

BMU –UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM /  
FÖRDERUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFTLICHE VORHABEN – FrWw

## **Abschlussbericht**

zum Vorhaben:

(Projekt Klärschlamm-trocknung und Waldholz-nutzung –  
**Neubau Biomasse-HKW mit ORC-Turbine und Klärschlamm-trocknung**

AZ: KfW-Az. K II b1-01532 bzw. MBc3-001532

Interkommunale Klärschlamm-trocknung auf der Kläranlage Albstadt-Ebingen

AZ: Regierungspräsidium Tübingen 54.3-8/8907.45 BL 079-1

bzw. L-Bank 417\_TZ2\_AWK\_SKA Albstadt-Ebingen\_ 54.3-8/8907-45BL079-1\_973.061536.4)

Fördernehmer/-in:

Klärschlamm-Verwertung Albstadt GmbH

Am Markt 2

72461 Albstadt

Bereich/Abteilung

Geschäftsführer

Laufzeit des Vorhabens

03/2009 – 11/2012

Autoren

Bernd-Michael Abt, Geschäftsführer

Kelbsch, Stephan

Förderung

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,

Naturschutz und Reaktorsicherheit

sowie des Landes Baden-Württemberg

Datum der Erstellung / Ergänzung

14.11.2012 – 03.04.2013

## Berichts-Kennblatt

|   |  |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
|---|--|------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------|----------------------------------|--------|--------------------|--|------------------------------|----------|
| <b>Aktenzeichen:</b><br>AZ: KfW-Az. K II b1-01532 bzw. MBc3-001532<br>AZ 54.3-8/8907.45 BL 079-1  | <b>Vorhaben-Nr.:</b><br>Kd.Nr. 0030234 (lt. Bescheid)<br>Kd.Nr. L-Bank 417-592055.5                          |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
| <b>Titel des Vorhabens:</b><br>Projekt Klärschlamm-trocknung und Waldholznutzung –<br>Neubau Biomasse-HKW mit ORC-Turbine und Klärschlamm-trocknung,<br>Interkommunale Klärschlamm-trocknung auf der Kläranlage Albstadt-Ebingen  |  |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
| <b>Autor(en); Name(n), Vorname(n)</b><br>Abt, Bernd-Michael (Klärschlammverwertung Albstadt GmbH)<br>Kelbsch, Stephan (eta energieberatung GbR)   | <b>Vorhabensbeginn:</b><br>Planungsstart 03/2009<br><br><b>Vorhabensende</b><br>(Abschlussdatum):<br>11/2012 |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
| <b>Fördernehmer/ -in (Name, Anschrift):</b><br>Klärschlammverwertung Albstadt GmbH<br>Am Markt 2<br>72461 Albstadt  | <b>Veröffentlichungsdatum:</b><br>14.11.2012<br><br><b>Seitenzahl:</b><br><b>34</b>                          |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
| <b>Gefördert</b><br>aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie des Landes Baden-Württemberg nach FrWw   |  |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
| <b>Kurzfassung / Summary</b><br><p>In Albstadt-Ebingen wurde im Rahmen eines interkommunalen Gemeinschaftsprojekts erstmalig ein Verfahren zur umweltgerechten Entsorgung von Klärschlamm aus 10 Kläranlagen umgesetzt, das durch die Kombination von Biomassefeuerung und ORC-Anlage mit Auskopplung von Niedertemperaturwärme den Klärschlamm durch Trocknung zu Ersatzbrennstoff verarbeitet. In der Region um Albstadt haben sich die Städte Albstadt, Burladingen, Gammertingen, Meßstetten, die Gemeinden Nusplingen, Schweningen, Stetten a.k.M und die Abwasserzweckverbände Oberes Eyachtal, Schmeietal, Scher-Lauchert sowie die Kläranlage Kohltal GbR als Gesellschafter der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH zusammengeschlossen, um gemeinsam nach sinnvollen Alternativen zur bisherigen Klärschlammversorgung zu suchen. Das Vorhaben soll einen alternativen Lösungsansatz zur Klärschlamm-entsorgung aufzeigen.</p> <p>Kernpunkt ist die Trocknung des Klärschlamm direkt an der zentral gelegenen Kläranlage Ebingen mit Niedertemperaturabwärme aus einem holzgefeuerten Biomasse-Heizkraftwerk. Der getrocknete Klärschlamm lässt sich einfach transportieren und ist z.B. in der Zementindustrie ein willkommenes und CO<sub>2</sub>-neutrales Brennstoffsubstitut mit hohem Heizwert.</p> |  |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
| <b>Technische Daten:</b><br>Biomasse-ORC-Heizkraftwerk, Holzfeuerung mit Thermoölkreis und ORC-Turbine <table style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Brennstoffbedarf</td> <td style="text-align: right;">ca. 6.300 t/a (0,8 t/h) bei W 45 %</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Feuerungsleistung Biomassekessel</td> <td style="text-align: right;">2.008 kW</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Elektrische Leistung ORC-Turbine</td> <td style="text-align: right;">303 kW</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Öko-Stromerzeugung</td> <td style="text-align: right;">ca. 2,4 Mio. kWh/a<br/>bzw. Strom für ca. 630 Haushalte</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Nutzbare thermische Leistung</td> <td style="text-align: right;">1.454 kW</td> </tr> </table>   |  | Brennstoffbedarf | ca. 6.300 t/a (0,8 t/h) bei W 45 % | Feuerungsleistung Biomassekessel | 2.008 kW | Elektrische Leistung ORC-Turbine | 303 kW | Öko-Stromerzeugung | ca. 2,4 Mio. kWh/a<br>bzw. Strom für ca. 630 Haushalte | Nutzbare thermische Leistung | 1.454 kW |
| Brennstoffbedarf  | ca. 6.300 t/a (0,8 t/h) bei W 45 %   |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
| Feuerungsleistung Biomassekessel  | 2.008 kW   |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
| Elektrische Leistung ORC-Turbine  | 303 kW   |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
| Öko-Stromerzeugung  | ca. 2,4 Mio. kWh/a<br>bzw. Strom für ca. 630 Haushalte   |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |
| Nutzbare thermische Leistung  | 1.454 kW   |                  |                                    |                                  |          |                                  |        |                    |  |                              |          |

|  |   |
|--|---|
| Wärmeerzeugung gesamt  | ca. 11,6 Mio. kWh/a   |
| Klärschlamm-trocknung, Band-trockner mit Niedertemperaturluft im Umluftverfahren   |   |
| Trocknungslufttemperatur   | ca. 80 °C   |
| Trocknungskapazität  | bis zu 12.000 t/a Klärschlamm TS 30 %   |
| Trocknungsleistung   | 1,5 t/h (Klärschlamm TS 30 %)<br>1,0 t/h Wasserverdampfung  |
| -----  |   |
| <p>In Albstadt-Ebingen, as part of a joint inter-municipal project, an environmentally friendly method for the disposal of sewage sludge was implemented for the first time for 10 sewage treatment plants. By the combination of a biomass combustion-unit and an ORC system the sludge is dried by low-temperature heat to create an alternative fuel. In the region around Albstadt the cities Albstadt, Burladingen, Gammertingen, Meßstetten, the municipalities of Nusplingen, Schweningen, Stetten a.k.M and the waste water associations of communes of Oberes Eyachtal, Schmeietal, Scher-Lauchert, as well as the treatment plant Kohlthal GbR as a partner of Klärschlammverwertung Albstadt GmbH, jointly searched for practical alternatives to the existing method of sewage sludge disposal. The project should identify an alternative approach to sewage sludge disposal.</p> <p>The key element is drying the sludge directly at the central wastewater treatment plant Ebingen by low temperature waste heat from a wood-fired biomass power station. The dried sludge is easy to transport and is, as in the cement industry, a welcome and CO2 neutral fuel substitute with a high calorific value.</p> |   |
| <p>Technical Data:</p> <p>ORC biomass heating power plant, wood heating with thermal oil circuit and ORC turbine</p>   |   |
| Fuel requirements  | app. 6,300 t/a (0.8 t/h) at M 45 %  |
| Combustion output biomass boiler   | 2,008 kW  |
| Electrical power ORC turbine   | 303 kW  |
| Eco-power generation   | app. 2.4 Mio. kWh/a   |
| Usable thermal output  | 1,454 kW  |
| Total heat generation  | ca. 11.6 Mio. kWh/a   |
| Sludge drying, belt dryers with low temperature air in a convection process  |   |
| Drying air temperature   | app. 80 °C  |
| Drying capacity  | up to 12,000 t/a sewage TS 30 %   |
| Drying performance   | 1.5 t/h (sewage TS 30 %)<br>1.0 t/h water evaporation   |
| <p><b>Schlagwörter</b><br/>Biomasse-HKW, ORC-Technik, Niedertemperatur-Klärschlamm-trocknung, Interkommunale Klärschlamm-entsorgung, Waldholz-nutzung</p>  |   |
| <p><b>Anzahl der gelieferten Berichte</b><br/>Papierform: KfW + Regierungspräsidium je 3-fach<br/>Elektronischer Form: pdf-Format</p>  | <p>Sonstige <b>Medien:</b> Broschüre<br/>Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage:<br/>Nicht geplant wg. teilweise kritischer Aussagen zu beteiligten Anlagenbauern!</p> |

## **Kurzfassung / Summary**

- **Beschreibung / Description (Ausgangssituation und Aufgabenstellung, Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde, Planung und Ablauf des Vorhabens, Ergebnisse aus dem Vorhaben allg. und hinsichtlich Umweltentlastung)**

Seit 2005 liefen bei der Stadt Albstadt Überlegungen, die Klärschlamm Entsorgung der städtischen Kläranlage und der Kläranlagen im Umland dauerhaft, umweltgerecht und kostengünstig zu sichern. Deshalb haben sich die Städte Albstadt, Burladingen, Gammertingen, Meßstetten, die Gemeinden Nusplingen, Schweningen, Stetten a.k.M und die Abwasserzweckverbände Oberes Eyachtal, Schmeietal, Scher-Lauchert sowie die Kläranlage Kohltal GbR als Gesellschafter der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH zusammengeschlossen. Die GmbH-Gründung erfolgte durch notarielle Beurkundung des Gesellschaftsvertrags am 17.09.2008.

Der baulichen Realisierung des Projektes gingen umfangreiche EU-weite bzw. nationale Ausschreibungsverfahren nach VOB für die Einzelgewerke voraus. Der Planungsstart zur Erstellung der Werkplanung war im März 2009. Baubeginn war im April 2010. Die Inbetriebnahme des Heizkraftwerkes mit erster Stromeinspeisung fand nach nur neunmonatiger Bauzeit im Dezember 2010 statt. Der Trocknungsbetrieb im Teillastbetrieb startete im Februar 2011. Ab April 2011 konnten nach Inbetriebnahme der dreistufigen Abluftreinigung der Trocknungsanlage die Schlämme aller 10 Kläranlagen angenommen und getrocknet werden. Bis 06/2012 erfolgten umfangreiche Optimierungsmaßnahmen zur Erreichung der angestrebten Leistungsfähigkeit und Nennlast der anlagentechnischen Hauptgewerke. Für den lfd. Betrieb erfolgten Ausschreibungen nach VOL für das Klärschlammmanagement (Transport und Entsorgung) sowie für die Brennstofflogistik einschließlich der Ascheentsorgung.

