STADT
STRAUBING

Potential zur Annahme von Biomasse

auf der Kläranlage Straubing

Verfasser:

ATEMIS GmbH
Dennewartstr. 25-27
D-52068 Aachen

Tel.: 0241-963-1890
Fax: 0241-963-1899
E-Mail: info@atemis.agit.de

Aachen, Juli 2014

Dipl.-Ing. D. Tentler

Inhaltsverzeichnis

1 Veranlassung ... 1-1

2 Gesetzliche Rahmenbedingungen ... 2-1

2.1 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) ... 2-1

2.2 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ... 2-1

2.3 Kraftwärme-Kopplungsgesetz (KWK-G) ... 2-1

2.4 Biomasseverordnung (BiomasseV) ... 2-2

2.5 Bioabfallverordnung (BioAbfV) ... 2-3

2.6 Klärschlammverordnung (AbfKlärV) ... 2-3

2.7 Düngemittelverordnung (DüMV) ... 2-3

3 Darstellung der bestehenden Anlage ... 3-1

3.1 Aktuelle Betriebsweise ... 3-1

3.1.1 Co-Vergärung ... 3-2

3.1.2 Fremdschlammannahme ... 3-4

3.1.3 Faulbehälter ... 3-4

3.1.4 Gasspeicher ... 3-5

3.1.5 Blockheizkraftwerke (BHKW) ... 3-6

3.1.6 Zentrifugen ... 3-7

3.1.7 Schlammverwertung ... 3-8

3.1.8 Prozesswasserbehandlung: Strippung ... 3-10

3.1.9 Prozesswasserbehandlung: Deammonifikation ... 3-10

3.2 Schlammanfall und -behandlung ... 3-12

3.3 Klärgasanfall und -verwertung ... 3-15

3.3.1 Mengen und Erträge ... 3-16

3.4 Energiebilanz ... 3-20

3.5 Reststoffe ... 3-23

4 Annahmepotential von Biomasse im Bestand ... 4-1

4.1 Allgemeines zur Annahme von Biomasse zur Vergärung ... 4-1

4.2 Auslastung der Verfahrensstufen ... 4-3

4.2.1 Co-Vergärung ... 4-3

4.2.2 Fremdschlammannahme ... 4-3

4.2.3 Faulbehälter ... 4-3

4.2.4 Gasspeicher ... 4-3

4.2.5 Blockheizkraftwerke (BHKW) ... 4-4

4.2.6 Zentrifugen ... 4-4

4.2.7 Schlammverwertung ... 4-4

4.2.8 Prozesswasserbehandlung: Strippung ... 4-5

4.2.9 Prozesswasserbehandlung: Deammonifikation ... 4-5

4.3 Zusammenstellung der Anlagenauslastungen ... 4-6

4.4 Abschätzung der zusätzlich annehmbaren Mengen ... 4-8

4.5 Strom- und Wärmepotential ... 4-9

4.6 Regional verfügbare Biomasse ... 4-10

5 Optimierungs- und Erweiterungsmaßnahmen ... 5-1

5.1 Bereits durchgeführte Maßnahmen ... 5-1

5.2 Optimierungsmaßnahmen ... 5-2

5.2.1 Lohntrocknung ... 5-2

5.2.2 Verwendung des eigenerzeugten Stromes ... 5-3

5.2.3 Temperatur der Faulbehälter ... 5-4

5.2.4 Schaumbildung der Faulbehälter ... 5-7

5.3 Erweiterungsmaßnahmen ... 5-7

5.3.1 Technische Holztrocknung ... 5-7

5.3.2 Errichtung eines dritten BHKW 5-9
5.3.3 Einsparung Wärme 5-10
5.4 Auswirkungen auf die Kläranlage 5-11
6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 6-1
6.1 Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 6-1
6.2 Investitionen 6-2
6.3 Betriebskosten und -Erlöse 6-2
6.4 Grenzkosten /Sensitivität 6-3
6.4.1 CoS-Annahmemengen 6-3
6.4.2 CoS-Annahmepreise 6-4
7 Zusammenfassung 7-1

1 Veranlassung

Die Stadt Straubing und der Landkreis Straubing / Bogen sind die Region der nachwachsenden Rohstoffe in Bayern. In der Vergangenheit sind eine Vielzahl von Aktivitäten unternommen worden, um Inhalte, die mit diesem Thema verbunden sind, umzusetzen.

Auf der Kläranlage der Stadt Straubing sind folgende Maßnahmen zur Steigerung der Biogasproduktion durchgeführt worden:

- Neubau eines Stapelbehälters zur Mitbehandlung von Klärschlämmen umliegender Gemeinden
- Annahmestation für hochkalorische, flüssige oder pastöse Co-Substrate aus der Lebensmittelindustrie
- Neubau einer Klärschlammtrocknungs- und -Verbrennungsanlage unter Gewinnung von Strom über eine Mikrogasturbine

Vor dem Hintergrund der weiteren Ausnutzung freier Kapazitäten in der vorhandenen Anlagen- und Bautechnik soll zum ersten geprüft werden, ob auf der Kläranlage weitere Biomasse-Stoffströme mitbehandelt werden können. Zum zweiten soll bewertet werden, ob mit den auf der Kläranlage vorhandenen Ressourcen (gereinigtes Abwasser, Abwärme, Strom) Biomasse behandelt oder aufbereitet werden kann.

Die Stadtentwässerung Straubing beauftragte das Ingenieurbüro ATEMIS GmbH mit einer Machbarkeitsstudie (Auftrag vom 21. November 2012), in der untersucht werden sollte

- in welchem Umfang die Annahme von Biomasse möglich ist,
- welche technischen Voraussetzungen für die dauerhafte Annahme von Biomasse zu schaffen sind,
- welche rechtlichen Anforderungen einzuhalten sind.

In dem nachfolgenden Bericht wurden die Möglichkeiten und die Grenzen zur Annahme von Biomasse auf der Kläranlage Straubing zusammengestellt.

2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

2.1 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)

Dieses Gesetz fördert die Schonung der natürlichen Ressourcen und regelt den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen. Die Vorschriften des KrWG gelten für die Vermeidung, Verwertung, Beseitigung und sonstige Maßnahmen der Abfallbewirtschaftung.

Die Vorschriften des Kreislaufwirtschaftsgesetztes (KrWG) gelten nach § 2 Absatz 2 Nr. 9 nicht für Stoffe, sobald diese in Gewässer oder Abwasseranlagen eingeleitet oder eingebracht werden. Dementsprechend gilt es also nicht für Stoffe, die zur Verwertung von der Kläranlage Straubing abgefahren werden.

2.2 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Die Bestimmungen für die Vergärung von Biomasse sind in den Paragraphen 27 und 27a des EEG enthalten.

Die Kläranlage Straubing erfasst bereits seit Jahren die angelieferten Mengen von Bioabfällen. Über Gärtests bei den einzelnen Fraktionen und ermittelte Gasmengen vor Annahme von Co-Substraten lassen sich die Gaserträge den jeweiligen angelieferten Mengen zuordnen.

Vergütungstechnisch ist seit Jahren der Eigenverbrauch des Stroms wirtschaftlich. Für den produzierten Überschuss der KA Straubing kann eine Einspeisevergütung nach EEG erzielt werden. Mit den folgenden Vergütungen ist zu rechnen:

§ 27 (1) Für Strom aus Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung beträgt die Vergütung

1.bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 150 Kilowatt 14,3 Cent pro Kilowattstunde,

2.bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 500 Kilowatt 12,3 Cent pro Kilowattstunde,

3.bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 5 Megawatt 11,0 Cent pro Kilowattstunde und

4.bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 20 Megawatt 6,0 Cent pro Kilowattstunde

Diese Vergütungen können abhängig von der Anlagengröße durch die Nutzung von Einsatzstoffen der Einsatzstoffvergütungsklasse I (Anlage 2) und II (Anlage 3) der Biomasseverordnung zusätzlich erhöht werden (siehe BiomasseV).

