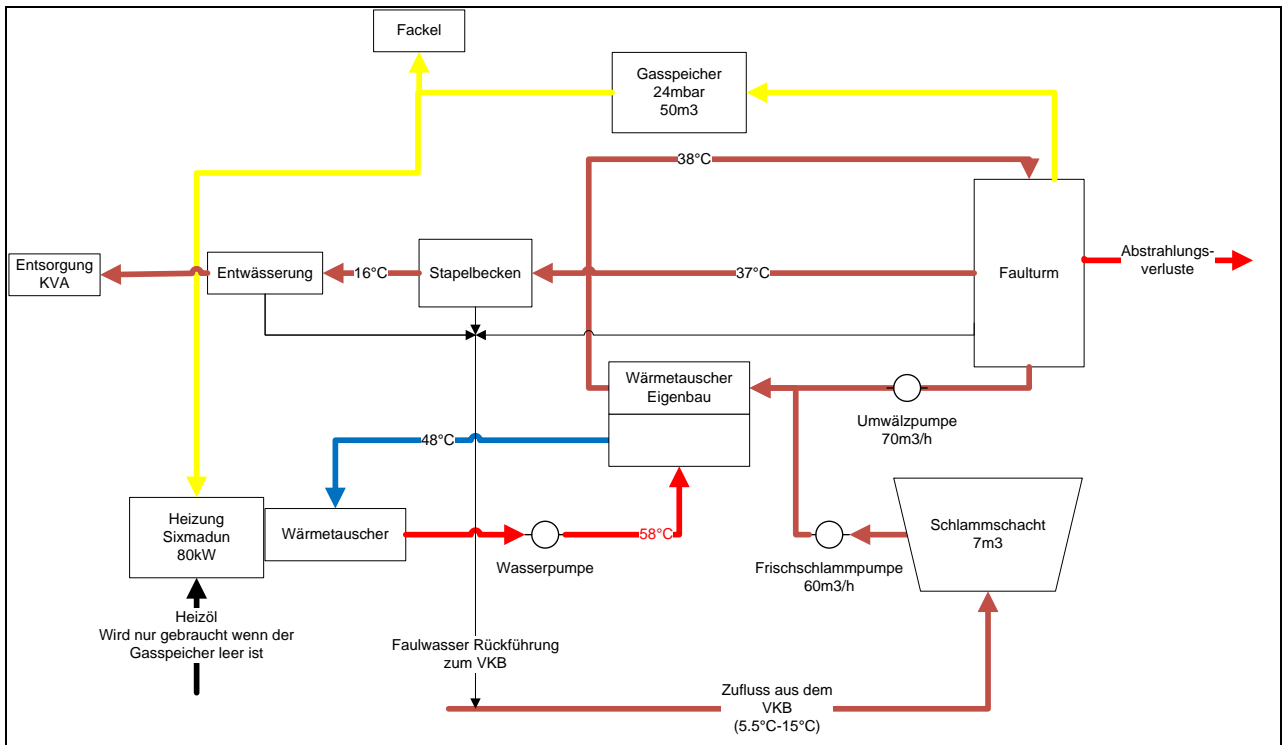


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Schlammwärmung mit Biogasproduktion. (Rote und Blaue Pfeile= Wasserkreislauf, Braune Pfeile = Schlamm, Gelbe Pfeile = Gas, Schwarzer Pfeil = Heizöl)

3.2 Wärmebedarf für den Faulturm

Abbildung 3 zeigt die Wärmebilanz des Faulturmes. Die rote Linie zeigt die total produzierte Nutzenergie mit Öl und Gas ohne die Energie welche über die Fackel weggeht. Der Energiebedarf wird mit der grünen Linie dargestellt. Die Differenz zwischen Nutzenergie und Bedarf ergibt den Energieüberschuss. Es wird also mehr Energie produziert als benötigt. Im Durchschnitt über die gemessene Zeit besteht ein Energieüberschussangebot von 1'315 kWh / Woche (SieheTabelle 11). Den abnehmenden Energiebedarf im Verlaufe der Zeit ist plausibel da im Winter mehr Energie benötigt wird als im Sommer. Ersichtlich ist auch dass im Winter die Differenz zwischen Bedarf und produzierter Energie grösser ist da die Verluste grösser sind. Die gelbe Linie zeigt die Energie welche aus dem Gas in Nutzenergie umgewandelt wird (ohne die Fackel).

Der gesamte Energieanteil welcher über das Öl gedeckt wird schwankt von Januar bis Mai zwischen 2'500 und 3'000 kWh/ Woche. Nach Mai sinkt dieser gegen Null.