*In 2005, the city of Albstadt and its partners began considerations to take significant steps in making their disposal of sewage sludge more environmentally friendly and cost effective. This is why the cities Albstadt, Burladingen, Gammertingen, Meßstetten, the municipalities of Nusplingen, Schweningen, Stetten a.k.M and the waste water utility companies of Oberes Eyachtal, Schmeietal, Scher-Lauchert, as well as the sewage treatment plant Kohltal GbR as a shareholder of sewage sludge Albstadt GmbH, joined together. The establishment of GmbH was through a notarial act of the partnership agreement on 17.09.2008.*

*During commissioning, the main subsections of the project required extensive European and national tendering procedures to be carried out in accordance with VOB regulations. Initial planning for preparation of engineering began in March 2009. Construction began in April 2010. The commissioning of the power plant with the first power supply took place in December 2010, only after nine months of construction. The drying operation in partial load*

*operation started in February 2011. From April 2011, after commissioning, the three-stage air cleaning system of drying the sludge was adopted for all 10 treatment plants and dried. Until 06/2012, substantial optimization measures to achieve the desired performance and rated load of plant reliability and main works were made. Tenders were made for running operation by VOL for the sludge management (transport and disposal) as well as for fuel logistics including ash disposal.*

- **Anwendbarkeit der Technik/ *Applicability* (Stand der Technik, Konstruktionen, Verfahren, Stoffe, Umweltrelevanz, Rahmenbedingungen wie Schutzrechte etc., Übertragbarkeit auf verwandte Bereiche, Zusammenarbeit mit anderen Stellen)**

Kernpunkt des Verfahrens ist die Trocknung des Klärschlammes direkt an der zentral gelegenen Kläranlage Ebingen mit einem Bandtrockner unter Nutzung von Niedertemperaturabwärme aus einem holzgefeuerten Biomasse-ORC-Heizkraftwerk.

Das Konzept wurde von der eta Energieberatung GbR, Pfaffenhofen a.d. Ilm, in Zusammenarbeit mit B.A.U.M. Consult AG, Hamburg, entwickelt. Die eta Energieberatung GbR ist Inhaberin eines Patentes zur Trocknung von Klärschlamm mit Niedertemperaturwärme. Aufgrund bewährter Technik und umfangreicher Optimierungsmaßnahmen der hier erstmalig umgesetzten Anlagenkombination besteht ein großes Potenzial zur Nachahmung - gerade für kleinere und mittlere Kommunen, die im Zusammenschluss über eine Klärschlammmenge von > 12.000 t (TS 30) verfügen und durch die Trocknung eine deutliche Mengenreduzierung der zu entsorgenden Klärschlammes anstreben.

*The key element of the process is the drying of the sludge directly at the central Ebingen wastewater treatment plant with a belt dryer with the use of low temperature waste heat from a wood-fired biomass ORC cogeneration plant.*

*The concept was developed by eta Energieberatung GbR, Pfaffenhofen a.d. Ilm, in partnership with B.A.U.M. Consult AG, Hamburg. Eta Energieberatung GbR is the holder of a patent for drying sewage sludge with low-temperature heat. Due to proven technology and extensive optimization measures implemented here for the first time the installation has a great potential for emulation. Particularly this concerns to small and medium-sized communities, which have a sludge volume of > 12,000 t (TS 30) and, through the drying, aim to significantly reduce the amount of sewage sludge to be disposed of.*

- **Wesentliche Vorteile für die Umwelt / *Main environmental benefits, main achieved emission levels* (Skizzierung der innovativen Lösung mit seinen primären (umweltbezogenen) Aspekten)**

Klärschlamm-trocknung: Die Trocknung bewirkt eine Massenreduzierung des Klärschlammes im Vergleich zum rein mechanisch entwässerten Klärschlamm und vermindert so Straßen-transporte. Der getrocknete Klärschlamm lässt sich einfach transportieren und ist in der Zementindustrie ein willkommenes und CO<sub>2</sub>-neutrales Brennstoffsubstitut mit hohem Heizwert (ca. 9.000 – 10.500 kJ/kg TS).

Regionaler Energieträger: Als Brennstoff für das HKW liefern die beteiligten Kommunen über ein regionales Logistikunternehmen naturbelassenes Waldrestholz, wie es als Waldholzhack-schnitzel oder als Strauchschnitt und Landschaftspflegeholz im Rahmen von Pflegemaßnahmen und bei der Durchforstung anfällt. Große Transportwege werden damit vermieden.

*Sludge Drying: The drying causes a reduction in mass of the sludge compared to purely mechanically dewatered sewage sludge, thus reducing road haulage. The dried sludge is easy to transport and, in the cement industry, is a welcome and CO<sub>2</sub> neutral substitute with a high calorific value.*

*Regional energy: As the fuel for the cogeneration plant, which participating communities deliver via a regional logistics company, is from natural state forest residues, as is obtained as wood chips or as yard waste and wood from landscape conservation in the context of care measures and in thinning, therefore large transport routes will be avoided.*

- **Medienübergreifende Aspekte / *Cross-media aspects* (z.B. zusätzlicher Energieverbrauch oder Energieeinsparung, CO<sub>2</sub> –Minderung in Tonnen pro Jahr, Einsparung von Material, Entstehung oder Wegfall von Abfall oder Abwasser; einschließlich Quantifizierung, soweit möglich)**

Die Biomassefeuerung mit ORC-Anlage bewirkt in Albstadt durch die regenerative Stromerzeugung in Höhe von 2,42 GWh/a und durch eine regenerative Wärmenutzung auf der Kläranlage von 1,0 GWh/a eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von jährlich 1.436 Tonnen CO<sub>2</sub>. Darüber hinaus wird mit der Klärschlamm-trocknung eine weitere CO<sub>2</sub>-Reduktion von 3.679 Tonnen CO<sub>2</sub> erreicht.

In der Summe liegt die jährliche CO<sub>2</sub> -Entlastung bei 5.115 Tonnen. Bezogen auf die Gesamt-Investition von 7,8 Mio. € (netto) errechnen sich die spezifischen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten zu 1.525 €/t CO<sub>2</sub>.

*The biomass furnace with ORC plant in Albstadt offers renewable electricity in the amount of 2.42 GWh / year and, by regenerative heat utilization at the sewage plant of 1.0 GWh / year, a CO<sub>2</sub> reduction of 1,436 tonnes of CO<sub>2</sub> annually. Furthermore, the sludge drying is achieved with an additional CO<sub>2</sub> reduction of 3,679 tonnes of CO<sub>2</sub>.*

*In total, the annual CO<sub>2</sub> reduction is 5,115 tons. Based on the investment of € 7.8 million (net), the specific CO<sub>2</sub> reduction costs are calculated to be € 1,525 / t CO<sub>2</sub> \*a.*

- **Kostendaten / Economics (Daten zu Investitions- und Betriebskosten, Kosten-Nutzen-Vergleich (Eckwerte))**

Die Gesamtinvestition liegt bei ca. 7,8 Mio. € (netto). Das Bundesumweltministerium übernahm aus dem BMU-Umweltinnovationsprogramm (BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben) eine Anteilsfinanzierung mit 2.089.500,- €. Das Land Baden-Württemberg förderte den Bauteil Klärschlamm Trocknung nach den Förderrichtlinien Wasserwirtschaft (FrWw) mit einer interkommunalen Mischförderung mit 629.800,- € (lt. Bewilligungsbescheiden). Der den kommunalen Gesellschaftern verbleibende Eigenanteil wird über ein örtliches Kreditinstitut finanziert. Die Finanzierungskosten werden über die Laufzeit der Anlage zusammen mit den laufenden Betriebskosten bezogen auf die jeweils angelieferte Klärschlammmenge und den Trocknungsgrad abgerechnet. Im laufenden Betrieb der Anlage erfolgt für die erzeugte Strommenge eine Einspeisevergütung nach dem Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG 2009).

*The total investment is approximately € 7.8 million (net). The Federal Environment Ministry took over from the BMU Environmental Innovation Programme (BMU program for demonstration projects) a share funding with € 2,089,500. The state of Baden-Württemberg promoted by the funding guidelines of water management (FrWw) with a mixed inter-community funding of € 629,800 (according to authorization decisions). The remainder of the joint shareholders own contribution is financed through a local bank. Financing costs will be charged over the life of the plant, together with the related operating costs on each delivered sludge quantity and the degree of dryness. During operation of the system a feed-in tariff is payed, for the amount of electricity generated, in accordance with the Renewable Energy Act (EEG 2009).*

- **Sonstige Betriebsdaten / *Operational Data* (z.B. Veränderung des Produktes, notwendige Änderungen an anderen Stellen des Produktionsverfahrens)**

Zusätzlich zur Wärmenutzung im Klärschlamm Trockner wurde die Wärmeversorgung der Kläranlage Albstadt (Faulturm- und Gebäudeheizung) an das Wärmenetz des Biomasse-HKW angeschlossen. Hiermit wird der Bezug von Erdgas und damit der Verbrauch fossiler Brennstoffe auf der Kläranlage nahezu auf Null reduziert.

*In addition to the heat utilization in the sludge dryer the heat supply of the treatment plant in Albstadt (digestion tower and building heating) has been connected to the heating net-work of the biomass cogeneration plant. Thereby the purchase of gas, and thus the consumption of fossil fuels at the treatment plant, is almost reduced to zero.*

- **Referenzliteratur / *Reference Literature* (ggf. Hinweise auf weitere Literatur neben dem Abschlussbericht, in der für das Projekt relevante Hinweise enthalten sind)**

Broschüre der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH, download unter [www.albstadt.de](http://www.albstadt.de)

UFORDAT:

<http://doku.uba.de/aDISWeb/app;jsessionid=961C6E14C36D7188899A84D55D9F9F0F>

*Brochure of Klärschlammverwertung Albstadt GmbH, download: [www.albstadt.de](http://www.albstadt.de)*

## Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Einleitung</b> .....   | <b>9</b>  |
| 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens (Geschäftstätigkeit und ggf. der<br>Projektpartner).....   | 9         |
| 1.2 Ausgangssituation (im Unternehmen, in der Branche bezogen auf das Vorhaben -<br>Verfahrensablauf/Anlagentechnik, Einsatzstoffe, Umweltauswirkungen, ggf.<br>Problembeschreibung) ..... | 10        |
| <b>2. Vorhabensumsetzung</b> .....   | <b>14</b> |
| 2.1 Ziel des Vorhabens .....   | 14        |
| 2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) .....  | 14        |
| 2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens (Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte<br>von der Planungsphase bis zur Inbetriebnahme, Darstellung evtl. Hemmnisse) .....                 | 17        |
| 2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) .....  | 19        |
| 2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten .....   | 20        |
| <b>3. Ergebnisse</b> .....   | <b>23</b> |
| 3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung .....  | 23        |
| 3.2 Stoff- und Energiebilanz .....   | 23        |
| 3.3 Umweltbilanz (bei Klimaschutzvorhaben: stets Angabe der CO <sub>2</sub> -Reduzierung (t/a,<br>t/je t Produkt).....   | 24        |
| 3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse .....   | 25        |
| 3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren .....   | 26        |
| <b>4. Empfehlungen</b> .....   | <b>28</b> |
| 4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung .....   | 28        |
| 4.2 Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/ Anlage/<br>Produkt).....  | 29        |
| 4.3 Zusammenfassung.....   | 30        |
| <b>5. Literatur</b> .....  | <b>33</b> |
| <b>6. Anhang</b> .....   | <b>34</b> |

## 1. Einleitung

### 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens (Geschäftstätigkeit und ggf. der Projektpartner)

Nach längerer konzeptioneller Projektierungs-, Sondierungs- und Planungsphase, steuerlichen Erwägungen, Prüfung kartell- und EU-rechtlicher Bestimmungen sowie Überlegungen zur rechtlichen Ausgestaltung der interkommunalen Kooperation entschieden sich die beteiligten Kommunen, eine gemeinsame GmbH zu gründen.

Die Partner haben sich in einer interkommunalen Kooperation in der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH zusammengeschlossen, einem Gemeinschaftsunternehmen von insgesamt sieben Kommunen, drei Abwasser-Zweckverbänden und drei Vertragspartnern einer öffentlich-rechtlichen Vereinbarung im Zollernalbkreis und im Landkreis Sigmaringen (Baden-Württemberg).