2.3 Kraftwärme-Kopplungsgesetz (KWK-G)

Bei der Verstromung des bei der Vergärung von Biomasse anfallenden Gases kann bei gleichzeitiger Wärmenutzung ein KWK-Bonus nach dem KWK-G erzielt werden. Die BHKW-Anlage in Straubing ist für die Bilanzierung der erzeugten Strom- und Wärmemenge nach dem KWK-G ausgerüstet. Ein KWK-Bonus wird unabhängig von Einspeisung oder Eigenverbrauch des Stroms erzielt.

Der Bonus wird auf KWK-Strommengen gezahlt. Als Nutzwärmen kommen insbesondere industrielle oder gewerbliche Wärmenutzungen wie z.B. die auf dem Klärwerk vorhandene Klärschlammtrocknung oder Holztrocknungen in Frage.

KWK-Anlagen bis 20 kWel	
Einmaliger Investitionszuschuss	3.325 €
KWK-Anlagen bis 50 kWel	
Gewährleistungszeitraum	30.000 Vollbenutzungsstunden oder 10 Jahre
Förderung Leistungsanteil bis 50 kW	5,41 ct/kWh
KWK-Anlagen über 50 kWel	
Gewährleistungszeitraum	30.000 Vollbenutzungsstunden
Förderung Leistungsanteil bis 50 kW	5,41 ct/kWh
Förderung Leistungsanteil 50 kW - 250 kW	4,00 ct/kWh
Förderung Leistungsanteil 250 kW - 2 MW	2,4 ct/kWh
Förderung Leistungsanteil über 2 MW	1,8 ct/kWh

Tabelle 2-1 Förderungen nach dem KWK-Gesetz ATEMIS

2.4 Biomasseverordnung (BiomasseV)

Diese Verordnung regelt die Erzeugung von Strom aus Biomasse nach dem EEG, insbesondere „welche Stoffe als Biomasse gelten, für welche Stoffe eine zusätzliche einsatzstoffbezogene Vergütung in Anspruch genommen werden kann, welche energetischen Referenzwerte für die Berechnung dieser Vergütung anzuwenden sind, wie die einsatzstoffbezogene Vergütung zu berechnen ist, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung aus Biomasse in den Anwendungsbereich des Gesetzes fallen und welche Umweltanforderungen bei der Erzeugung von Strom aus Biomasse einzuhalten sind.“

In den Anhängen der BiomasseV sind die Einsatzstoffvergütungsklassen für Einsatzstoffe ohne zusätzliche Vergütung (Anlage 1), für Einsatzstoffe der Vergütungsklasse I (Anlage 2) und für Einsatzstoffe der Vergütungsklasse II (Anlage 3) tabellarisch aufgeführt.

Die in Straubing angenommenen Co-Substrate (Fettabscheiderinhalte, Flotatfette, Flotatschlamm, Molkereierzeugnisse) sind in der Anlage 1 der BiomasseV enthalten. Als Biomasse im Sinne der BiomasseV gelten insbesondere auch Bioabfälle im Sinne von § 2 Nr. 1 der Bioabfallverordnung (BioAbfV).

Klärgas ist im Sinne der BiomasseV keine vergütungsberechtige Biomasse nach EEG § 27 und § 27a.

2.5 Bioabfallverordnung (BioAbfV)

Die Verordnung regelt die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Für die Co-Substratannahme in Straubing ist die Verordnung relevant, da Bioabfälle im Sinne der BioAbfV auch als Biomasse im Sinne der BiomasseV einzustufen ist, und damit Vergütungsanspruch nach EEG für erzeugten Strom aus den Gasen der vergorenen Bioabfälle besteht.

Bei der Neugenehmigung der Co-Substratannahme wurden mögliche Bioabfallarten zur Annahme berücksichtigt, die genehmigten Abfallschlüsselnummern sind in der Bewilligungsurkunde festgesetzt.

Welche Bioabfälle unter die Verordnung fallen, ist im Anhang 1 mit entsprechenden Abfallschlüsselnummern und Abfallbeschreibungen aufgeführt. Bei einer etwaigen landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gärtnerischen Nutzung der Gärreste sind weitere behördliche Pflichten zu erfüllen.

2.6 Klärschlammverordnung (AbfKlärV)

Die Klärschlammverordnung kommt zur Anwendung, wenn Klärschlamm aus Abwasserbehandlungsanlagen auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden aufgebracht werden soll. Der Klärschlamm der Straubinger Anlage wird ausschließlich thermisch verwertet, der Schlamm wird entweder über die eigene thermische Verwertungsanlage (sludge2energy) oder über E.ON in Kraftwerken verwertet.

Die AbfKlärV kommt auch für (lohn-)getrocknete Klärschlämme zur Anwendung, wenn diese im Anschluss landwirtschaftlich oder gärtnerisch verwertet werden. Zudem legt sie Grenzwerte für kritische Klärschlamminhaltstoffe fest, bis zu denen der Klärschlamm landwirtschaftlich oder gärtnerisch verwertet werden darf.

Der Klärschlamm der Kläranlage Straubing hält diese Grenzwerte nach der Entwässerung, Trocknung und nach der Verbrennung als Asche ein, d.h. der Klärschlamm kann nach den Vorgaben der AbfKlärV verwertet werden. Die maßgeblichen Grenzwerte werden im laufenden Betrieb überwacht.

Die Klärschlammasche aus der Verwertungsanlage „sludge2energy“ wird derzeit landwirtschaftlich verwertet.

2.7 Düngemittelverordnung (DüMV)

Die Düngemittelverordnung regelt das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln.

Für den Betrieb der Kläranlage Straubing ist diese Verordnung relevant, da die Reststoffe aus der Klärschlammbehandlung landwirtschaftlich verwertet werden. Dies sind z.B. die Ascheentsorgung oder die Reststoffe aus der Strippanlage zur Prozesswasserbehandlung (Ammoniumsulfat).

Die DüMV regelt die Anforderungen an die jeweiligen Einsatzstoffe und an die Stoffe zur Verwertung in Anhängigkeit zugelassener Hilfsmittel bei der Behandlung (z.B. Nebenbestandteile, Aufbereitungshilfsmittel, Anwendungshilfsmittel, Fremdbestandteile).

3 Darstellung der bestehenden Anlage

3.1 Aktuelle Betriebsweise

Im Folgenden soll die aktuelle Betriebsweise der Kläranlage Straubing für Schlamm und Faulgas anhand des vereinfachten Verfahrensfließbildes (Abbildung 3-1) dargestellt werden.