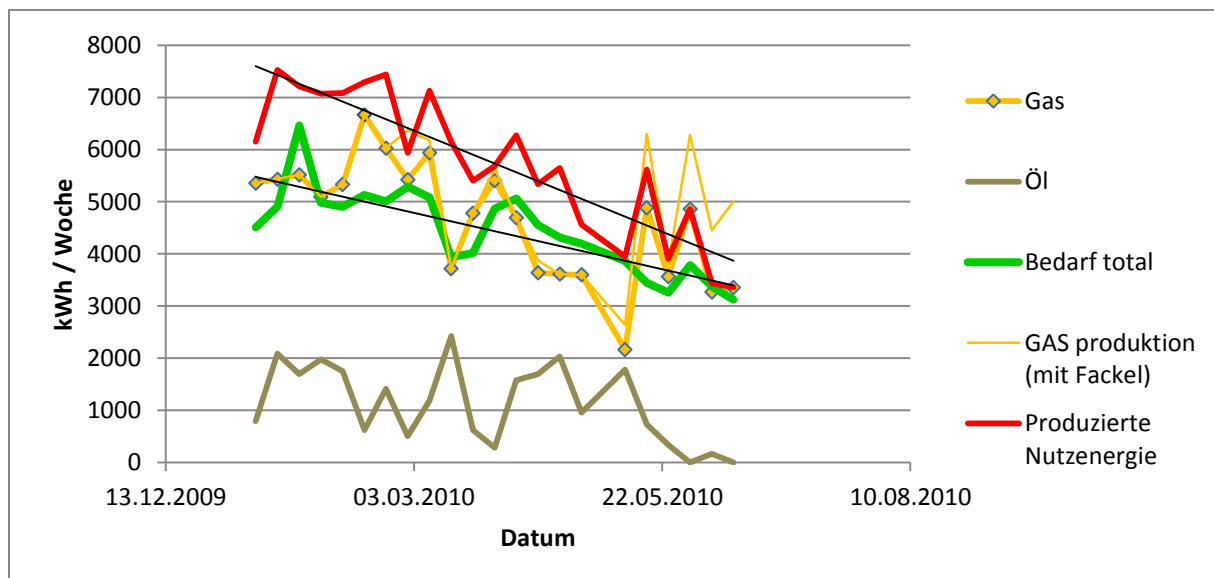


Abbildung 3: Wärmebilanz vom Faulturm von 11.1.2009-14.6.2010 (Die Daten für diese Darstellung stammen von der Tabelle 9, Schlussbericht Optimierungsmassnahmen der Firma TBF + Partner AG).

Zusammenfassend stellt sich heraus, dass innerhalb einer Woche mehr Energie als benötigt Produziert wird. Der Energiebedarf könnte sogar mehrheitlich mit eigenem Biogas gedeckt werden. Gründe für den hohen Ölverbrauch könnten folgende Punkte sein.

1. Hohe Wärmeverluste im Faulturm. D.h. Schlechte Faulturmisolation
2. Schlechter Wirkungsgrad von der Heizung und vom Wärmetauscher
3. Unregelmässig Gasproduktion, schwankender Tagesablauf von Energiebedarf und Gasproduktion

3.2.1 Wärmeverluste Faulturm

Mit der Energie Bilanz des Faulturms, soll dargestellt werden wo die grössten Wärmeverluste im Faulturm auftreten (Abbildung 4 zeigt die Energieflüsse im Faulturm).

Die Zahlen für die Verlustberechnungen über die Oberfläche des Faulturms (U-Werte, Flächen) stammen aus dem Bericht von TBF + PARTNER AG. Auch der gesamte Energieverbrauch für den Faulturm stammt aus dem Bericht. Es ist darauf zu achten das Wärmeverluste die durch Wirkungsgrade im Brenner und in den Wärmetauschern auftreten nicht berücksichtigt werden, da es primär darum geht die Differenz zwischen der aktuellen und einer verbesserten Situation darzustellen.

Die Verluste über die Oberfläche werden nach der folgenden Formel berechnet.

$$Q = \Delta T \cdot A \cdot U$$

Q: Wärmefluss	[W]
ΔT : Temperaturdifferenz innen aussen	[K]
A: Oberfläche	[m ²]
U: U-Wert	[W/(m ² *K)]

Da der Faulturm aus unterschiedlichen Materialien mit verschiedenen U-Werten aufgebaut ist, wird die Berechnung für jedes Material und die dazugehörige Fläche berechnet und anschliessend die Summe daraus gebildet. Die Unterschiede liegen in den U-Werten gegen das Erdreich, gegen die Aussenluft und gegen das Verwaltungsgebäude.

Der Wärmefluss wird mit den Stunden pro Woche multipliziert, um die wöchentlichen Verluste zu erhalten.

Da die Aktuellen U-Werte sehr hoch sind, wird die gleiche Berechnung mit einer verbesserten Wärmedämmung gemacht um das Einsparpotential darzulegen. Bei der verbesserten Dämmung wird von einem Wärmeübergangskoeffizient (U-Wert) von 0.32 W/(m²*K) ausgegangen. Diese Zahl beruht auf einem Produktebeschrieb der Firma BASF. Der verwendete U-Wert wird mit einer Materialstärke von 100mm erreicht.

Weiter wird die Möglichkeit eines Wärmetauschers, mit welchem die Energie im Ausgefauten Schlamm zurückgewonnen werden kann, berechnet. Für diese Berechnung wird die Annahme gemacht, dass die Wärmespeicherkapazität vom Faulschlamm dem des Wassers entspricht. Die Masse an Schlamm welche aus der Faulung rauskommt stammt aus den Betriebsdaten die vom Klärmeister zu Verfügung gestellt wurden. Es wird bei dieser Berechnung nicht berücksichtigt, dass ein Teil der Masse des Schlamms in Biogas umgewandelt wird.