Beteiligt sind die Städte und Gemeinden Albstadt, Burladingen, Gammertingen, Meßstetten, Nusplingen und Stetten am kalten Markt. Außerdem beteiligt sind der Abwasserzweckverband Oberes Eyachtal (Städte Albstadt und Meßstetten), der Abwasserzweckverband Scher-Lauchert (Gemeinde Bitz, Stadt Sigmaringen mit dem Stadtteil Jungnau, Stadt Veringenstadt, Gemeinde Winterlingen mit den Teilorten Harthausen und Benzingen) und der Abwasserzweckverband Schmeietal (Gemeinden Straßberg, Stetten a.k.M. mit Ortsteil Frohnstetten, Gemeinde Winterlingen mit dem Kernort). Auch die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch die Wehrbereichsverwaltung Süd, ist Mitgesellschafter zusammen mit der Bundeswehrstandortgemeinde Stetten a.k.M. für den Kernort und der Nachbargemeinde Schwennigen/Heuberg.

Die GmbH-Gründung erfolgte durch notarielle Beurkundung des Gesellschaftsvertrags am 17.09.2008. Die Stadt Albstadt hat als größter Gesellschafter bzw. Betreiber der größten und zentral gelegenen Kläranlage im Verbund die Mittler- und Organisationsfunktion für das Projekt und stellte der GmbH das Baugrundstück zur Verfügung. Die Kläranlagen der Gesellschafter liegen in der Region bzw. näheren räumlichen Umgebung. Sowohl die Geschäftsführung der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH als auch die technische Betriebsführung der Anlage wird vom Personal der Stadt Albstadt geleistet.

Gesellschafter der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH sind bzw. eine Stammeinlage haben gezeichnet (siehe nachfolgende Tabelle):

**Tabelle 1 Stammeinlagen der Gesellschafter**

|   | Stammeinlage       |
|---|--------------------|
| a) die Stadt Albstadt eine Stammeinlage von                               | 7.700,00 €         |
| b) de Stadt Burladingen eine Stammeinlage von                             | 6.300,00 €         |
| c) die Stadt Gammertingen eine Stammeinlage von                           | 1.400,00 €         |
| d) die Stadt Meßstetten eine Stammeinlage von                             | 1.100,00 €         |
| e) die Gemeinde Nusplingen eine Stammeinlage von                          | 300,00 €           |
| f) die Gemeinde Stetten a.k.M. eine Stammeinlage von                      | 500,00 €           |
| g) der Zweckverband Abwasserverband Oberes Eyachtal eine Stammeinlage von | 2.800,00 €         |
| h) der Abwasserzweckverband Scher-Lauchert eine Stammeinlage von          | 3.200,00 €         |
| i) der Abwasserzweckverband Schmeietal eine Stammeinlage von              | 1.000,00 €         |
| j) die Gesellschaft Kläranlage Kohlthal GbR eine Stammeinlage von         | 700,00 €           |
| <b>Summe Stammkapital</b>   | <b>25.000,00 €</b> |

1.2 **Ausgangssituation** (im Unternehmen, in der Branche bezogen auf das Vorhaben - Verfahrensablauf/Anlagentechnik, Einsatzstoffe, Umweltauswirkungen, ggf. Problembeschreibung)

Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung bilden für Gemeinden technisch, wirtschaftlich und umweltpolitisch zentrale Themengebiete. In der Vergangenheit sind gerade bei der Klärschlamm Entsorgung immer wieder Engpasssituationen aufgetreten. Die Hauptentsorgungspfade des anfallenden Klärschlammes sind dabei: Verwendung im Landschaftsbau, landwirtschaftliche Verwertung und Verbrennung. Dabei werden die landwirtschaftliche sowie die landschaftsbauliche Verwertung infolge der hohen Schadstoffbelastung heute zunehmend kritisch diskutiert und gelten umweltpolitisch als Auslaufmodelle.

Die Gründe sind folgende:

Nach den Anforderungen der TA-Siedlungsabfall ist eine Ablagerung von Klärschlämmen auf Deponien seit dem 01.07.2005 nicht mehr möglich. Die Deponierung von Klärschlamm hat daher in den letzten Jahren erheblich abgenommen. Klärschlämme enthalten neben Krankheitserregern auch einen Querschnitt von über 100.000 Chemikalien, die in Haushalten, Medizin, Industrie und Gewerbe eingesetzt werden. Landwirte sind zunehmend weniger bereit mit Klärschlamm zu düngen, da der Handel landwirtschaftliche Produkte, die auf mit Klärschlamm behandelten Böden erzeugt wurden, ablehnt. Es besteht die Gefahr, dass sich teilweise höchst problematische Stoffe über die landwirtschaftliche Verwertung im Boden oder in landwirtschaftlichen Produkten und damit in der Nahrungskette anreichern.

Die Positionierung des Bundeslandes Baden-Württemberg mit der Forderung zur verstärkten thermischen Klärschlamm Entsorgung untermauerte die Notwendigkeit des Handlungsbedarfes auf den Kläranlagen und gab eine klare Zielrichtung vor.

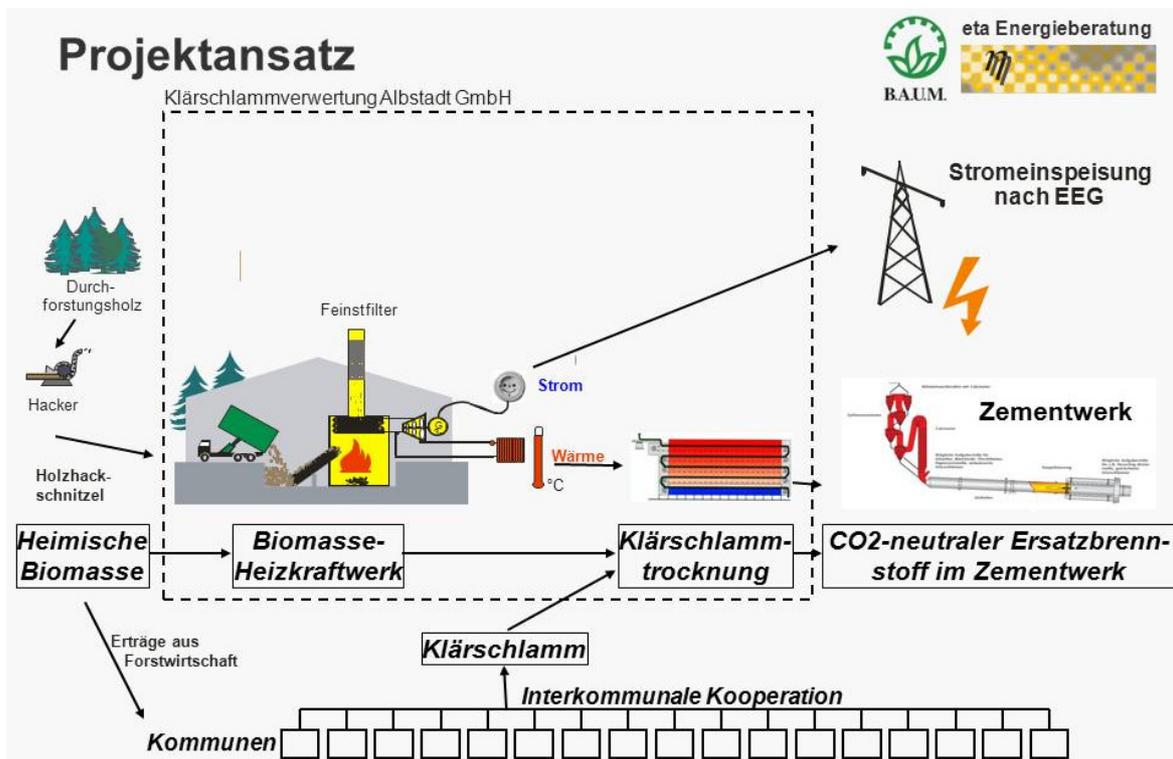
Seit 2005 liefen bei der Stadt Albstadt Überlegungen, die Klärschlammentsorgung der städtischen Kläranlage und der Kläranlagen im Umland dauerhaft, umweltgerecht und kostengünstig zu sichern. Hierzu wurden im Vorfeld mehrere Konzeptansätze untersucht. Die Idee war, die Stoff- und Erlösströme so zu verändern, damit ein signifikanter Umweltnutzen entsteht und aus Entsorgungskosten so weit wie möglich Entsorgungserlöse werden. Darüber hinaus war allen Beteiligten von Anfang an klar, dass dieser Ansatz nicht mit solitären Kleinprojekten erzielt werden würde, sondern nur mit einer gemeinsamen und abgestimmten Vorgehensweise unter Einsatz moderner Technik.

Eine Erfolg versprechende und umweltfreundliche Variante war die technische Trocknung des Klärschlammes. Getrockneter Klärschlamm (> 90 % TS) ist für Verwerter ein willkommenes und CO<sub>2</sub>-neutrales Brennstoffsubstitut mit hohem Heizwert, ähnlich dem von Braunkohle, und lässt sich einfach und umweltfreundlich abtransportieren.

Der getrocknete Klärschlamm als Brennstoffersatz ist nach wie vor als Abfall anzusehen (siehe hierzu das Schreiben des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 06.11.2011, Az. 4-8982.32/16). Dies hat zur Folge, dass für die Entsorgung im Zementwerk eine Vergütung bezahlt werden muss, wengleich sich die spezifischen Entsorgungskosten aufgrund des höheren Trockengrades auf ca. 1/3 der bisherigen Kosten (ca. 100 €/t TS 30 30 %) reduzieren lassen.

Als sowohl wirtschaftliche und auch ökologisch sinnvolle Lösung zur Trocknung von Klärschlamm stellte sich die **Kombination aus Biomassefeuerung und ORC-Anlage (Organic-Rankine-Cycle) mit Auskopplung von Niedertemperatur-Wärme** heraus. Der innovative Projektansatz liegt in einem schlüssigen Gesamtkonzept unter Nutzung marktgängiger Techniken verknüpft mit Effizienz- und Synergieeffekten.

Das Konzept wurde von der eta Energieberatung GbR, Pfaffenhofen a.d. Ilm, in Zusammenarbeit mit der B.A.U.M. Consult AG, Hamburg, entwickelt. Die eta Energieberatung GbR ist Inhaberin eines Patentes zur Trocknung von Klärschlamm mit Niedertemperaturwärme (Patenterteilung am 13.04.2006, Patent Nr. DE 10 2004 051 975).



**Abbildung 1 Konzept (2009) Klärschlammverwertung Albstadt schematisch**

Das Konzept wurde der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH präsentiert, stieß auf Interesse und wurde im Rahmen der Fördermittelbeantragung bei Bund und Land weiter verfeinert.

Nachdem ein wesentlicher Teil der Finanzierung durch die Bewilligung der Fördermittel von Bund und Land gesichert war, wurde durch die Gesellschafterversammlung am 26.02.2009 der Beschluss zum Bau einer Anlage zur Klärschlamm-trocknung und Waldholznutzung gefasst.

Die zehn Gesellschafter haben sich dabei im Februar 2009 entschlossen, als erstes Pilotprojekt dieser Art in Deutschland ein Biomasseheizkraftwerk mit Klärschlamm-trocknung auf dem Gelände der Kläranlage Albstadt-Ebingen zu realisieren.