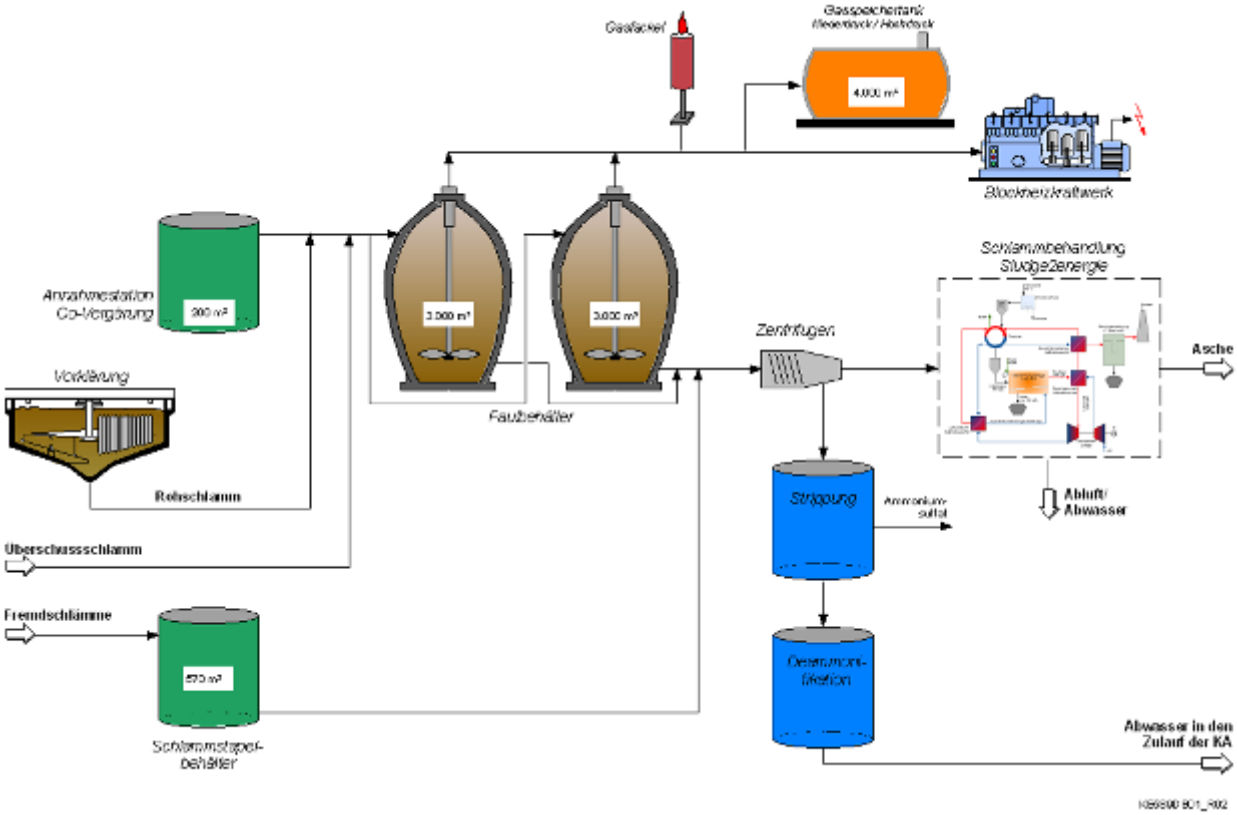

Abbildung 3-1 **Aktuelle Betriebsweise, Schlamm und Faulgas** **ATEMIS**

3.1.1 Co-Vergärung

Nach der Faulturmsanierung in den Jahren 2006/2007 stand das gesamte Volumen der Faultürme von 2 x 3000 m³ wieder zur Verfügung. Da diese Kapazität durch die in der Abwasserbehandlung entstehenden Schlämme nicht vollständig ausgenutzt wurde, konnten zusätzliche Substrate in der 2009 in Betrieb genommenen Co-Vergärung angenommen und in den bestehenden Faultürmen mitbehandelt werden.

Bei der Anlieferung bzw. deren Zwischenspeicherung werden zwei Substratgruppen unterschieden. Zum einen die hier als Bioabfälle bezeichneten Substrate (Flotatfette, Speiseabfälle etc.) und zum anderen die feststofffreien Substrate (z.B. Leimwasser). Die Stoffe werden aus den Lieferfahrzeugen gesaugt, zerkleinert und von Störstoffen befreit. Die in den Rundbehältern zwischengespeicherten Bioabfälle werden kontinuierlich durchmischt und gegebenenfalls erwärmt, bevor sie der Faulung zugeführt werden. Zum Teil werden die Substrate mit deutlich höheren Temperaturen angeliefert, sodass diese nicht erwärmt werden müssen. Die feststofffreien Substrate gelangen ohne Zwischenspeicherung in die Faultürme.

Die Annahmestation wurde 2013 um 2 Behälter mit einem jeweiligen Behältervolumen von 50 m³ erweitert. Damit stehen 4 baugleiche Behälter mit einem Fassungsvermögen von insgesamt 200 m^3 zur Verfügung. Im Jahr 2012 wurden etwa 33.000 m³ Co-Substrate angenommen. Das entspricht bei 250 Anliefertagen 130 Tonnen je Tag. Der Trockensubstanzgehalt der Substrate liegt überwiegend im Bereich zwischen 3-10 % wobei das Lignin auch höhere Werte von bis zu 20 % erreichen kann. Der organische Trockensubstanzgehalt weist Werte zwischen 70-98 % auf.

Behältervolumen	200 m³ (4 x 50 m³)
Annahmemenge	130 m³/d (33.000 m³/a, 5-Tage Woche)
Aufenthaltszeit	1,5 Tage
TS-Gehalt Zulauf	3 - 8 % TS (max. 17 %)
oTS-Gehalt Zulauf	70 - 98 % oTS
Temperatur	40 °C
Genehmigte Annahmemenge	53.000 t/a
Auslastung (genehmigungsrechtlich)	62 %

Tabelle 3-1 Technische Daten Co-Vergärung (Jahresmittel 2012) ATEMIS

Die in der nachstehenden Tabelle 3-2 aufgeführten Co-Substrate dürfen auf der Kläranlage Straubing angenommen und mitbehandelt werden.

Abfallschlüssel-nummer AVV	Bezeichnung
161002	Wässrige flüssige Abfälle, zur externen Behandlung
190805	Schlämme aus der Behandlung von kommunalen Abwasser
190809	Fett- und Ölmischungen aus Ölabscheider, die ausschließlich Speiseöle und Speisefette enthalten
020103	Abfälle aus pflanzlichen Gewebe
020106	tierische Ausscheidungen, Gülle, Jauche und Stroh (einschl. verdorbenes Stroh)
200108	Biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle, getrennt eingesammelte Fraktionen
200125	Speiseöle und Speisefette
020201	Schlämme von Wasch- und Reinigungsvorgängen
020203	Für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe
020204	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
020301	Schlämme aus Wasch-, Reinigungs-, Schäl-, Zentrifugier- und Abtrennprozessen
020304	Für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe
020305	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
020403	Schlämme von Wasch- und Reinigungsvorgängen
020501	Für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe
020502	Schlämme von Wasch- und Reinigungsvorgängen
020601	Für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe
020603	Schlämme von Wasch- und Reinigungsvorgängen
020702	Abfälle aus der Alkoholdestillation
020704	Für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe
020705	Schlämme von Wasch- und Reinigungsvorgängen

Tabelle 3-2 Genehmigte Co-Substrate nach Abfallschlüsselnummer AVV ATEMIS

3.1.2 Fremdschlammannahme

Die Fremd- und Klärschlammannahme der Kläranlage Straubing ermöglicht kommunalen Kläranlagen des Verbandgebietes, welche über eine Schlammstabilisierung aber nicht über eine darüber hinaus erweiterte Schlammverwertung verfügen, die Anlieferung von Schlämmen zur thermischen Verwertung.

Die Anlieferung erfolgt mittels Tankfahrzeugen an einer automatisierten Annahmestation mit Identifikationsanlage. Von dort wird der Schlamm in den 2002 in Betrieb genommenen Schlammstapelbehälter gepumpt, von wo aus dieser im Regelbetrieb direkt zur Entwässerung oder als Sonderbetriebsweise in die Faultürme der Kläranlage gefördert werden kann.