Formel:

$$Q = m \cdot \Delta T \cdot c$$

Q: thermische Energie [Wh]

 ΔT : Temperaturdifferenz [K]

c: spezifische Wärmekapazität [Wh/(kg*K)]

Die Ruhr Wasserwirtschafts Gesellschaft stellt ein Wärmetauscher vor mit dem der Schlamm welcher in die Faulung kommt (bei mesophilen Faulungen) um 10°C erwärmt werden kann. Abbildung 4 zeigt die Energieflüsse vom Faulturm. Verbesserungspotential liegt darin die Verluste über die Oberfläche zu minimieren und die enthaltene Energie im Faulschlamm zurückzugewinnen. Ziel soll sein das durch die Rückgewinnung aus dem warmen Schlamm der Öl Input ersetzt werden kann.

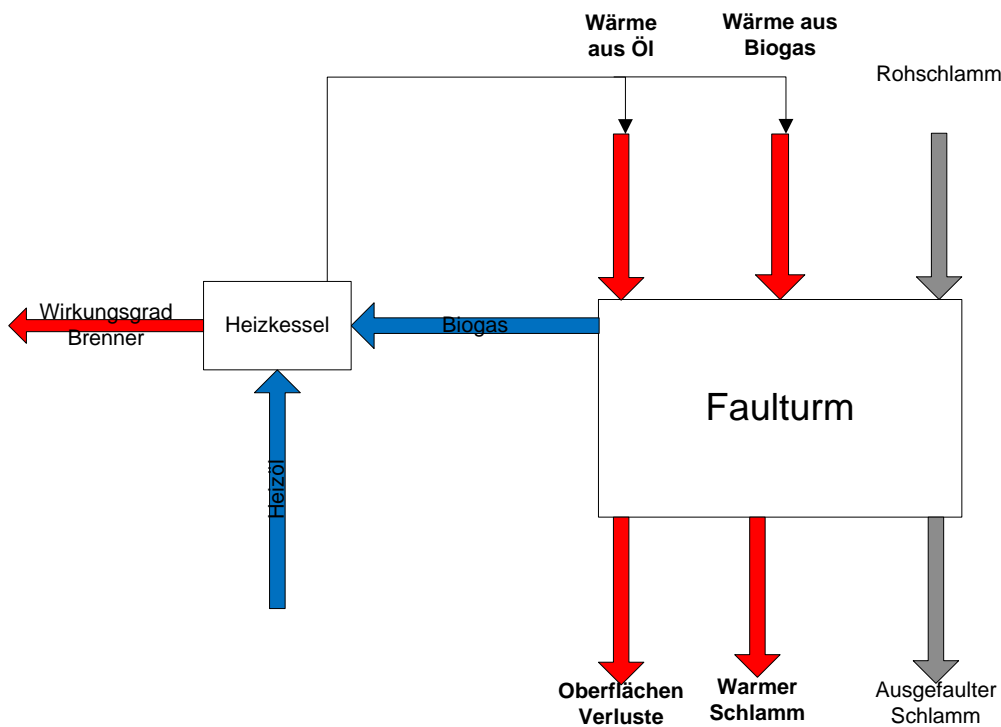


Abbildung 4: Faulturm mit relevanten Flüssen.

3.2.2 Verbesserung Energetischer Ist- Zustand im Faulturm

Wärmedämmung:

Im Folgenden wird die Verbesserung dargestellt die erreicht werden kann wenn der Faulturm Isoliert wird. Die U-Werte sind im Szenariobericht (Tabelle 3) aufgetragen. Gegen das Erdreich wird mit einer Temperaturdifferenz von 32.5°C, gegen die Aussenluft 51.5°C und gegen das Gebäude 26.5°C gerechnet. Somit sind die Zahlen für die Wintermonate, im Sommer hat diese Tabelle keine Bedeutung.

Tabelle 3: Vergleich der Aktuellen und der verbesserten Wärmeverluste über die Oberfläche des Faulturms.

Szenariobericht Faulturmisolation		
	Aktuell	Verbessert
Veränderbare Zellen (U-Werte)		
Gegen_Erdreich	3.77	0.32
Aussenluft	2.20	0.32
Gegen_Gebäude	0.84	0.84
Ergebniszellen (kWh/Woche)		
Wärmeverluste	1911	435

Der Gesamtverbrauch an Wärme für die Faulung wird im Schlussbericht Optimierungsmassnahmen der Firma TBF + Partner AG in Tabelle 9 auf 5'271 kWh/Woche beziffert. Die Einsparungen an Energie betragen 1'400 kWh pro Woche, was etwa einem Anteil von 25% entspricht.

Wärmerückgewinnung aus Faulschlamm:

Pro Woche kommen aus dem Faulturm 60 m³ Schlamm mit einer Temperatur von 36°C. Mit dem in den Methoden erwähnten Wärmetauscher, und einer Temperaturdifferenz von 10°C können 700 kWh/Woche aus dem Schlamm zurückgewonnen werden. Dies entspricht 60% der Hälfte des Wöchentlichen Öl Verbrauchs.

Tabelle 4: Berechnung der gewonnenen Energie durch die Rückgewinnung aus dem Faulschlamm

Schlamm	kg/Woche	60'000
Temperatur vor Wärmetauscher	°C	10
Temperatur nach Wärmetauscher	°C	20
Temperaturdifferenz	°C	10
Spezifische Wärmekapazität Schlamm	kWh/(kg*K)	0.0011667
Gewonnene Energie	kWh/Woche	700

Weiter ist zu berücksichtigen, dass durch den Wärmetauscher der gesamte Input an Wärme sinken wird. Dieser verminderte Gesamtinput an Energie ist relevant wenn beispielsweise der Brenner ausgetauscht werden soll.