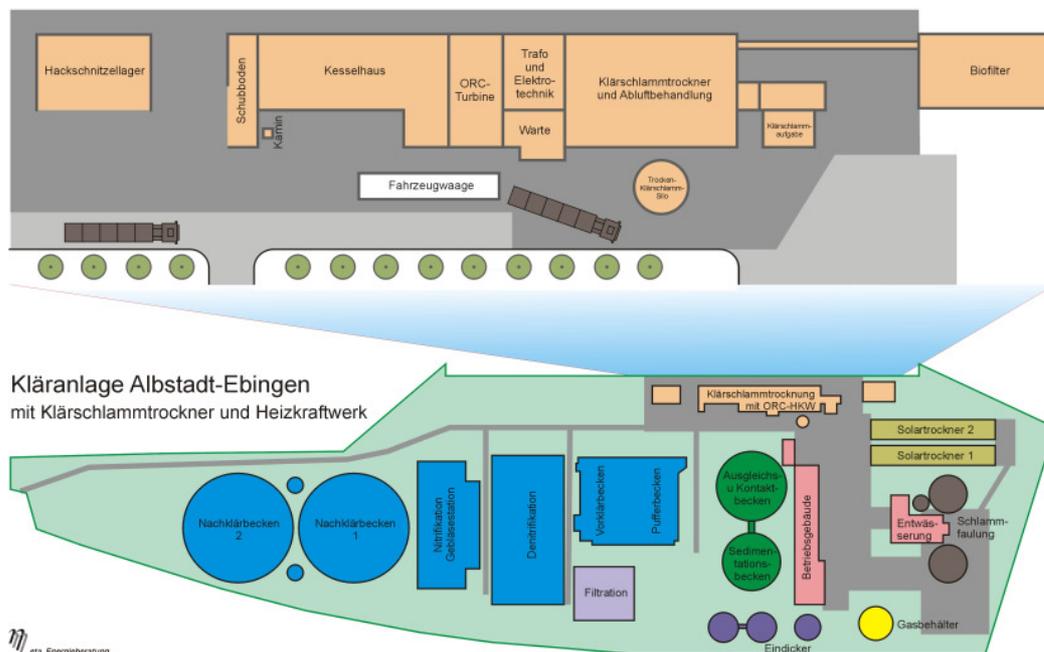
**Abbildungen 2 + 3 Kläranlage Albstadt-Ebingen vor und nach der Realisierung des Projektes, Baufeld rechts**



## 2. Vorhabensumsetzung

### 2.1 Ziel des Vorhabens

Mit diesem Vorhaben soll die technische Realisierbarkeit des entwickelten Projektansatzes an einem konkreten Projekt demonstriert werden. Die Anlage sollte bestmöglich in die Strukturen und Betriebsabläufe der Kläranlage Albstadt-Ebingen integriert werden.



**Abbildung 4 Projekt als neuer Teil der Kläranlage Albstadt-Ebingen**

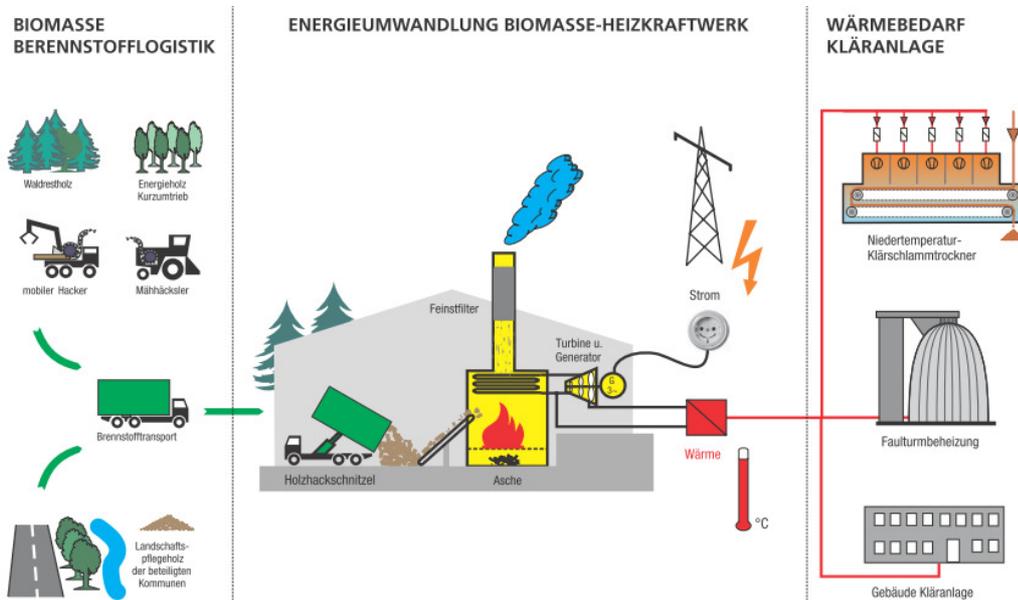
Für die beteiligten Projektpartner war es das Ziel, mit dem neuen Verfahren die Klärschlamm-sorgung dauerhaft, umweltgerecht und kostengünstig zu sichern. Durch Nutzung bewährter Technik sollte die Projektrealisierung erheblich erleichtert werden.

### 2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Das am Standort Albstadt umgesetzte Verfahren besteht aus einem holzgefeuerten Biomasse-Heizkraftwerk und einem Niedertemperatur-Band-trockner.

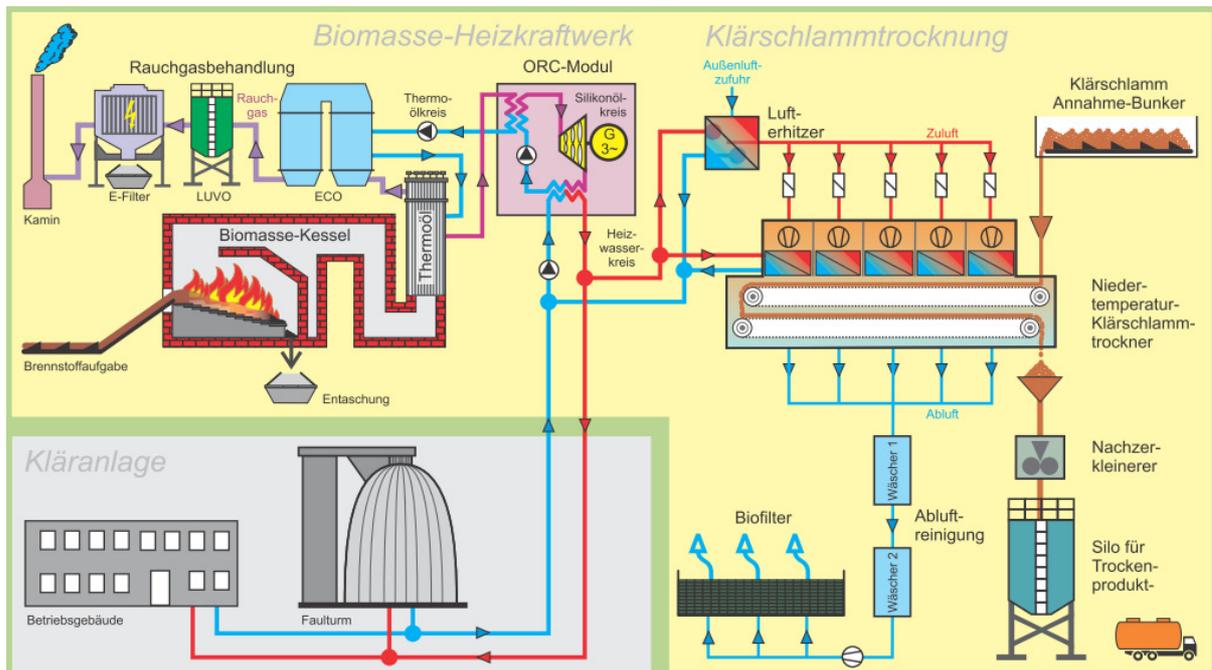
Als Brennstoff für das Biomasse-Heizkraftwerk mit Thermoölkreislauf der Firma Maxxtec AG, Sinsheim, kommt ausschließlich naturbelassenes Holz (Waldhackschnitzel und Holz aus der Landschaftspflege) zum Einsatz. Unter effizienter Ausnutzung dieser Biomasse produziert eine ORC-Anlage (ORC = Organic-Rankine-Cycle) Strom und Wärme im Kraft-Wärme-Kopplungsbetrieb. Der hier produzierte Strom wird in das Netz der Albstadtwerke GmbH eingespeist und nach dem „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien“ (EEG) vergütet.

Die erzeugte Niedertemperaturwärme wird im unmittelbar angrenzenden Klärschlamm-trockner und zu Heizzwecken auf der Kläranlage genutzt.



**Abbildung 5 Konzept 2012 auf der Kläranlage Albstadt-Ebingen**

Zur Klärschlamm-trocknung wird ein Niedertemperatur-Band-trockner der Fa. Sevar Anlagen-technik GmbH, Karlsruhe, eingesetzt. Der Band-trockner wurde entwickelt, um unterschied-lichste Schlämme zuverlässig, energiesparend und staubfrei auf Trockensubstanzgehalte von über 90 % zu trocknen.



**Abbildung 6 Detailschema Anlagenfunktion**

Der Klärschlammfall der beteiligten Städte und Gemeinden ist über das ganze Jahr nahezu konstant und summiert sich auf bis zu 12.000 Jahrestonnen vorentwässertem Klärschlamm ( $\emptyset$  TS 30 %). Hiervon fällt ca. 1/3 der Schlammmenge bereits direkt auf der Kläranlage Albstadt-Ebingen an. Die verbleibenden 2/3 der Schlammengen werden aus den Kläranlagen der beteiligten Gemeinden über einen Logistikpartner zum Anlagenstandort transportiert.

Durch die thermische Trocknung mit Niedertemperatur von bis zu 85 °C steigt der Trockensubstanzgehalt des Klärschlammes (TS) von ca. 30 % auf > 90 %. Damit geht eine Gewichtsreduzierung von ca. 65 % einher. Der Heizwert steigt von ca. 0,5 auf ca. 3,2 kWh/kg (vergleichbar mit Braunkohle). Die Massenreduzierung des Klärschlammes führt zu signifikant weniger LKW-Fahrten auf dem Weg zur Klärschlammverwertung. Daraus resultieren geringere Transportkosten bei gleichzeitiger Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

Die Verwertung des getrockneten Klärschlammes (bis zu ca. 4.000 t/a, 90 % TS) als Brennstoffsubstitut erfolgt in einem regionalen Zementwerk.

## TECHNISCHE DATEN DER ANLAGENKOMPONENTEN

### Biomasse-ORC-Heizkraftwerk (Firma Maxxtec)

Polytechnik-Holzfeuerung mit Thermoölkreis und Adoratec-ORC-Turbine

Brennstoffbedarf **ca. 6.300 t/a (0,8 t/h) bei W 45 %**

Feuerungsleistung Biomassekessel **2.008 kW**

Elektrische Leistung ORC-Turbine **303 kW**

Öko-Stromerzeugung **ca. 2,4 Mio. kWh/a**  
(für ca. 620 Haushalte)

Nutzbare thermische Leistung **1.454 kW**

Wärmeerzeugung gesamt **ca. 11,6 Mio. kWh/a**

### Klärschlamm Trocknung (Firma Sevar)

2-Etagen-Bandrockner mit Niedertemperaturluft im Umluftverfahren

Trocknungslufttemperatur **ca. 80 °C**

Trocknungskapazität **bis zu 12.000 t/a**  
**Klärschlamm TS 30 %**

Trocknungsleistung **1,5 t/h (Klärschlamm TS 30 %)**  
**1,0 t/h Wasserverdampfung**

Abluftreinigung über chemische Wäscher + Biofilter

### 2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens (Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte von der Planungsphase bis zur Inbetriebnahme, Darstellung evtl. Hemmnisse)

Das Projekt war im gesamten Realisierungszeitraum aufgrund seiner Neuartigkeit und Komplexität eine besondere Herausforderung, die jedoch mit unermüdlichem Fleiß und Einsatzbereitschaft aller Beteiligten angenommen und bewältigt wurde.