Behältervolumen	570 m³
Annahmemenge	9.400 m³/a
Aufenthaltszeit	22 Tage
TS-Gehalt Zulauf	2,50 %
oTS-Gehalt Zulauf	62 % oTS

Tabelle 3-3 Technische Daten Schlammstapelbehälter (Jahresmittel 2012) ATEMIS

3.1.3 Faulbehälter

Die beiden 1967 errichteten Faulbehälter der Kläranlage Straubing haben ein Volumen von jeweils 3000 m³. Diese Kapazität wurde durch eine Entleerung und Sanierung der beiden Behälter in den Jahren 2006/2007 wieder verfügbar gemacht. Neben der Einrichtung einer innenliegenden Umwälzung mittels Schraubenförderer, einer neuen Gashaube und einer Schaumfalle erfolgte die Installation einer neuen Aufheizung mit gleichzeitiger Wärmerückgewinnung.

Aufgrund der neu geschaffenen Betriebsweisen und des nun wieder vollständig zur Verfügung stehenden Nutzvolumens der Faulbehälter können seit 2009 energiereiche Abfallstoffe im Rahmen der Co-Vergärung mitbehandelt werden. Der Gasanfall konnte hierdurch verdreifacht werden.

Die beiden Behälter werden auf eine Temperatur von etwa 37,5 °C beheizt und parallel betrieben. Die jährliche Beschickungsmenge von insgesamt knapp 80.000 m³/a setzt sich aus 33.000 m³/a aus der Co-Substratannahme und 47.000 m³/a Rohschlamm aus der Vorklärung zusammen. Diese wiesen 2012 einen mittleren kombinierten Trockensubstanzgehalt von 5,5 % TS mit einem Organikanteil von 81 % oTS auf.

Behältervolumen	6.000 m³ (2 x 3000 m³)
Beschickungsmenge	220 m³/d (80.000 m³/a)
Aufenthaltszeit	27 Tage
TS-Gehalt Zulauf	5,5 % TS
oTS-Gehalt Zulauf	81 % oTS
TS-Gehalt Ablauf	2,5 % TS
oTS-Gehalt Ablauf	55 % oTS
Temperatur	37,5 °C
Gasanfall	6.900 Nm³/d (2,5 Mio. Nm³/a)
Auslastung (hydraulisch)	77 %
Auslastung (org. Raumbelastung)	53 %

Tabelle 3-4 Technische Daten Faulbehälter (Jahresmittel 2012) ATEMIS

Die Kapazität der Faultürme der Kläranlage Straubing wird sinnvoll zur Verwertung von Biomasse genutzt.

3.1.4 Gasspeicher

Für das in der Faulung entstandene Gas wird für eine möglichst gleichmäßige energetische Verwertung eine Zwischenspeicherung benötigt. Das Gas wird zu diesem Zweck in den Niederdruckgasspeicher mit 1.200 m³ Nutzvolumen geleitet. Für den Fall der Notstromversorgung durch ein BHKW (etwa 190 m³/h) muss ein Gasvorrat im Niederdruckspeicher vorgehalten werden, andererseits wird ein Pufferspeicher für den Ausfall oder die Wartung eines der Verbrennungsmotoren benötigt um das überschüssige Gas aufzunehmen. Aufgrund dieser beiden Anforderungen bietet der Niederdruckgasspeicher keinerlei Kapazitätsreserven.

Bei gefülltem Niederdruckgasspeicher wird das Gas in der Verdichterstation auf maximal 10 bar verdichtet und in einen der beiden Hochdruckgasspeicher vorgehalten. Diese besitzen ein Nutzvolumen von jeweils 140 m³. Im Jahresmittel liegt der Füllstand bei 1.900 Nm³ bei einer maximalen Vorhaltung von 2.800 Nm³. Da dieser Vorgang nur unter Energieaufwand möglich ist (Verdichter mit 50 kW) sollte die Zwischenspeicherung des Gases hauptsächlich im Niederdruckspeicher erfolgen.

	Behältervolumen	Füllstand
Niederdruckgasspeicher	1.200 m³	700 Nm³
Hochdruckgasspeicher	280 m³ (2 x 140 m³)	1.900 Nm³ (2 x 950 Nm³)

Tabelle 3-5 Technische Daten der Gasspeicher (Jahresmittel 2012) ATEMIS

3.1.5 Blockheizkraftwerke (BHKW)

Durch die Annahme von Co-Substraten konnte die Gasproduktion auf 6.900 Nm³/d (2,5 Mio. Nm³/a) gesteigert werden. Um diese Menge an Klärgas elektrisch sowie thermisch zu verwerten, wurde im August 2009 eine neue BHKW-Anlage in Betrieb genommen. Der elektrische Wirkungsgrad konnte durch die Maßnahme von 21 % auf etwa 41 % (brutto) gesteigert werden. Die anfallende Wärme aus BHKW und Verbrennung wird in einen Wärmespeicher (30 m³) eingebracht und somit für den Kläranlagenbetrieb (Faultürme, Prozesswasserbehandlung, Klärschlammtrocknung, Co-Substratannahme, Betriebsgebäude) verfügbar gemacht.

Für die beiden Motoren mit Turbolader und Abgaskatalysator wurde eine Klärgasaufbereitung notwendig. Nach einer Filtration und einer Trocknung wird das Gas durch eine Aktivkohlestufe von schädlichen Spurengasen (Siloxane und Schwefelwasserstoff) befreit. Somit konnte der Wartungsaufwand an den Motoren deutlich verringert werden.

Die beiden Blockheizkraftwerke verbrennen jährlich eine Menge von etwa 2,3 Mio. m³ Gas und erzeugen 5,4 Mio. kWh/a Strom. Da diese Menge den Eigenbedarf der Kläranlage von etwa 4,6 Mio. kWh/a (einschließlich sludge2energy mit 600.000 kWh) um etwa 1,1 Mio. kWh/a übersteigt, kann dieser Strom in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden.

Klärgasbeschickung	2 x 130 Nm³/h (Jahresmittel)
Betriebsstunden	2 x 5.900 h/a
Beschickungsmenge	6.300 Nm³/d (2,3 Mio. Nm³/a)
Klärgasbedarf maximal	2 x 190 Nm³/h
Anlagenleistung (elektrisch)	2 x 537 kW
Anlagenleistung (thermisch)	2 x 542 kW (97°C) 2 x 75 kW (55°C)
Elektrischer Wirkungsgrad (brutto)	41,0 % unter Volllast (brutto)
Thermischer Wirkungsgrad (brutto)	36,7 % unter Volllast (brutto)
Stromerzeugung	5,4 Mio. kWh_{el}/a
Wärmeerzeugung	5,7 Mio. kWh_{th}/a
Auslastung	70 %

Tabelle 3-6 Technische Daten Blockheizkraftwerk (Jahresmittel 2012) ATEMIS

3.1.6 Zentrifugen

Als Vorlagebehälter der Schlammentwässerung für die ausgefaulten Schlämme aus den Faultürmen und der Fremdschlammannahme bestehen zwei Stahlbetonbehälter mit einem Volumen von jeweils 80 m³. Die Vorlagebehälter wurden 1988 als Rechteckbehälter mit Trichterspitze ausgeführt. Der Schlammabzug erfolgt im Kellergeschoss jeweils in der Trichterspitze.