3.2.3 Kostenabschätzung

Dämmung

Die Materialkosten sollten an den Kosten der Gesamten Sanierung des Faulturms relativ gering ausfallen. Die in der folgenden Tabelle dargestellten m²-Preise stammen von der Firma BASF und sind im Internet verfügbar. Es ist darauf zu achten, dass die Preise im Internet in Euro angegeben werden. Weiter ist es durchaus denkbar, dass Materialien mit ähnlichen Eigenschaften auch bei einem lokalen Baustoffhandel verfügbar sind.

Der Zeitaufwand ist in dieser Kostenabschätzung mit 2 Personen und 2 Wochen hoch gerechnet.

Tabelle 5: Kostenabschätzung der Sanierung des Faulturms

		Gegen Erdreich	Aussenluft	Total
Oberfläche	m ²	41.20	43.00	
Isolationsmaterial	CHF/m ²	20	20	
Gesamte Material Kosten	CHF	824	860	1'684.00
Stundenaufwand 2 Personen	h	60	80	
Stundenansatz	CHF/h	120	120	
Zeitkosten		7200	9600	16'800.00
			Total	18'484.00

Wärmetauscher

Nach Rücksprache mit der Firma RWG Ruhr-Wasserwirtschafts-Gesellschaft mbH würden für die angestrebte Temperaturerhöhung 2 Module des Rekuperator Typ II R_3'000 benötigt. Die Kosten für 2 solche Module liegen momentan bei rund 7'000 Euro. Zusätzliche Kosten würden durch die individuelle Anpassung der Module und die Montage entstehen. Jedoch sollten im gesamten die Kosten nicht über 30'000CHF sein (Anhang 2).

3.3 Wärmeverluste in der Produktion und der Übertragung von Energie

Der Wärmebedarf für die Erwärmung des Rohschlammes ist gemäss TBF + PARTNER AG mit 67 kWh/m³ oder 3'592 kWh/Woche sehr hoch. Gemäss ATV Handbuch wird der theoretische Wärmebedarf nach Formel

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Q: Wärmemenge	[W]
M: tägliche Schlammmasse	[kg]
C: spezifische Wärmekapazität	[W/(m ² *K)]
ΔT : Temperaturdifferenz	[K]

berechnet.

Unter Winterbedingungen im Sernftal (Temp. Rohschlamm 5.5°C) ergibt sich somit ein theoretischer Energieaufwand von 37.7 kWh/m³. Der gesamte Energiebedarf für die Rohschlammerwärmung in der ARA Sernftal ist somit im Vergleich zum theoretischen Wärmebedarf, mehr als doppelt so hoch.

Wärmeverluste in der Wärmeproduktion entstehen hauptsächlich im Heizkessel und im Wärmetauscher. Verluste im Übertragungssystem können gemäss ATV vernachlässigt werden. Über den Wirkungsgrad und die Wärmeverluste im Heizkessel und Wärmetauscher sind kaum Daten Vorhanden. Bekannt ist dass es sich um eine 80kW Sixmadun Heizung handelt welche bereits 32 Betriebsjahre auf sich hat. Beim Wärmetauscher handelt es sich um einen Eigenbau von der Firma Frei (Gemäss Auskunft von Herr Samuel Blumer). Eine Detailliertere Betrachtung der Energieproduktion kann hier aus diesem Grund nicht durchgeführt werden. Zu beachten ist auch dass der erhöhte Energiebedarf für die Schlammwärmung nicht nur von der Effizienz der Heizung abhängt. Die Beschaffenheit wie Volumen, Temperatur und TS des Rohschlammes trägt einen wesentlich grösseren Beitrag zum Energiebedarf bei. Um die Wärmeproduktion und Wärmeübertragung zu optimieren werden weitere Untersuchungen und Messungen an den beteiligten Bauteilen benötigt. Vermutet wird auch dass der Wasserkreislauf im Verhältnis zur Schlammmenge viel kleiner ist und somit wenig Energie übertragen wird. Fest steht dass der Umbau auf eine Moderne Heizungsanlage hohe Kosten mit sich bringt und der Nutzen höchsten mässig eingeschätzt wird.

3.4 Unregelmässige Gasproduktion

Aus Abbildung 3 ist ersichtlich dass die totale Gasproduktion grösser ist als der gesamte Energiebedarf. In Winterwochen wurde sogar ein hoher Ölverbrauch mit gleichzeitiger hoher Gasproduktion beobachtet. Aus dieser Tatsache wird geschlossen dass sich über die Zeit der Energiebedarf mit der Gasproduktion nicht deckungsgleich ist .d.h. es ist z.B. kein Gas vorhanden wen Energie benötigt wird, so lässt sich der hoch Ölbedarf erklären. Gemäss Samuel Blumer steigt die Gasproduktion kurzfristig beim Umrühren und Umwälzen des Faulturmes und beim Beschicken von Rohschlamm. Beschickt wird der Faulturm, wie auf Seite 14 beschrieben, alle zwei Stunden. Dadurch entsteht keine kontinuierliche Gasproduktion.