Nachfolgend ist der realisierte Zeitplan mit den wichtigen Meilensteinen dargestellt.

|                |  |
|----------------|--|
| 2005           | Erste Überlegungen zur nachhaltigen Klärschlammentsorgung mit Prüfung verschiedener Lösungsansätze   |
| Januar 2006    | Erste Gespräche der B.A.U.M. Consult AG mit den Städten Burladingen und Albstadt   |
| September 2007 | Entscheidung für die Realisierung des Projektes „Klärschlammverwertung mit Waldrestholznutzung“ durch die beteiligten Städte und Gemeinden |
| November 2007  | Förderanträge durch eta Energieberatung erstellt und durch den Bauherrn eingereicht  |
| September 2008 | Gründung der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH   |
| Dezember 2008  | Förderzusage des Bundesumweltministeriums erhalten   |
| Dezember 2008  | Förderzusage des Landes Baden-Württemberg erhalten   |
| März 2009      | Projektaufaktbesprechung auf der KA Albstadt-Ebingen   |

|                     |   |
|---------------------|---|
| September 2009      | EU-weite Ausschreibung der anlagentechnischen Hauptkomponenten                                  |
| Januar 2010         | EU-weite Bauausschreibungen   |
| April 2010          | Baubeginn   |
| Dezember 2010       | Inbetriebnahme Biomasse-HKW und ORC-Turbine mit erster Netzeinspeisung                          |
| Februar 2011        | Erster Trocknungsbetrieb  |
| April 2011          | Annahme und Trocknung der Schlämme aller Gesellschafter nach Fertigstellung der Abluftreinigung |
| Januar bis Mai 2011 | erste anlagentechnische Optimierungen   |
| ab Juni 2011        | Regelbetrieb im Automatikmodus mit weiteren anlagentechnischen Optimierungen                    |
| Juni/Juli 2012      | abschließende Leistungstests der Firmen Maxxtec und Sevar und Abnahme aller Leistungen          |

Die geplante Inbetriebnahme der ORC-Turbine und somit die Stromeinspeisung gemäß EEG im Jahr 2010 wurde mit hohem Einsatz der Beteiligten erreicht. Dies schuf eine wichtige wirtschaftliche Voraussetzung durch die Sicherung fester Stromvergütungssätze. Dennoch ergaben sich im Projektverlauf Hemmnisse, die nachfolgend stichpunktartig beschrieben werden sollen.

- Schleppender Bauablauf, lange Engineering- und Montagezeiten sowie Verzug insbesondere durch die Anlagenbauer Maxxtec AG und Sevar Anlagentechnik GmbH
- Teilweise Liefer- und Terminschwierigkeiten wegen anziehender Konjunkturlage
- Alternativer Verwertungsweg/Absteuerung von Klärschlämmen durch fehlende Trocknungsleistung
- Wiederholt erforderliches Engineering und Nachliefern bzw. Optimierung und Austausch von Detailkomponenten der Hauptgewerke durch die Hersteller
- Sowohl die ORC-Turbine (elektrische Leistung) als auch Trocknungsleistung des Klärschlammrockners waren bis zu den erfolgreichen Nachrüstungsaktionen in 06/2012 unter der vertraglich vereinbarten Nennlast.
- Die Abstimmung der Anlagen-, Steuerungs- und Regelungskomponenten war sehr komplex.
- Zur Bedienung der komplexen Anlage musste Personal rekrutiert und technisches Know-how aufgebaut werden.



**Abbildung 7 Ansicht der Anlage nach Inbetriebnahme**

## 2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Bezüglich des Heizkraftwerkes, der Klärschlamm-trocknung und der Klärschlamm-lagerung war ein immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren unter folgenden Zuordnungen zum Anhang der 4. BImSchV durchzuführen:

- Das Biomasse-ORC-Heizkraftwerk ist der Nr. 1.2, Buchstabe a), Spalte 2 des Anhangs der 4. BImSchV zuzuordnen.
- Die Klärschlamm-trocknung ist der Nr. 8.10, Buchstabe b), Spalte 2 des Anhangs der 4. BImSchV zuzuordnen.
- Die Klärschlamm-lagerung ist der Nr. 8.13, Spalte 2 des Anhangs der 4. BImSchV zuzuordnen.

Die baurechtliche Genehmigung war in dieses immissionsschutzrechtliche Verfahren integriert. Darüber hinaus war durch die direkte Verwertung von Klärschlamm der Kläranlage auf der Anlage (Teilstrom eigener Klärschlamm der Anlage Albstadt-Ebingen) und eine konzipierte Behandlung des Kühlwassers des Bandrockners eine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich. Als Kühlwasser wird gereinigtes Abwasser aus dem Ablauf der Kläranlage eingesetzt, um Frischwasserverbrauch zu sparen und damit Ressourcen zu schonen. Die Einleitung von Niederschlagswässern der neuen Anlage (Dachablaufwasser) in die Schmiecha bedurfte einer wasserrechtlichen Erlaubnis.

## 2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

In der zentral angeordneten Leitwarte werden alle Betriebsdaten und Stoffströme visualisiert, erfasst und können über Reporting-Tools detailliert ausgewertet werden. Über die vernetzten Leitrechner wird die Anlage bedient und gesteuert.

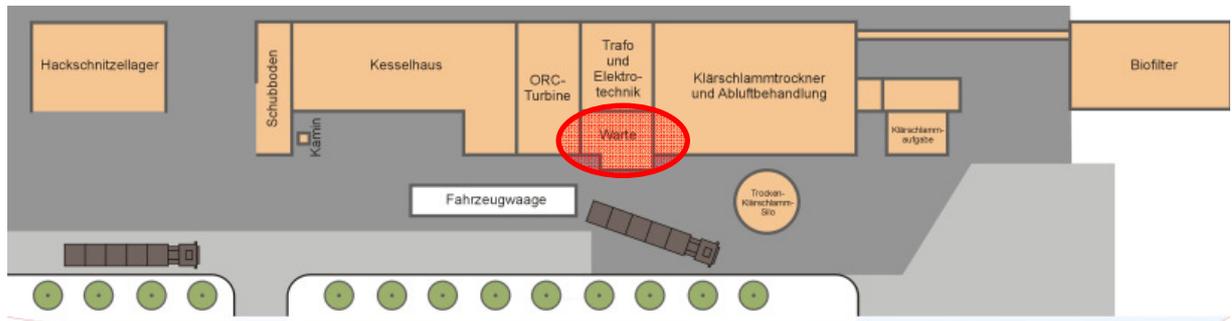
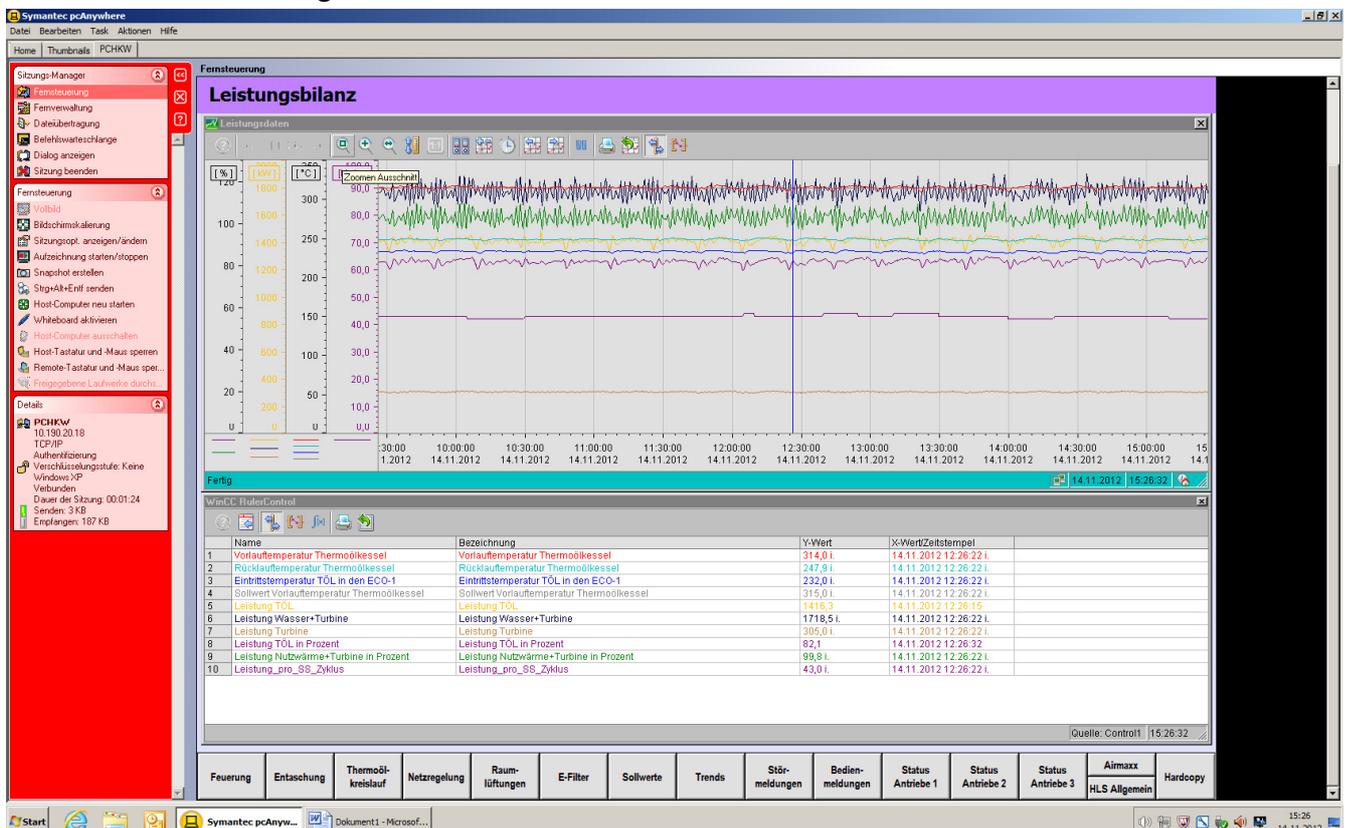


Abbildung 8 Zentrale Position der Warte auf der Anlage

Desweiteren ist es möglich, auf diese Daten auch über ein Netzwerk und Fernwartungssoftware in der Stadtverwaltung Albstadt zuzugreifen. Dies ermöglicht eine effiziente und umweltgerechte Datenauswertung und Anlagenbedienung durch schnellere Kombination, vermeidbare Fahrten und Ausdrücke. Die detaillierte Erfassung und Zuordnung der Stoffströme ist Grundlage für die Abrechnung der Kostenumlage laut Konsortialvertrag zum Gesellschaftsvertrag.