Die ebenfalls 1988 errichteten Kammerfilterpressen wurden 2009 durch zwei Zentrifugen ersetzt. Zielsetzung der Entwässerung ist ein Mindestentwässerungsgrad auf 30 % TS, damit die Klärschlammtrocknung und -verbrennung weitgehend energieautark betrieben werden kann.

Die Mittlere Belastung der Zentrifugen beträgt bei einer Betriebszeit von annähernd 24 Stunden pro Tag etwa 15 m³/h. Aufgrund von technischen Schwierigkeiten ist nur eine Zentrifuge im Betrieb. Bei einem maximalen Durchsatz pro Zentrifuge von 25 m³/h beträgt die Auslastung etwa 65 %. Durch Diskontinuitäten im Bereich der Klärschlammfaulung müssen die Aggregate eine Spitzenbelastung von 36 m³/h abfangen. Der maximale Durchsatz von 25 m³ pro Zentrifuge unterschreitet diese Leistung, weshalb die Zentrifugen speziell bei Wartungs- und Reparaturarbeiten ausgelastet sind und die Gefahr des Schlammrückstaus in anderen Anlagenteilen besteht. Aus diesen Gründen ist der Einsatz einer dritten Zentrifuge mit gleicher Durchsatzleistung vorgesehen und in 2014 umgesetzt worden.

Volumen Vorlagebehälter	160 m³ (2 x 80 m³)
Aufenthaltszeit Vorlagebehälter	17 Stunden
Zulaufmenge (24 Stunden Betrieb)	15 m³/h (86.000 m³/a)
Spitzenbelastung	36 m³/h
Nennleistung (maximal)	50 m³/h (2 x 25 m³/h)
TS-Gehalt Zulauf	2 - 3 % TS
TS-Gehalt Ablauf	30 % TS
oTS-Gehalt im Zulauf und Ablauf	55 % oTS
Auslastung	65 % (nur eine Zentrifuge im Betrieb)

Tabelle 3-7 Technische Daten Zentrifugen (Jahresmittel 2012) ATEMIS

3.1.7 Schlammverwertung

Seit Anfang 2012 werden die entwässerten Klärschlämme der Kläranlage im Rahmen des Projektes sludge2energy getrocknet und thermisch verwertet. Errichtet wurde ein Kondensations-Bandtrockner, welcher die vertragliche festgesetzte Jahresklärschlammmenge (9.333 t/a) mit einem TS-Gehalt von 30 % auf 65 % trocknen sollte. Im laufenden Betrieb liegt dieser TS-Gehalt nun bei bis zu 95 %.

Als weitere Verfahrensstufen stehen eine Rostfeuerung mit anschließender Phosphorrückgewinnung aus der Asche, ein Rauchgas-Wärmetauscher sowie eine Mikrogasturbine zur Verfügung. Die vertraglich festgelegte Beschickungsmenge beträgt 4.308 t/a.

Da die vertraglichen Jahresmengen auf der Kläranlage nicht anfallen, werden in den beiden folgenden Tabellen die Sollwerte in Abhängigkeit von den tatsächlich anfallenden Schlammmengen dargestellt. Die Ist-Werte stellen die aktuellen, extrapolierten Betriebswerte (Dezember 2013) als Jahreswerte dar. Diese Betriebswerte werden erst ab Mitte Dezember erreicht. Es wird erwartet, dass diese weiterhin erreicht werden.

	Vertragswert	angefallene Schlammmenge	Ist (vorläufige Werte)
Beschickungsmenge	9.333 t/a	8.000 t/a	3.000 t/a
TS-Gehalt Zulauf	30 %	30 %	30 %
TS-Gehalt Ablauf	65 %	90 %	95 %
Verdampfungsleistung	700 kg/h	700 kg/h	370 kg/h
Betriebsstunden	7.179 h/a Volllast	7.500 h/a	5.500 h/a
Auslastung (Mengen)	-	100 %	38 %
Auslastung (Betriebsstunden)	-	100 %	73 %
Auslastung (Verdampfungsleistung)	-	100 %	53 %

Tabelle 3-8 Technische Daten s2e Trockner Dezember 2013 extrapoliert ATEMIS

Die angefallenen Schlammmengen und -daten sind im Vergleich zu den Vertragswerten aufgeführt. Der s2e-Trockner erreicht derzeit noch nicht den gewünschten Betrieb um alle angefallenen Mengen zu trocknen. Überschüssige Mengen werden über den BHKW-Trockner getrocknet.

Die Auslastung wurde in Prozent der angefallenen Schlammmengen berechnet. Zusätzlich zur Klärschlammtrocknung wurden in 2013 auch entwässerte Schlämme abgefahren.

	Vertragswert	Angefallene Menge	Ist (vorläufige Werte)
Beschickungsmenge	4.308 t/a	2.200 t/a	2.000 t/a
TS-Gehalt Zulauf	65 %	90 %	95 %
oTS Zulauf	49%	> 55%	> 55%
oTS-Gehalt Ablauf (Asche)	< 5 %	< 5 %	> 5 %
Leistung Rostfeuerung (max.)	990 kW_{th}	990 kW_{th}	> 990 kW_{th}
Betriebsstunden	7.500 h/a	6.600 h/a	8200 h/a
Ascheaustrag	1.428	780 t/a	930 t/a
Auslastung (Mengen)	-	100 %	91 %
Auslastung (Betriebsstunden)	-	100 %	124 %
Auslastung (Feuerungswärmeleistung)	-	100 %	> 100 %

Tabelle 3-9 Technische Daten s2e Verbrennung Dezember 2013 extrapoliert ATEMIS

Zusätzlich steht ein Mitteltemperaturtrockner, der mit BHKW-Abwärme betrieben wird (im Weiteren „BHKW-Trockner“) für eine Lohntrocknung angelieferter Schlämme zur Verfügung. Dieser wurde aufgrund technischer Probleme des sludge2energy Trockners für die Trocknung des Großteils der Klärschlammmenge der Kläranlage Straubing eingesetzt. Zurzeit wird der „BHKW-Trockner“ mit etwa 63 % der Klärschlammmenge beschickt. Eine Lohntrocknung findet derzeit nicht statt.

	Vertragswert Maximalbetrieb	Ist (vorläufige Werte)
Beschickungsmenge	10.000 t/a	5.000 t/a
TS-Gehalt Zulauf	25 %	30 %
TS-Gehalt Ablauf	>= 90 %	95 %
Durchsatz	1.250 kg/h	700 kg/h
Verdampfungsleistung	900 kg/h	481 kg/h
Thermischer Energieverbrauch	830 kWh_{th}/t WVD	kWh_{th}/ WVD
Elektrischer Energieverbrauch	120 kWh_{el}/t WVD	kWh_{el}/t WVD
Betriebsstunden	8.000 h/a	7.100 h/a
Auslastung (Mengen)	100 %	50 %
Auslastung (Betriebsstunden)	100 %	90 %

Auslastung (Verdampfungsleistung)	100 %	53 %

Tabelle 3-10 Technische Daten „BHKW Trockner“ Dezember 2013 extrapoliert ATEMIS

3.1.8 Prozesswasserbehandlung: Strippung

Im Jahr 1999 wurde die Anlage zur Behandlung des mit Stickstoff hochkonzentrierten Prozesswassers aus der Schlammentwässerung in Betrieb genommen. Zunächst wird das Prozesswasser zur zeitlichen und qualitativen Vergleichmäßigung der Zuläufe in einem gemeinsamen Trübwasserspeicher der Strippung und der Deammonifikation zwischengespeichert und nach Einstellung der Prozesstemperatur auf 55°C mit Natronlauge versetzt. Der nun im Abwasser enthaltene Ammoniak-Stickstoff wird in einer Stripkolonne mit Hilfe von Luft ausgestrippt. Die mit Stickstoff beladene Luft wird anschließend in die Wäscherkolonne geleitet, in der das Ammoniak mit Schwefelsäure zu Ammoniumsulfat reagiert. Dieses kann als Düngemittel oder in Industrieprodukten wieder verwendet werden.