3.4.1 Verbesserung des Ist-Zustandes bei der Energiespeicherung

Aufgrund des Energieüberschusses über eine Woche besteht der Verdacht dass zu wenig Energie gespeichert werden kann. Der Energieüberschuss summiert sich aus der Energie welche über die Gasfackel verloren geht und dem zusätzlichen dafür eingesetzten Öl. Tabelle 6 zeigt die theoretische Gasspeicherkapazität im vorhandenen 50m³ Gasspeicher. Bei Normaldruck (1bar) kann man in 50 m³ eine Wärmeenergie von 325 kWh speichern. Dies entspricht der Wärmemenge welche benötigt wird um 4.9 m³ Rohschlamm aufzuwärmen. Das heisst der Gasspeicher ist in der Lage die Energie zu speichern für die Hälfte der täglichen zu erwärmende Rohschlammmenge.

Tabelle 6: Theoretische Energiespeicherkapazität im vorhandenen Gasspeicher (65% Methan im Biogas)

Theoretische Gasometerspeicherleistung		
Gasometervolumen (1bar)	m ³	50
Heizwert Biogas *	kWh /m ³	6.5
Wärmebedarf Rohschlamm**	kWh /m ³	67
tägliche Rohschlammmenge	m ³ /d	8.7
max. gespeicherte Wärmemenge im Gasometer	kWh	325
theoretische Schlammmenge welche ein Gasometerinhalt aufwärmen kann	m ³	4.9
täglich benötigte Wärmemenge	kWh/d	583

Eine Speichervergrößerung kann das Problem der zeitlichen Verschiebung von Energieüberschuss und Energiebedarf entschärfen. Ein zusätzlicher Speicher dient in diesem Fall als Puffer. Das überschüssige Biogas kann in Form von Gas, oder Wärme in einem Boiler gespeichert werden. In beiden Fällen wird verhindert das Biogas über die Fackel verbrannt wird und das gesamt produzierte Biogas verwendet werden kann. Die Berechnung für den Speicher basiert auf dem durchschnittlichen Tagesbedarf von 583 kWh/d. Vernachlässigt werden tägliche Spitzenlasten welche besonders in den Wintermonaten hoch sind (Siehe Tabelle 13).

Erweiterung Gasspeicher

Um eine Wärmeenergie von 583 kWh (2009) zu produzieren muss 100 m³ Biogas mit einem Brenner mit einem Wirkungsgrad von 90%, verbrannt werden. Abzüglich des bereits vorhandenen Gasometers von 50 m³ wird zusätzlich nochmals ein 50 m³ Speicher benötigt. Ein Speicher in der Größenordnung hat eine Dimension.

Vorteil: Gasspeicherung benötigt weniger Platz

Wärmespeicherung im Pufferspeicher

Der bestehende Heizkessel erwärmt das Prozesswasser für den Wärmetauscher auf ca.60°C. Speichert man eine Wärmemenge von 583 kWh in einem Pufferspeicher, benötigt man ein Speichervolumen für 50 m³ Wasser (Siehe Tabelle 13).

Vorteil: Die Energie ist im Wasser gespeichert und kann bei Ausnahmefällen auch auf höhere Temperaturen als 60°C geheizt werden.

3.4.2 Kostenabschätzung

Pufferspeicher

Ein Pufferspeicher, der den Tagesdurchschnittlichen Wärmebedarf der Heizung speichern kann, benötigt relativ viel Platz. Es gibt zwei Möglichkeiten den Pufferspeicher zu platzieren.

1. Unterirdische Wärmespeicherung

Vorteile: Boden dient als zusätzlicher Isolator (konstante Temperatur)

Nachteil: Hoher Installations- und Kostenaufwand wegen dem Aushub

2. Oberirdische Wärmespeicherung

Vorteil: Kostengünstiger da Aufwand für Aushub entfällt

Nachteil: Oberirdischer Platzbedarf, optische Störung, schwankende Aussentemperaturen

Auf eine detaillierte Kostenabschätzung wurde hier verzichtet da viele Variable stark schwanken und Standortabhängig sind. z.B. Grossen Einfluss auf die Gesamtkosten hat der Aushub, welcher stark von der Bodenbeschaffenheit, Speichergrosse und Deponierung des Aushubs abhängt. Die Installation in die bestehende Anlage wird nicht als problematisch betrachtet und ist auch nicht mit enormen Kosten verbunden. Tabelle 7 zeigt die Kosten für verschiedene Speichergrossen. Je grösser der Speicher desto kleiner wird der Preis verhältnismässig. Aus diesen Gründen werden für die ARA Sernftal totalen Kosten für einen 50 m³ Pufferspeicher in der Grössenordnung 50'000 CHF geschätzt.

Tabelle 7: Kosten für verschiedene Speicherkapazitäten

Nenninhalt in Liter	Preis in CHF
20'000	22'100
30'000	26'000
60'000	35'100
100'000	58'500

Gasspeicher

Die Kostenabschätzung für die Gasspeichererweiterung ist wie beim Pufferspeicher schwierig, da es viele kostenintensive Variable zu berücksichtigen gibt. Die Folgenden Aussagen und Empfehlungen wurden mit Hilfe der Firma di-tec AG erarbeitet. Von einer Erweiterung des bestehenden Gasspeichers wird Grundsätzlich abgeraten. Gründe dafür sind die doppelten Unterhaltskosten für zwei Speicher und eine aufwändigere Verfahrenstechnik mit einer doppelten Leitungsführung. Die Gefahr besteht darin, dass man sich neue Probleme schafft, anstatt zu eliminieren. Der bestehende Gasspeicher kann somit durch ein Speichervolumen von 100 m³ ersetzt werden. Als kostengünstige Variante kommt in solchen Fällen häufig ein druckloser Ballongasspeicher zum Einsatz (< 100 mbar). Ein zur Erzeugung des Vordruckes benötigter Verdichter entfällt, wenn man eine zusätzliche Druckplatte auf das Ballonkissen montiert. Eingebaut wird das System in bestehenden Räumen oder in einfachen Stahlbauten. Eine Komprimierung um die 100 m³ Gas auf kleinem Raum zu Speichern kommt aus hohen Investitionskosten und zu kleiner Gasmenge nicht in Frage. Für die ARA Sernftal muss beachtet werden, dass eine Stahlkonstruktion zusätzlich Isoliert werden müsste, da das entstehende Kondenswasser im Winter sonst gefrieren würde. Tabelle 8 zeigt die geschätzten Kosten für einen Gasspeicher.