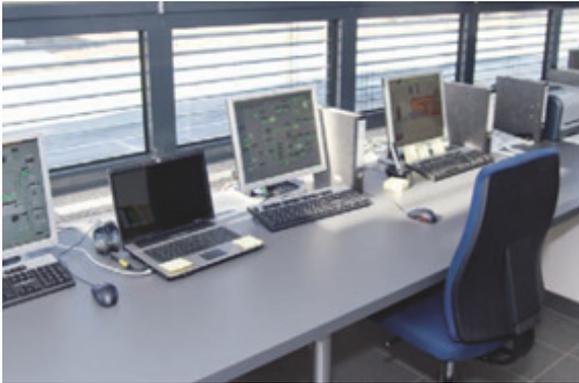


Abbildung 9 Visualisierung in der Warte und Datenaufzeichnung über die Leitreehner

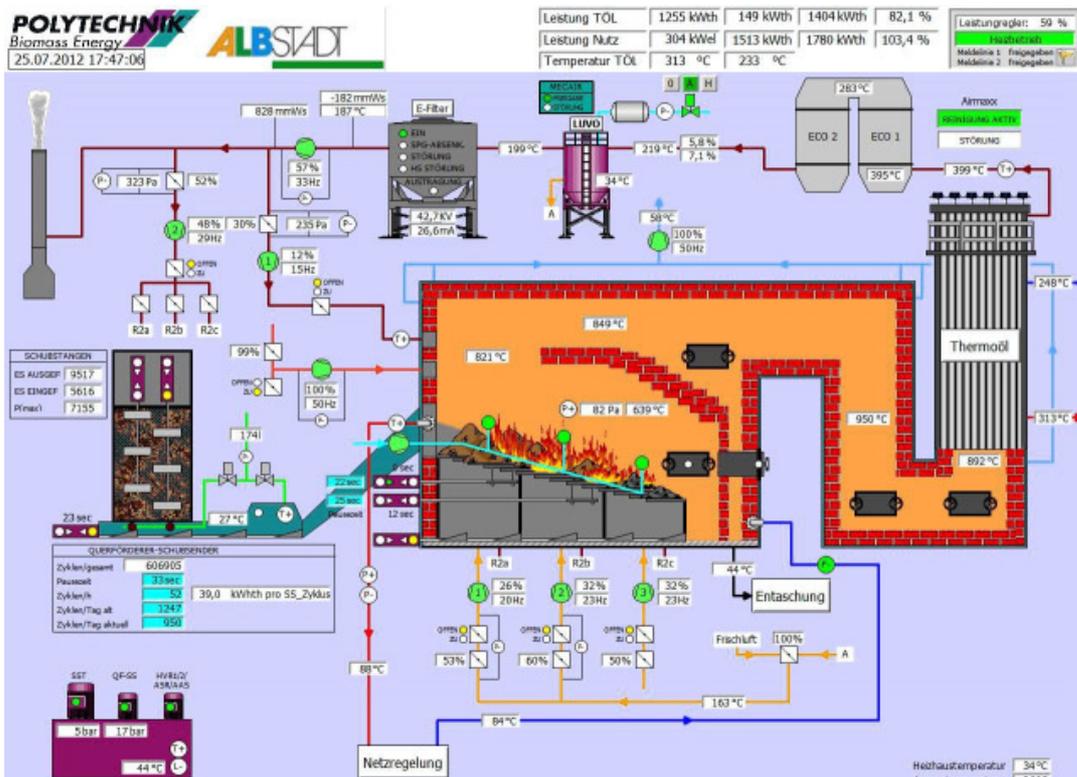


Abbildung 10 Screenshot Ausschnitt Leitreehner Heizkraftwerk

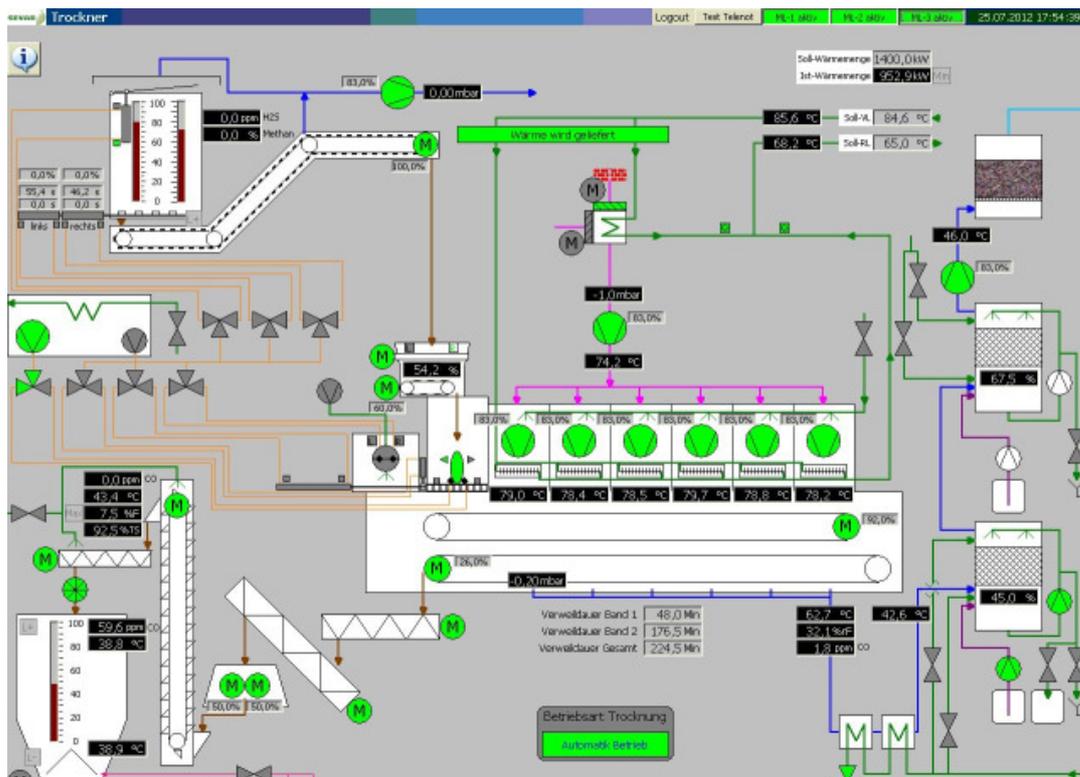


Abbildung 3 Screenshot Leitrechner Klärschlammbandtrockner

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Der Entscheidungsprozess von den Vorüberlegungen über die Gesellschaftsgründung bis zur Realisierung des Vorhabens bedurfte intensiver interkommunaler Abstimmung.

Die Planung und konzeptionelle Abwicklung erfolgte durch die eta Energieberatung GbR. Durch sorgfältig ausgearbeitete Antragsunterlagen konnten die notwendigen Genehmigungsverfahren effizient und mit einer kurzen Verfahrensdauer erfolgreich abgeschlossen werden.

Mit maßgeblicher Unterstützung durch die eta Energieberatung GbR konnte im Zusammenwirken mit den Anlagenbauern Maxxtec AG und Sevar Anlagentechnik GmbH die notwendigen Schritte zur Optimierung und Nachrüstung der Anlagentechnik erarbeitet werden.

#### 3.2 Stoff- und Energiebilanz

Wärme- und Stromerzeugung aus dem HKW

Die neue Anlage ist ein ORC-Heizkraftwerk (ORC = Organic Rankine Cycle = Stromerzeugung) mit Wärmeauskopplung (Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage). Das Biomasse-ORC-Heizkraftwerk hat eine maximale Feuerungswärmeleistung von 2.008kW. Die elektrische Leistung der ORC-Turbine im Nennbetrieb beträgt 303kW.

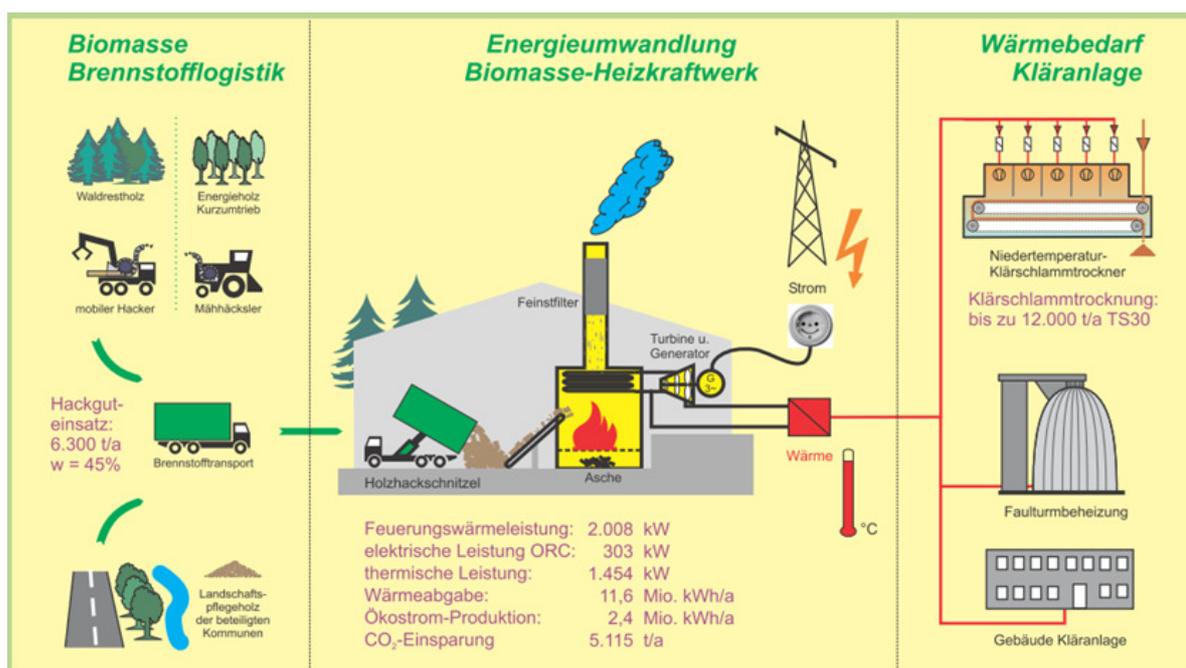


Abbildung 4 Anlagenschema mit Stoffdaten

Die erzeugte Wärme wird zur Versorgung des Klärschlammrockners, zur Wärmeversorgung der Kläranlage Ebingen und der Anlagen der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH am Standort für Prozesszwecke sowie für die Raumheizung genutzt. Die nutzbare thermische Leistung des Heizkraftwerkes liegt bei 1.454 kW. Die jährlich erzeugte Wärmemenge liegt bei ca. 11.600 MWh. Der Betrieb des Biomasse-ORC-Heizkraftwerkes wird durch den Betrieb und Wärmebedarf der Klärschlammrocknung bestimmt. Da die Wärme nahezu kontinuierlich über das ganze Jahr benötigt wird, wird auch das Biomasse-HKW über das ganze Jahr kontinuierlich betrieben. Der Anlagenbetrieb des Heizkraftwerks ist, bis auf die Revisionszeiten, ganzjährig rund um die Uhr geplant; 24 h/d / 8.760 h/a. Unter Abzug von Revisions- u. Wartungsarbeiten wird eine Betriebsdauer von 8.000 h/a angestrebt.

Je nach Betriebsweise des Klärschlammrockners und der Kläranlage kann seit der Inbetriebnahme mit der im Biomasse-Heizkraftwerk erzeugten Wärme der Erdgasbedarf der Kläranlage vollständig ersetzt werden (Erdgasersatz: bislang bis zu 100 % des derzeitigen Bedarfs – ca. 800.000 kWh/a). Die Klärschlammverwertung Albstadt GmbH erzielt hierdurch Erlöse aus dem Wärmeverkauf an die städtische Kläranlage, die städtische Kläranlage erspart hierdurch den Bezug von Erdgas.

Der erzeugte Ökostrom von ca. 2,4 Mio. kWh/a oder umgerechnet der Strombedarf für ca. 620 Privathaushalte wird in das Netz der Albstadtwerke GmbH eingespeist und nach dem erneuerbaren Energiengesetz (EEG 2009) vergütet.

*Energieeffizienz und Nachhaltigkeit: Im Biomasse-Heizkraftwerk werden aus regionalen, naturbelassenen Brennstoffen Strom und Nutzwärme im Kraft-Wärme-Kopplungsbetrieb (KWK) erzeugt. Dadurch wird auf der Anlage eine sehr hohe Energieeffizienz erreicht (> 80%). Die Brennstoffversorgung für die Anlage ist aufgrund einer traditionell hohen Holznutzung und einer regional eingespielten Energielogistik gekennzeichnet durch kurze Wege und unterliegt den für die Holz- und Forstwirtschaft selbstverständlichen Kriterien der Nachhaltigkeit.*

### 3.3 Umweltbilanz (bei Klimaschutzvorhaben: stets Angabe der CO<sub>2</sub> - Reduzierung (t/a, t/je t Produkt))

Die Biomassefeuerung mit ORC-Anlage bewirkt in Albstadt durch die regenerative Stromerzeugung und Wärmenutzung auf der Kläranlage eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von jährlich 1.436 Tonnen. Darüber hinaus wird mit der Klärschlammrocknung eine weitere CO<sub>2</sub>-Reduktion von 3.679 Tonnen erreicht. Diese ergibt sich zum einen aus der Brennstoffsubstitution (der Heizwert des auf 90 % TS getrockneten Klärschlammes beträgt in etwa 3,16 kWh/kg), zum anderen werden CO<sub>2</sub>-Transport-emissionen gespart.