Im Regelbetrieb wird das Prozesswasser zuerst in der Strippanlage behandelt und dann in der Deammonifikation weiter vom Stickstoff befreit.

Trübwasserspeicher	420 m³
Beschickungsmenge (Jahresmittel)	250 m³/d (92.000 m³/a)
Durchsatz (maximal) Auslegung (aktuell etwa 90%ige Reinigungsleistung)	< 280 m³/d
Durchsatz (maximal) hydraulisch	384 m³/d
Ammonium-Stickstoff im Zulauf	< 1.200 mg/l
Ammonium-Stickstoff im Ablauf	< 80 mg/l
Auslastung (Reinigungsleistung)	100 %
Auslastung (hydraulisch)	66 %

Tabelle 3-11 Technische Daten Prozesswasserbehandlung (Jahresmittel 2012) ATEMIS

3.1.9 Prozesswasserbehandlung: Deammonifikation

Zur Behandlung des Prozesswassers aus der Schlammentwässerung und der Brüdenkondensate des sludge2energy Trockners wurde bis Mitte 2013 zusätzlich zur Strippung die Deammonifikation errichtet. Hierfür wurde der ehemalige Faulwasserspeicher mit einem Rührwerk und Belüfterplatten ausgestattet und somit zum Reaktor umgebaut. Der Reaktor wird kontinuierlich beschickt und dabei intermittierend belüftet oder gerührt, sodass der Prozess der Deammonifikation im Belebtschlammverfahren ablaufen kann. Hierbei wird in einem ersten Schritt über die unvollständige Oxidation Ammonium zu Nitrit umgewandelt, welches in einem zweiten Schritt unter anoxischen Bedingungen mit dem verbliebenen Ammonium zu molekularem Stickstoff umgesetzt und ausgegast wird. Die deammonifizierende Biomasse setzt

sich in einem dem Reaktor nachgeschalteten Schrägklärer ab und wird zurück in den Reaktor gepumpt, während das behandelte Abwasser als Klarlauf in den Zulauf zur Kläranlage abgeleitet wird.

Der Trübwasserspeicher steht weiterhin als gemeinsamer Vorlagebehälter des Prozesswassers für Strippung und Deammonifikation zur Verfügung.

Im Regelbetrieb wird das Prozesswasser zuerst in der Strippanlage behandelt und dann in der Deammonifikation weiter vom Stickstoff befreit. Es besteht aber auch die Möglichkeit, den Reaktor direkt mit Prozesswasser zu beschicken. Die Temperatur im Reaktor kann mit Hilfe der Wärmetauscher der Strippanlage sicher über 25 °C eingestellt werden. Die Leistungsfähigkeit der Anlage ist noch nachzuweisen.

Trübwasserspeicher	420 m³
Beschickungsmenge (Jahresmittel)	250 m³/d (92.000 m³/a)
Durchsatz (maximal), aktuell	300 m³/d
Durchsatz (maximal), 5d-Woche (theoretisch, da noch nicht im Dauerbetrieb)	454 m³/d
Auslastung	84 %

Tabelle 3-12 Technische Daten Deammonifikation (Jahresmittel 2012) ATEMIS

3.2 Schlammanfall und -behandlung

Als Datengrundlage wurden die Betriebsdaten der letzten drei Betriebsjahre (2010 - 2012) sowie der Referenzjahre 2004 - 2006 verwendet, in denen vorrangig der spezifische Gasertrag des Rohschlammes ohne Co-Substrate ermittelt wurde. Der Rohschlammanfall der Kläranlage ist seitdem nahezu konstant geblieben. Durch die zusätzliche Annahme von Co-Substraten wurde die Schlammmenge seit den Referenzjahren um 65 % von 48.000 t/a auf 79.000 t/a erhöht.

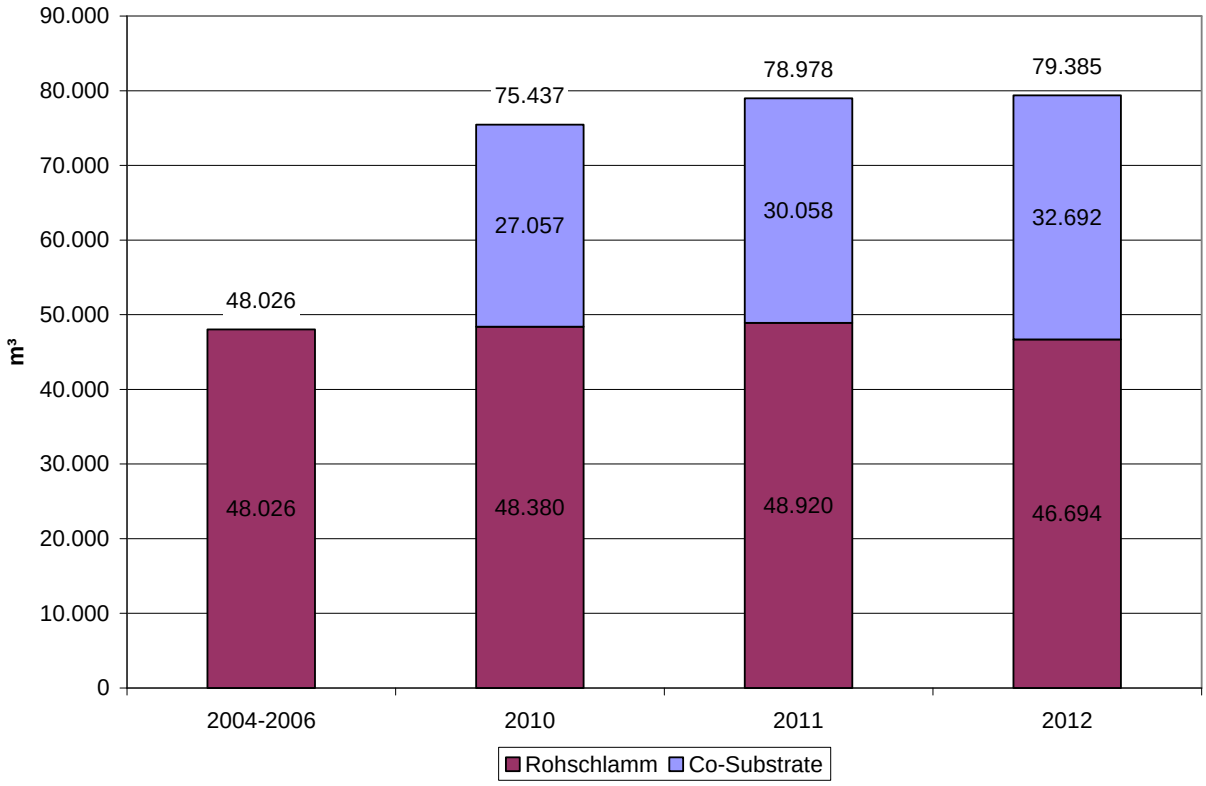

Abbildung 3-2 **Schlammanfall** **ATEMIS**

Durch den Umbau der Vorklärung und einer damit verbundenen kürzeren Verweilzeit des Primärschlammes konnte der organische Trockensubstanzgehalt des Schlammes im Zulauf zu den Faulbehältern von 63 % auf 71 % gesteigert werden. Aufgrund geringerer Zulaufmengen und einer abfallenden Tendenz des Trockensubstanzgehaltes im Zulauf verringerte sich dennoch die zugeführte Organik aus dem Primärschlamm.