Tabelle 8: Geschätzte Kosten für Gasspeicher

	Geschätzte Investitionskosten in CHF
Gasspeicher 100 m ³ (Einbau im Bestehenden Gebäude)	40`000-50`000
Stahlkonstruktion + Isolierung	50`000
Total	90`000-100`000

Um die Wirkung der Massnahme zu überprüfen bietet sich an, während einer Probezeit einen mobilen Speichertank an das bestehende System anzuschliessen.

Vorstellbar wäre es, einen Gastanklastwagen über eine Definierte Zeit an der ARA als Speichertank anzuschliessen und die Veränderungen des Gasverbrauchs zu Dokumentieren. Mit der Analyse dieser Veränderungen können Schlüsse gezogen werden ob die Installation eines Gastanks sinnvoll wäre.

3.5 Preis-Leistungs-Vergleich der verschiedenen Lösungen

Um das Verhältnis von Preis und Leistung der verschiedenen Lösungsvorschläge abschätzen zu können, wurden in der Tabelle 9 die Kosten der vorgeschlagenen Massnahmen den zu erwartenden Energieeinsparungen eines Jahres gegenübergestellt. Daraus wird ersichtlich, dass mit einer Isolation des Faulturmes mit relativ geringen Kosten (0.2 CHF pro kWh) die grösste Energieeinsparung möglich ist.

Die Erhöhung des TS im Rohschlamm auf mindestens 3.3% schneidet im Vergleich mit 4.40 CHF pro kWh am schlechtesten ab. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass ein effizienteres Verfahren bei der Vorklärung nicht nur Einfluss auf das Energiemanagement nimmt, sondern gleichzeitig die Probleme der Kläranlage lösen könnte oder zumindest grosse Verbesserungen mit sich bringt. Laut dem Bericht der Firma TBF + Partner AG sind bauliche Massnahmen bei der Vorklärung praktisch unumgänglich. In Anbetracht dieser Situation kann der zusätzliche, positive Effekt dieser Massnahmen auf das Energiemanagement als Bonus für eine Notwendigkeit bezüglich dem Betrieb der Kläranlage erachtet werden.

Den Gasometer und Pufferspeicher kann keine Energieeinsparung zugeschrieben werden, da diese zwar den Energieverlust über das von der Fackel verfeuerte Gas verhindern und somit den Ölverbrauch senken, jedoch keine effektive Energieeinsparung im System generieren.

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Kosten mit der Jährlichen Einsparung

	TS 3.3%	Isolation Faulturm	Wärmerück- gewinnung	Gasometer	Puffer- speicher
Energieeinsparung [kWh/a]	32'000	77'000	30'400	-	-
Kosten [CHF]	140'000	18'500	30'000	100'000	50'000
Kosten pro kWh [CHF/kWh]	4.4	0.2	1.0	-	-

4 Literaturverzeichnis

2011. <http://www.basf.de>. [Online] April 2011. Webseite der Firma BASF.

http://www.basf.de/basf2/img/produkte/kunststoffe/styrodur/pdf/pdfger/BASF_Styrodur_Waermedaemmung_Biogasanlagen.pdf?id=S4SC_CbaYbw22-B

2011. <http://www.rwg-mbh.com>. [Online] Mai 2011. Webseite der Firma RWG Ruhr-Wasserwirtschafts-Gesellschaft mbH.

http://www.basf.de/basf2/img/produkte/kunststoffe/styrodur/pdf/pdfger/BASF_Styrodur_Waermedaemmung_Biogasanlagen.pdf?id=S4SC_CbaYbw22-B

2011. www.blueh2o.net. [Online] April 2011. Webseite der Firma Blue Water Technologies

2011. www.salsnes-filter.no. [Online] April 2011. Webseite der Firma SALSNES FILTER AS

2011. www.veoliawaterst.com. [Online] April 2011. Webseite der Firma Veolia Water Solutions & Technologies

2011. www.vws-aquantis.com. [Online] April 2011. Webseite der Firma Aquantis wastewater treatment

2011. www.wabag.com. [Online] April 2011. Webseite der Firma WABAG Wassertechnik

2011. www.zyklomat.de. [Online] April 2011. Webseite der Firma Zyklomat Filtertechnik

Bücher, Berichte und mündliche Quellen:

Blumer, Samuel. 2011. April 2011. (Klärmeister).

Diem, Dipl.- Ing. Werner. 2011. Mai 2011.(Geschäftleiter und Inhaber DI-Tec)

Leschber, Reimar und Loll, Ulrich. 1996. *ATV- Handbuch Klärschlamm*. 1996.