In der Summe liegt die jährliche CO<sub>2</sub>-Entlastung bei 5.115 Tonnen. Bezogen auf die Gesamtinvestition von 7,8 € Mio. netto errechnen sich die spezifischen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten zu 1.525 €/t CO<sub>2</sub>\*a.

### 3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Nach § 5 des Konsortialvertrags zum Gesellschaftsvertrag wird eine Finanzierungs- und Kostenumlage für die Betriebs- und Verwaltungskosten des Betriebs des Biomasse-HKW mit ORC-Turbine und Klärschlamm-trocknung erhoben.

Das erste Betriebsjahr 2011 war geprägt von Baumaßnahmen an der Anlagentechnik und Planungen zu deren Optimierung und Erreichen der Leistungskennzahlen. Wesentlicher Faktor war eine erheblich reduzierte EEG-Einspeisevergütung und damit grundsätzlich schadensersatzpflichtige Ertragsausfälle durch die Minderleistung der ORC-Turbine.

Die **Finanzierungsumlage** wird auf der Basis der Schlamm-mengen (**3.565 to 100% TS**) abgerechnet, die dem Schlüssel für die Stammeinlage entsprechen. Der Verteiler ist somit fix.

Die **Kostenumlage** wird nach tatsächlichem Aufwand und angelieferten Klärschlamm-mengen abgerechnet. Der Verteiler ist somit variabel und kosten- bzw. mengenabhängig.

Die Mengenströme wurden über die Verwiegung aller Lieferungen auf der LKW-Waage erstmals komplett erfasst. Der TS-Gehalt aller Klärschlämme wurde im Labor der Kläranlage nach einheitlicher TS-Ermittlung nach standardisierten Methoden ermittelt.

Im ersten abgeschlossenen Betriebsjahr 2011 waren die tatsächlich angelieferten Schlamm-mengen deutlich geringer als erwartet. Das tatsächliche Mengenaufkommen lag in 2011 bei **2.340,15 to 100 % TS**.

Der Auslegung der Anlage bzw. der Ermittlung der Gesellschaftsanteile lag eine Mengenerhebung bei den Gesellschaftern aus den Jahren 2003 – 2007 zugrunde. Der dort ermittelte Mengenansatz wurde je Kläranlage gerundet. Daraus wurden die Stammkapitalanteile (vgl. Tabelle 1) abgeleitet. Diese Mengen wurde durch die B.A.U.M.- Consult AG, Hamburg, im Rahmen des Klärschlammmanagements 2010 nochmals für die Jahre 2003 – 2009 verifiziert und mit Maximalmengen ausgewertet. Die Mengenerhebung lt. Gesellschaftsanteilen wurde der Vorauszahlungsfestsetzung im Wirtschaftsplan 2011 hinterlegt.

Aufgrund der Diskrepanz zwischen Mengenansätzen und tatsächlichem Mengenaufkommen mussten im Rahmen der Umlagenabrechnung 2011 erhebliche Beträge nacherhoben werden. Um die Mengenauslastung der Anlage zu optimieren, aber auch um eine Entlastung der Gesellschafter über die Erzielung von Deckungsbeiträgen zu erreichen, werden ab 2013 Klärschlämme weiterer externer Kläranlagen angenommen und getrocknet.

Mutmaßliche und vermutete Ursachen für das Minderaufkommen an Schlämmen sind die erstmals einheitlich verwogenen Schlämme, die einheitliche TS-Gehaltbestimmung im Labor der Kläranlage, jahreszeitliche Mengenschwankungen, aber auch Veränderungen in der Entwässerung der Schlämme vor Ort (Umstellung von Entwässerung mit Kalk und Eisen auf den Einsatz von Polymeren). Ferner sind teilweise rückläufige Einwohnerzahlen vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung sowie Veränderungen in der Industrie- und Gewer-

belandschaft als ursächlich für zurückgehende Abwassermengen und damit Klärschlamm-mengen anzusehen.

Andererseits stellt auch die tatsächliche Entwicklung der Betriebskosten im Jahr 2012 im Quervergleich zu ersten Schätzungen aus der Planungsphase im Jahr 2007 eine nicht zu vernachlässigende Größe dar, die die Wirtschaftlichkeit deutlich beeinträchtigt. Hierbei waren beispielhaft aufgrund der lfd. Optimierungen, aber auch wegen der logistischen Abwicklung ein deutlich höherer Personalaufwand für den Betrieb der Anlage zu verzeichnen (2007: erwartet ca. 1,5 Mann, 2012: tatsächlich 4,3 Mann). Insbesondere aber sind beim Einkauf von Brennstoffen aufgrund stark steigender Nachfrage nach Hackschnitzeln eklatante Kostensteigerungen zu verzeichnen (2007: 100 %, 2012: 259 %).

### 3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Bei den hier eingesetzten Hauptkomponenten handelt es sich um übliche Techniken, die aber erstmalig in dieser Kombination umgesetzt wurden. Sowohl Biomasse-Heizkraftwerke mit ORC-Turbine wie auch Klärschlamm-trockner gelten als erprobte Techniken. Die installierte Anlage befindet sich im unteren Leistungsbereich des Spektrums der Hersteller, sowohl bei der ORC-Turbine als auch beim Klärschlamm-trockner, hier insbesondere als Niedertemperatur-Klärschlamm-trockner.

Der innovative Ansatz ergibt sich aus der erstmaligen Kombination dieser Techniken. Das patentierte Verfahren setzt auf am Markt verfügbare und langjährig bewährte Techniken:

*Konvektions- oder Direkt-trockner* werden für kommunalen Klärschlamm seit über 30 Jahren eingesetzt. Mit einer relativ einfachen elektrischen Steuerung wird ein hoher Automatisierungsgrad und damit geringer Personalbedarf erreicht.

*Solartrockner* stellen eine prinzipielle Alternative dar, können jedoch die erforderlichen Trockengehalte > 90% TS bei weitem nicht erreichen. Der auf der Kläranlage Ebingen im Jahr 2002 gebaute Solartrockner (Schlammumwälzung mit dem sog. IST-Wendewolf) erreichte in den Sommermonaten einen TS-Gehalt von 50 – 60 % TS, in den Wintermonaten von max. 30 – 45 % TS, im Jahresmittel von ca. 40 - 45 % TS. Bei diesen Leistungskennwerten der solaren Trocknung ist allerdings zu beachten, dass nur ca. 2/3 der Trocknungsfläche vorhanden war, die notwendig gewesen wäre, um den Schlamm der Kläranlage Ebingen auf 70 % TS im Jahresmittel zu trocknen. Ferner hat sich im praktischen Anlagenbetrieb gezeigt, dass eine Verbindung bzw. Kombination von vorhandener solarer und neuer thermischer Trocknung im Band-trockner wegen der unterschiedlichen Konsistenz der Schlämme und der Notwendigkeit einer Durchmischung im Niedertemperatur-Band-trockner nicht umsetzbar ist.

1999 wurde die *ORC-Technik* erstmals EU-weit erfolgreich für Biomasse-Kraft-Wärmekopplungsanlagen eingesetzt. Heute wird diese markterprobte Technik im Leistungsbereich von aktuell 300 und 2.200 kW<sub>el</sub> von einigen Herstellern angeboten. In Europa sind eine Vielzahl von Biomasse-Heizkraftwerken mit dieser Technik in Betrieb oder in der Realisierungsphase. In diesem Leistungsbereich sind für eine Biomasse-Nutzung momentan lediglich Gasnutzungsanlagen (Verbrennungsmotoren mit Holz- oder Biogas) eine Alternative.

Erstmalig in Deutschland wurden in diesem Projekt diese zwei bewährten Techniken (Biomasse-ORC-HKW und Niedertemperatur-Klärschlamm-trocknung) unter Nutzung von Effizienz- und Synergieeffekten zusammengebracht und die Funktionsfähigkeit und Kombinierbarkeit bestätigt.

Die technische Realisierbarkeit und praktische Funktionalität konnte unter Beweis gestellt werden. Jedoch waren im Rahmen dieses Pilotprojektes umfangreiche und zeitintensive Optimierungsmaßnahmen erforderlich. Diese waren teilweise sehr erschwert durch die massiven Liquiditätseingpässe eines Anlagenbauers. Die Firma Maxxtec AG hat am 25.10.2012 beim Amtsgericht Heidelberg Antrag auf ein Insolvenzverfahren gestellt.

Nach dem Überwinden vieler Hemmnisse konnte aber letztlich durch die Optimierungsmaßnahmen das Ziel erreicht werden, dass die Pilotanlage heute Leistungsparameter erreicht, die über die geplanten Werte hinausgehen. Hierbei wären zu nennen:

#### ORC-HKW:

- Steigerung der elektrischen Leistung der ORC-Turbine um 7 % von 287 kW auf 307 kW (damit heute ca. 1,4 % über Nennlast). Dadurch können die bisherigen Minder-einnahmen von ca. 60.000 €/a bei der EEG-Stromvergütung ausgeglichen werden.

#### Klärschlamm-trocknung:

- Steigerung der Trocknerleistung um 11 Prozentpunkte von ursprünglich 93 % auf 104 % nach dem Einbau leistungsfähigerer Umluft-Wärmetauscher. Die jährliche Wasserverdampfungsleistung liegt jetzt ca. 320 Tonnen höher als spezifiziert.
- Die Austragung des Klärschlambunkers wurde über einen geschwindigkeitsabhängig regelbaren Schubboden optimiert. Dadurch ergibt sich jetzt eine wesentlich bessere Vermischung verschiedener Klärschlämme, die über die linke bzw. rechte Hälfte des Schlambunkers eingebracht werden. Die Anlage ist nunmehr flexibler bei der Annahme von Klärschlämmen, deren Mengen nach wie vor über unterschiedliche Entwässerungsverfahren auf den Kläranlagen der Gesellschafter konditioniert werden.
- Der Stromeigenbedarf des Trockners liegt bereits besser als spezifiziert. Zusätzlich wurde die Abluft-Wäscheranlage nachträglich mit einem Frequenzumformer ausgestattet, um den Stromeigenbedarf durch gezielte Lastregelung weiter zu senken.

## 4. Empfehlungen

### 4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Das Projekt war im gesamten Realisierungszeitraum aufgrund seiner Neuartigkeit und Komplexität eine besondere Herausforderung, die jedoch mit unermüdlichem Fleiß und Einsatzbereitschaft aller Beteiligten angenommen und bewältigt wurde. Die geplante Inbetriebnahme der ORC-Turbine und somit die Stromeinspeisung gemäß EEG im Jahr 2010 wurde mit hohem Einsatz der Beteiligten erreicht. Dies schuf eine wichtige wirtschaftliche Voraussetzung durch die Sicherung fester Stromvergütungssätze vor einer gesetzlichen Reduzierung (Degression der Einspeisevergütung) zum Jahresanfang 2011. Dennoch ergaben sich im Projektverlauf Hemmnisse, insbesondere durch die wiederholt erforderlichen Maßnahmen der Hersteller der anlagentechnischen Hauptgewerke zur Erreichung der vertraglich vereinbarten Leistungskennwerte.

Die betriebsbezogenen Schwierigkeiten, Umstellungsprozesse, Optimierung der Betriebsabläufe und technischen Hemmnisse der Inbetriebnahme- und Optimierungsphase verursachten im ersten Betriebsjahr 2011 einen sehr hohen Personalaufwand, der nur durch das leistungsfähige und qualifizierte Betriebspersonal der Kläranlage Ebingen unter Zurückstellung anderer Aufgaben aufgefangen und bewältigt werden konnte. Sowohl das von der Stadt Albstadt bereitgestellte Betriebspersonal als auch die Anlagenbauer waren in 2011 permanent gefordert, die Beseitigung erkannter Schwachstellen, Mängel und Restarbeiten der Pilotanlage zu erledigen, den Anlagenbetrieb sicher zu stellen und Betriebsprozesse zu optimieren.