Demgegenüber steht die gesteigerte Annahme von Co-Substraten. Durch die verstärkte Annahme von leicht abbaubaren Flotatfetten mit hohen Organikanteilen konnte die Gesamtzufuhr an organischer Trockensubstanz gegenüber den vorherigen Jahren im Jahr 2012 weiter gesteigert werden (siehe Abbildung 3-3).

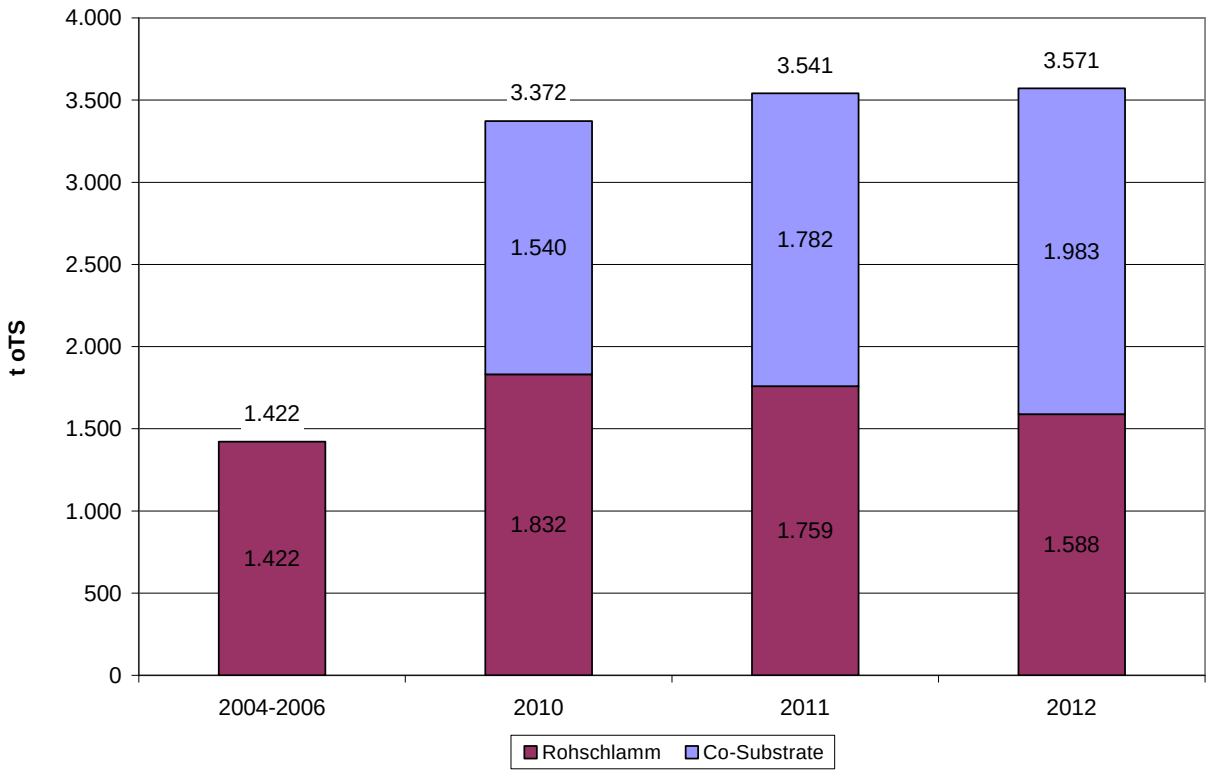

Abbildung 3-3 **Organische Trockensubstanz** **ATEMIS**

Die organische Raumbelastung der Faultürme beträgt derzeit etwa 1,6 $kg_{oTS}/(m^3 \times d)$.

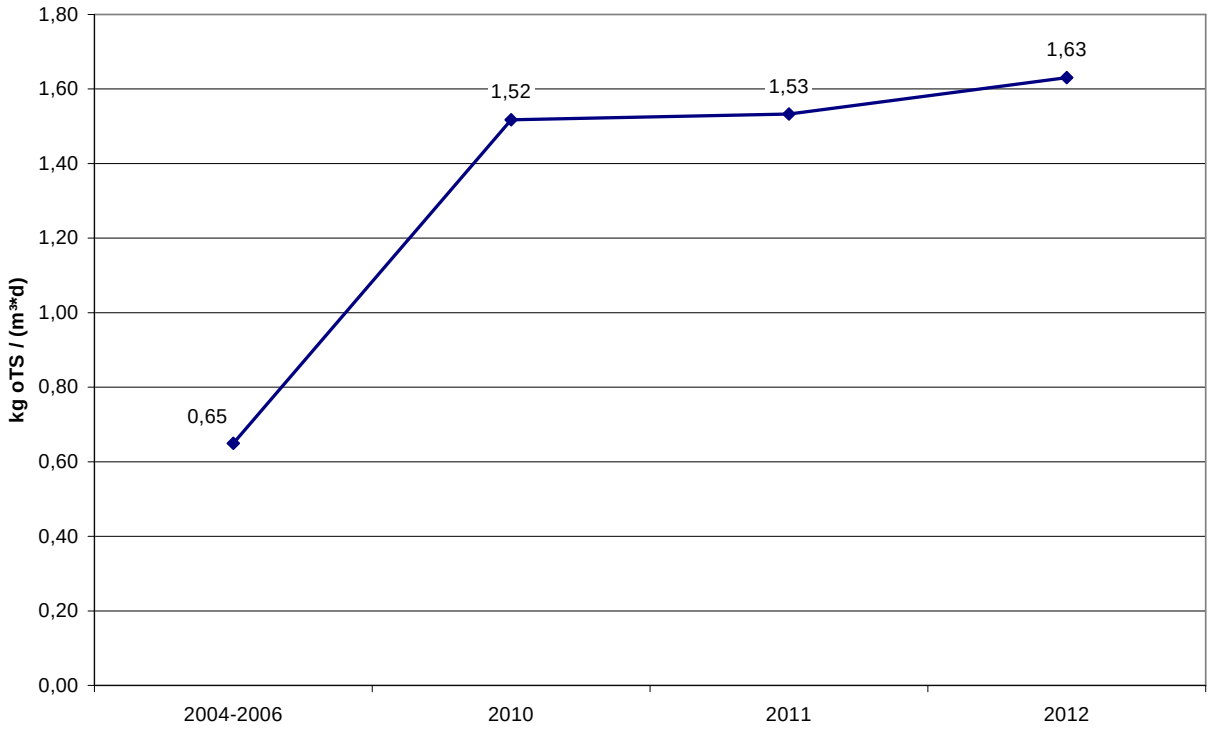

Abbildung 3-4 **Organische Raumbelastung pro Kubikmeter und Tag** **ATEMIS**

Die maximal empfohlene organische Raumbelastung würde nach aktuellen Erkenntnissen bei 3,0 $kg_{oTR}/(m^3 \times d)$ liegen, allerdings müssen die betrieblichen Randbedingungen dann erst recht im optimalen Bereich liegen. Es werden sogar Hochlastverfahren untersucht, bei denen die Raumbelastungen über 6,0 $kg_{oTR}/(m^3 \times d)$ liegen.