Ringwald, Jörg und Fux, Dr. Christian. 2011. *Schlussbericht Optimierungsmassnahmen (Abwasserverband Sernftal der Gemeinden Engi, Matt und Elm)*. 2011.

—. 2009. *Zwischenbericht Optimierungsmassnahmen (Abwasserverband Sernftal der Gemeinden Engi, Matt und Elm)*. 2009.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Szenariobericht der aktuellen Version und der Situation ohne Ölverbrauch.	10
Tabelle 2: Vergleich der verschiedenen Reinigungsanlagen	13
Tabelle 3: Vergleich der Aktuellen und der verbesserten Wärmeverluste über die Oberfläche des Faulturms.....	19
Tabelle 4: Berechnung der gewonnenen Energie durch die Rückgewinnung aus dem Faulschlamm.....	19
Tabelle 5: Kostenabschätzung der Sanierung des Faulturms	20
Tabelle 6: Theoretische Energiespeicherkapazität im vorhandenen Gasspeicher (65% Methan im Biogas)	22
Tabelle 7: Kosten für verschiedene Speicherkapazitäten	24
Tabelle 8: Geschätzte Kosten für Gasspeicher.....	25
Tabelle 9: Gegenüberstellung der Kosten mit der Jährlichen Einsparung	26
Tabelle 10: Detaillierte Berechnung TS	29
Tabelle 11: Wärmebilanz Faulturm	31
Tabelle 12: Theoretischer Wärmebedarf für die Rohschlammerwärmung.....	31
Tabelle 13 Berechnung theoretische Speichervergrößerung.....	32

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der ARA	8
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Schlammerwärmung mit Biogasproduktion.	15
Abbildung 3: Wärmebilanz vom Faulturm	16
Abbildung 4: Faulturm mit relevanten Flüssen.....	18
Abbildung 5: Mail zur Kostenabschätzung des Rekuperators	30

Anhang

Tabelle 10: Detaillierte Berechnung TS

Bezeichnung	Einheit	Original					Zero- Ölver- brauch
		- Statisch	Dynamisch 1	Dynamisch 2	Dynamisch 3	Dynamisch 6	
TS-Konzentration relativ	%	2.7	2.7	3	4	7	3.217
Menge pro Woche (Durchschnitt 2010)	m ³ /Woche	52.300	52.300	47.070	35.303	20.173	43.893
Glühverlust Rohschlamm relativ	% oTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Glühverlust Faulschlamm relativ	% oTS	0.604	0.579	0.579	0.579	0.579	0.579
Glührückstand Faulschlamm relativ	% mTS	0.396	0.421	0.421	0.421	0.421	0.421
spezifische Gasproduktion	m ³ /kg oTS	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Brennwert Gas	kWh / m ³	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
Brennwert Öl	kWh / Liter	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08
Wirkungsgrad Brennkessel	-	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Energiebedarf Faulturm pro m ³ Schlamm	kWh / m ³	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6
Ideale Aufenthaltszeit Schlamm im Faulturm	d	20	20	20	20	20	20
Aufenthaltszeit Schlamm im Faulturm	d	29.446	29.446	32.717	43.623	76.340	35.085
Füllvolumen Faulturm (Schlamm)	m ³	220	220	220	220	220	220
Anfallende Schlammmenge	m ³ /d	7.471	7.471	6.724	5.043	2.882	6.270
TS-Konzentration absolut	kg TS/m ³	27	27	30	40	70	32.172
Rohschlammfracht	kg TS/d	201.729	201.729	201.729	201.729	201.729	201.729
Faulschlammfracht	kg TS / d	115	119.892	119.892	119.892	119.892	119.892
Org. Gehalt Rohschlamm absolut	kg oTS/d	151.296	151.296	151.296	151.296	151.296	151.296
Min. Gehalt absolut	kg mTS/d	50.432	50.432	50.432	50.432	50.432	50.432
Org. Gehalt Faulschlamm absolut	kg oTS/d	69.46	69.46	69.46	69.46	69.46	69.46
Org. Masse umgewandelt in Biogas	kg oTS/d	81.836	81.836	81.836	81.836	81.836	81.836
Erwartete Gasproduktion	m ³ /d	73.653	73.653	73.653	73.653	73.653	73.653
Erwartete Energieproduktion	kWh / d	417.611	417.611	417.611	417.611	417.611	417.611

Energiebedarf	Total Energiebedarf Faulturm	kWh	497.597	497.597	447.837	335.878	191.930	417.608
	Ölbedarf	kWh / d	79.986	79.986	30.226	-81.733	-225.681	-0.003
	Ölbedarf inkl. Wirkungsgrad- kompensation	Liter / d	8.817	8.817	3.332	-9.009	-24.877	0.000

vielen Dank für Ihr Interesse an unserem neu entwickelten Schlamm-Rekuperator.

Wir möchten Ihnen mit den zwei angehängten PDF-Dateien Rekuperator-Flyer II und -Datenblatt unseren neuen Schlamm/Schlamm-Wärmetauscher vorstellen. Unsere Vermarktung hat am 01.01.2011 offiziell begonnen.