Dieser kontinuierliche Optimierungsprozess hat wesentlich dazu beigetragen, dass die Anlagenhersteller ihre Standardtechnik auf diese neuartige Kombination abstimmen konnten.

Im Betriebsjahr 2012 zeigt sich, dass der Personaleinsatz sukzessive zurückgefahren werden kann. Auch durch die Optimierung der internen Betriebslogistik durch die Beschaffung eines leistungsfähigen Radladers konnte der Zeitaufwand für den innerbetrieblichen Transport und Stoffstromumschlag (kombiniert für Brennstoff und Klärschlamm) deutlich reduziert werden.

Derzeit stellt – bedingt durch die unter Ziff. 3.4 dargestellten Mengenschwankungen - das Aufbringen der erforderlichen Klärschlammengen eine erhebliche Herausforderung dar. Diese Mengen sind für die Auslastung der Trocknung und somit für die Gesamtwirtschaftlichkeit der Anlage notwendig.

Trotz bewährter Technik und abgeschlossener Optimierung bereiten den Gesellschaftern und der Geschäftsführung einerseits die Betriebskosten-, andererseits die Mengenentwicklung bzw. das Mengenaufkommen an zu trocknenden Klärschlämmen erhebliche Sorgen (siehe Kapitel 3.4).

Nachdem die Bautätigkeit weitestgehend abgeschlossen und die Einhaltung der geplanten Baukosten nicht mehr kritisch ist, stellt das der Entgeltkalkulation zugrunde gelegte Klärschlammengenaufkommen, aber auch die weitere Entwicklung der Betriebskosten für Roh-, Hilfs- u. Betriebsstoffe das wesentliche Risiko der Gesellschaft dar. Dieses Risiko wird jedoch durch die Gesellschafter getragen, die gemäß Konsortialvertrag zur Bezahlung kostendeckender Entsorgungsentgelte verpflichtet sind.

Bei weltweit wirkenden Einflussfaktoren – Stichwort Energiewende – sind insbesondere die Brennstoffbeschaffungskosten, die Strombeschaffungskosten und die zahlreichen weiteren Betriebskosten für den Anlagenbetrieb prägend.

Letztlich führen höhere Entsorgungskosten bzw. höhere Umlagezahlungen der Gesellschafter an die Klärschlammverwertung Albstadt GmbH zu einer Kostensteigerung in den Gebühre Haushalten der Abwasserbeseitigung der Städte und Gemeinden und münden schlussendlich in Gebührenerhöhungen und Mehrbelastungen bei der Schmutzwassergebühr zu Lasten der Gebührensschuldner.

## 4.2 Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/ Anlage/ Produkt)

Aufgrund bewährter Technik und umfangreichen Optimierungsmaßnahmen der hier erstmalig umgesetzten Anlagenkombination besteht ein Potenzial zur Nachnutzung - gerade für kleinere und mittlere Kommunen, die im Zusammenschluss über eine Klärschlammmenge von > 12.000 t (TS 30) verfügen und durch die Trocknung eine deutliche Mengenreduzierung der zu entsorgenden Klärschlamm anstreben. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Fördervoraussetzungen über die Stromeinspeisung des neuen EEG (EEG 2012) von den zu Projektbeginn geltenden (EEG 2009) abweichen. Insbesondere ist der damalige Technologie-Bonus für die ORC-Technik entfallen. Die Wirtschaftlichkeit neuer Anlagen bleibt deshalb eine individuelle Betrachtung unter den sich ergebenden Gesamtrahmenbedingungen. Alternativen können z.B. in der sich technisch stark weiterentwickelten und Prozess stabilisierten Holzvergaser-Technik als Strom- und Wärmequelle liegen. Insbesondere der kleine Leistungsbereich (ca. 200 kW<sub>el</sub> und 250 kW<sub>th</sub>) ist hier interessant.

Der insbesondere ökologische Ansatz dieses Pilotprojektes (Wertschöpfung in der Region mit lokalen Brennstoffen und Klärschlammabsatzmöglichkeiten sowie direkte und indirekte Ein-

sparungen fossiler Energieträger) kann somit – wenn auch ggf. in anderen Leitungsgrößen – weiter getragen werden.

Eine aktuelle, aber bislang nicht abschließend einschätzbare Situation stellt die gewünschte Ausrichtung der Politik auf eine verstärkte Phosphorrückgewinnung dar.

Lt. Rücksprache mit dem BMU ist auf längere Sicht eine Phosphatrückgewinnung aus Klärschlämmen und Abwasser sinnvoll, aber derzeit noch nicht Stand der Technik. Welche Verfahren (trocken/nass) hier zukünftig Anwendung finden können, ist offen, jedoch gibt es erste Tendenzen.

Aus Sicht der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH erscheint daher eine aktuelle DWA-Veröffentlichung in der Monatszeitschrift KA Korrespondenz Abwasser, Abfall . 2012 (59) . Nr. 11, Seite 1004, zum Thema „Novelle der Klärschlammverordnung und neue Verordnung zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm“ als bedenklich. Hier wird berichtet, dass eine Novellierung der Klärschlammverordnung sowie eine Phosphatgewinnungsverordnung in Vorbereitung sind.

Zitat: „Danach soll die Rückgewinnung von Pflanzennährstoffen Vorrang haben. Konkret bedeutet dies, dass keine Mitverbrennung von Klärschlämmen, die bestimmte Nährstoffgehalte überschreiten, mehr stattfinden soll. Das „Verbrennungsverbot“ soll nicht für Schlämme gelten, die in Monoverbrennungsanlagen eingesetzt werden. Hier soll eine Pflicht zur Separatlagerung der Aschen eingeführt werden.“

Sofern sich diese Bestrebungen des Gesetz- bzw. Ordnungsgeber bewahrheiten, wird dies möglicherweise zu einer deutlichen Steigerung der Entsorgungskosten des getrockneten Klärschlammes und einer erheblichen Beeinträchtigung der weiteren Wirtschaftlichkeit der Pilotanlage führen. Dann ist nämlich damit zu rechnen, dass einerseits der Entsorgungsweg der getrockneten Schlämme als Ersatzbrennstoff im Zementwerk weg bricht und andererseits auch der hohe ökologische Nutzen einer regionalen Wertschöpfungskette unterbrochen wird!

Diese Entwicklung bleibt für den im Pilotprojekt speziellen Weg des getrockneten Klärschlammes als Brennstoffsubstitut und Rohstoff im Zementwerk detailliert im Auge zu behalten.

### 4.3 Zusammenfassung

Seit 2005 liefen bei der Stadt Albstadt Überlegungen, die Klärschlamm Entsorgung der städtischen Kläranlage und der Kläranlagen im Umland dauerhaft, umweltgerecht und kostengünstig zu sichern. Deshalb haben sich die Städte Albstadt, Burladingen, Gammertingen, Meßstetten, die Gemeinden Nusplingen, Schwenningen, Stetten a.k.M und die Abwasser-

zweckverbände Oberes Eyachtal, Schmeietal, Scher-Lauchert sowie die Kläranlage Kohltal GbR als Gesellschafter der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH zusammengeschlossen.

Die konkrete Umsetzung des Projektes fand ab 03/2009 statt. Zunächst waren umfangreiche Genehmigungsverfahren und EU-weite sowie nationale Ausschreibungen für die Einzelgewerke erforderlich. Die Anlage konnte dann in sehr kurzer Bauzeit von März bis Dezember 2010 errichtet werden. Die Inbetriebnahme des Heizkraftwerkes mit erster Stromeinspeisung fand im Dezember 2010 statt. Der Trocknungsbetrieb im Teillastbetrieb startete im Februar 2011. Ab April 2011 konnten nach Inbetriebnahme der dreistufigen Abluftreinigung der Trocknungsanlage die Schlämme aller 10 Kläranlagen angenommen und getrocknet werden. Bis 06/2012 erfolgten umfangreiche Optimierungsmaßnahmen zur Erreichung der angestrebten Leistungsfähigkeit und Nennlast der anlagentechnischen Hauptgewerke.

Die Umweltentlastungen durch die in Betrieb genommene Niedertemperatur-Klärschlamm-trocknung in Kombination mit einer Biomassefeuerung und ORC-Anlage sind vielfältig. Die Anlage ermöglicht einen nachhaltigen Verwertungsweg für kommunale Kläranlagen und vermeidet somit, dass sich problematische Stoffe über eine landwirtschaftliche Klärschlamm-entsorgung im Boden anreichern. Die Pilotanlage macht aus dem Abfall Klärschlamm einen wertvollen und CO<sub>2</sub>-neutralen Brennstoff mit dem Heizwert von Braunkohle und substituiert damit konventionelle Brennstoffe in Kraftwerken oder Zementwerken.

Es werden endliche Energieressourcen geschont und ein wertvoller Sekundärrohstoff für Zementwerke durch den hohen mineralischen Anteil des Klärschlammes gewonnen. Damit wird sowohl die rückstandsfreie stoffliche als auch die energetische Verwertung des Trockenklärschlammes bewirkt, wenn er in den Öfen der Zementwerke als Kohleersatzbrennstoff eingesetzt wird. Die Klärschlamm-trocknung bewirkt zudem eine Volumen- und Massenreduzierung des Klärschlammes im Vergleich zum mechanisch entwässerten Klärschlamm. Somit werden Straßentransporte per Lkw auf 1/3 im Vergleich zur Entsorgung des mechanisch entwässerten Klärschlammes vermindert und die regionale Wertschöpfung durch die Nutzung von Waldhackgut und Landschaftspflegematerial aus den Gemeinden als Brennstoff gefördert.

Die Biomassefeuerung mit ORC-Anlage bewirkt in Albstadt durch die regenerative Stromerzeugung und Wärmenutzung auf der Kläranlage eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von jährlich 1.436 Tonnen. Darüber hinaus wird mit der Klärschlamm-trocknung eine weitere CO<sub>2</sub>-Reduktion von 3.679 Tonnen erreicht. Diese ergibt sich zum einen aus der Brennstoffsubstitution (der Heizwert des auf 90 % TS getrockneten Klärschlammes beträgt in etwa 3,16 kWh/kg), zum anderen werden CO<sub>2</sub>-Transportemissionen gespart.

In der Summe liegt die jährliche CO<sub>2</sub>-Entlastung bei 5.115 Tonnen. Bezogen auf die Gesamt-Investition von 7,8 € Mio. netto errechnen sich die spezifischen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten zu 1.525 €/t CO<sub>2</sub>.

Von großer Bedeutung wird zukünftig für die Gesellschafter und die Geschäftsführung die weitere Mengen- und Betriebskostenentwicklung sein, aber auch die Entwicklungen hinsichtlich der Möglichkeit einer dauerhaften Entsorgung der Klärschlämme als Ersatzbrennstoff im Zementwerk im Gesamtumfeld der Phosphorrückgewinnung.

## Literatur

- Broschüre der Klärschlammverwertung Albstadt GmbH „Nachhaltige Klärschlammverwertung – Biomasse-Heizkraftwerk mit Klärschlammverwertung“
- DWA-Veröffentlichung in KA Korrespondenz Abwasser, Abfall . 2012 (59) . Nr. 11 zum Thema „Novelle der Klärschlammverordnung und neue Verordnung zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm“
- Brief Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg vom 06.12.2011, Az. 4-8982.32/16 zur Abfalleigenschaft des getrockneten Klärschlammes

## **Anhang**

(Abkürzungen, Maßeinheiten, Symbole, sofern für die Zielgruppe des Berichts nicht gebräuchliche oder übliche Abkürzungen verwendet werden.)

|       |  |
|-------|--|
| kWh/a | Kilowattstunde pro Jahr                                      |
| MWh/a | Megawattstunde pro Jahr                                      |
| TS    | Trockensubstanz(-gehalt)                                     |
| w     | Wassergehalt (Bsp. w45, Wasserhalt 45% bei Holzbrennstoffen) |
| EEG   | Erneuerbare- Energien- Gesetz                                |