Als Referenz können wir folgende zwei installierte Rekuperatoren benennen:

Ruhrverband
KA Bestwig-Velmede
Herr Dipl.-Ing. Droppelmann 02931551-114
24 Module Typ I R_2500 und

Erftverband
Kläranlage Zülpich-Bessenich
Herr Dipl.-Ing. Fehrenbacher 02271/881343
12 Module Typ I R_3000

Der Rohschlammanfall ihrer Kläranlage liegt im Jahresmittel bei 7 m³/d (ca. 0,08 l/s).
Bei einer angestrebten Temperaturerhöhung um 10°K ergibt sich eine Nennwärmeleistung von rd. 3,35 KW. Die Rekuperatoren-Leistung liegt bei ca. 0,5 KW/m², so dass eine Austauschfläche zur Übertragung der Wärme von 6,7 m² benötigt wird.
Ohne Berücksichtigung der örtlichen Randbedingungen im Gebäude der Kläranlage und zur Abdeckung der notwendigen Austauschfläche bieten wir ein Rekuperator-Paket bestehend aus 2 Rekuperator-Modulen vom Typ II R_3000 mit einer Gesamtaustauschfläche von ca.6,8 m² an.

Der Preis für zwei Rekuperator-Module Typ II R_3000 liegt zzt. bei rd. 7.000,- € brutto. Dazu müssen noch die Kosten für die Anpassung der Infrastruktur hinzu gerechnet werden.

Für Rückfragen stehe ich Ihnen jederzeit zur Verfügung. Wünschen sie ein verbindliches Angebot, schicken sie bitte die ausgefüllte zweite Seite des Datenblatts an uns zurück.

Mit freundlichem Gruß

Dipl.-Ing. Michael Menke

Abbildung 5: Mail zur Kostenabschätzung des Rekuperators

Tabelle 11: Wärmebilanz Faulturm

Woche bis	Energieproduktion					Energieverbrauch					
	Gas	Öl	Fackel	Produzierte Nutzenergie	Anteil Öl	Frischschlammerwärmung	Verluste Faulturm	Bedarf Faulung	Raumheizung	Bedarf total	Überschuss angebot
	kWh/ Woche				% von Gas	kWh/Woche					
11.01.2010	5358	791	0	6149	15	1839	1747	3586	922	4509	1640
18.01.2010	5432	2090	0	7522	38	2031	1747	3778	1128	4906	2616
25.01.2010	5517	1695	0	7211	31	3632	1747	5379	1082	6461	751
01.02.2010	5092	1977	0	7069	39	2171	1747	3918	1060	4979	2090
08.02.2010	5330	1751	0	7081	33	2092	1747	3840	1062	4902	2179
15.02.2010	6668	621	0	7289	9	2290	1747	4037	1093	5130	2159
22.02.2010	6027	1412	0	7439	23	2146	1747	3893	1116	5009	2430
01.03.2010	5426	508	945	5935	9	2803	1596	4399	890	5289	645
08.03.2010	5936	1186	236	7123	20	2414	1596	4010	1068	5078	2044
15.03.2010	3720	2429	0	6148	65	1421	1596	3017	922	3939	2209
22.03.2010	4780	621	0	5401	13	1609	1596	3205	810	4015	1386
29.03.2010	5404	282	236	5686	5	2415	1596	4011	853	4864	822
05.04.2010	4695	1582	0	6276	34	2527	1596	4123	941	5064	1212
12.04.2010	3640	1695	236	5335	47	2155	1596	3751	800	4551	783
19.04.2010	3612	2033	0	5645	56	1872	1596	3468	847	4314	1331
26.04.2010	3600	960	0	4561	27	1916	1596	3512	684	4196	365
10.05.2010	2166	1779	473	3945	82	1846	1428	3274	592	3866	79
17.05.2010	4882	734	1418	5616	15	1179	1428	2607	842	3449	2167
24.05.2010	3566	339	236	3905	10	1246	1428	2674	586	3260	646
31.05.2010	4859	0	1418	4859	0	1630	1428	3058	729	3787	1072
07.06.2010	3272	169	1181	3441	5	1430	1428	2858	516	3375	66
14.06.2010	3357	0	1654	3357	0	1190	1428	2618	503	3122	235
				X		A	B	C=A+B	D	E=C+D	F=X-E
Mittelwerte	4652	1121	365	5772	26	1993	1598	3592		866	

Tabelle 12: Theoretischer Wärmebedarf für die Rohschlammerwärmung.

theoretischer Wärmebedarf		
Literatur *	kWh/(m ³ *K)	1.16
Temp. Minimum	°C	5.5
Temp. Maximum	°C	15
Soll Temp.	°C	38
Minimales unterschied	°C	23
Maximaler Unterschied	°C	32.5
Minimum Energie	kWh/m ³	26.7
Maximum Energie	kWh/m ³	37.7

Tabelle 13 Berechnung theoretische Speichervergrößerung

theoretische Energiespeicherung in Gas und Warmwasser			
	Einheit	Betriebsdaten 2010	Daten Schlussbericht 2009
täglicher Wärmebedarf für die Rohschlammerwärmung	kWh	501	588
	kJ	1803600	2116800
Vorlauftemperatur Speicher	°C	58	58
Rücklauftemperatur Speicher	°C	48	48
Delta Temp.	K	10	10
spezifische Wärmekapazität Wasser	kJ/K*kg	4.2	4.2
benötigte Wassermasse	kg	43076	50556
Pufferspeichervolumen (Warmwasser)	m³	43	51
Heizwert Biogas *	kWh /m ³	6.3	6.3
Wirkungsgrad Gasbrenner		0.9	0.9
Gasspeichervolumen	m³	72	84

* Heizwert Biogas (65% Methangehalt)