Die Entsorgung des entwässerten Klärschlammes fand bis 2011 ausschließlich über das Entsorgungsunternehmen [redacted] statt. Mit der Inbetriebnahme der thermischen Klärschlammverwertung sludge2energy im April 2012 konnte etwa die Hälfte der Schlammmenge von 2012 über die Trocknungs- und Verbrennungsanlagen entsorgt werden. Hierbei wurde aufgrund von technischen Problemen nur ein geringer Teil über den sludge2energy Trockner verwertet (siehe Abbildung 3-5). Stattdessen wurde der Schlamm im BHKW Trockner getrocknet, welcher ursprünglich nicht für die eigene Klärschlammtrocknung, sondern als Lohntrockner angenommener Fremdschlämme (entwässert) eingesetzt werden sollte. Im Jahr 2013 wurde bisher kaum Schlamm über ein Fremdunternehmen entsorgt. Die aktuellen Betriebsdaten zeigen eine jährliche Verwertung des anfallenden Klärschlammes von etwa 40 % über den sludge2energy Trockner und etwa 60 % über den „BHKW“ Trockner. Die aktuellen Betriebsdaten wurden für die Abbildung 3-5 auf Jahreswerte hochgerechnet. In Zukunft soll die gesamte Klärschlammmenge über den sludge2energy Trockner entsorgt werden, damit der „BHKW Trockner“ für seinen eigentlichen Zweck der Lohntrocknung eingesetzt werden kann. Es ist allerdings davon auszugehen, dass dies vorerst nicht der Fall sein wird und der „BHKW-Trockner“ eine nicht unerhebliche Menge mitzubehandeln hat.

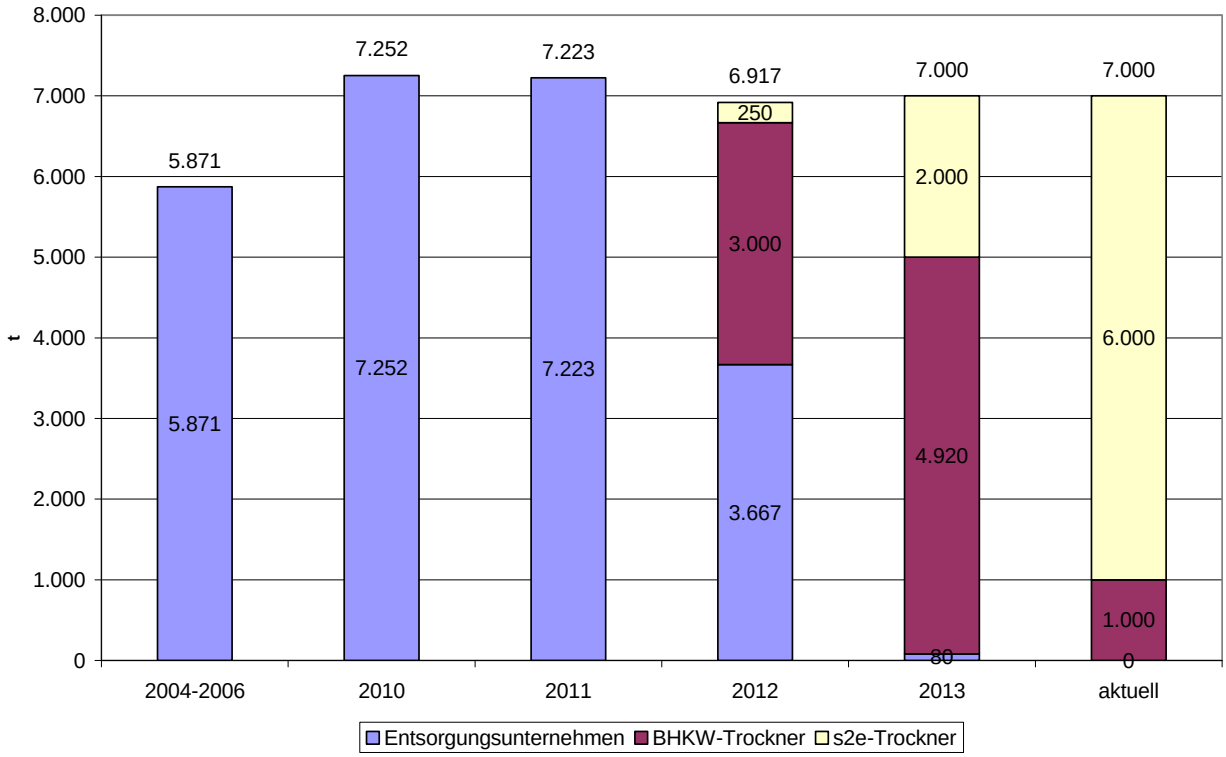

Abbildung 3-5 **Entsorgungswege entwässerter Klärschlamm** **ATEMIS**

3.3 Gasanfall und -verwertung

Klär- bzw. Biogas ist ein Stoffwechselprodukt, das beim Abbau der im Schlamm enthaltenen organischen Stoffe entsteht. Auf der Kläranlage Straubing entsteht das Klär- bzw. Biogas in zwei Faulbehältern mit einem Gesamtvolumen von ca. 6.000 m³. Dieses Gas wird zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt. Ein vereinfachtes Verfahrensfließbild (siehe Abbildung 3-1) stellt die verwendeten Anlagenkomponenten dar.

Das in den beiden Faulturmreaktoren anfallende Gas wird vor der Verwertung zunächst in einem zweistufigen Speichersystem zwischengespeichert und vergleichmäßigt. Hierfür stehen ein Niederdruckgasspeicher mit einem Fassungsvolumen von 1.200 m³ und zwei Hochdruckbehälter (Betriebsdruck 10 bar) mit jeweils 140 m³ zur Verfügung. In der Regel wird der Niederdruckgasspeicher mit Gas beschickt. Ist dieser gefüllt, so wird das Gas im Hochdruckverdichter komprimiert und in einen der Hochdruckgasspeicher geleitet. Im Bedarfsfall wird das Gas aus den Hochdruckspeichern nach entsprechender Druckreduzierung (Gasentspannung) entnommen und in den Niederdruckgasbehälter geleitet. Zur Sicherstellung der Klärgasentsorgung bei längerem Stillstand oder Ausfall der Verwertungsanlagen (Notbetrieb) ist eine Gasfackel installiert, in der das Gas verbrannt wird.

Bevor das Gas in den Blockheizkraftwerken verwertet werden kann, wird dieses nach einer Filtration und einer Trocknung in einer Aktivkohlestufe von schädlichen Spurengasen (Siloxane und Schwefelwasserstoff) befreit. Bei einer Jahresbetriebsdauer der BHKW-Anlage von etwa 16.800 h/a (8.4000 h/a je Modul) liegt die Abnahmemenge derzeit bei rund 280 Nm³/h (140 Nm³/h pro Modul). Es können je Modul maximal ca. 180 Nm³ unter Volllast verstromt werden.

Die BHKW-Anlage besteht zurzeit aus zwei baugleichen Gasottomotoren mit einer gesamten Feuerungswärmeleistung von ca. 2.600 kW (2 x 1.300 kW). Die installierte elektrische Leistung beträgt 520 kW je Modul.

Die beiden Verbrennungsmotoren treiben jeweils einen Synchrongenerator zur Erzeugung von Netzstrom (Wechselstrom) an, die in der Regel parallel zum Netz betrieben werden (Netzparallelbetrieb). Der dabei erzeugte Strom wird über eine Transformatorenstation in das öffentliche Netz eingespeist und nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet.

Die gesamte anfallende Gasmenge ist förderfähig im Sinne des EEG. Über das Betriebstagebuch, in dem alle externen Substratanlieferungen und internen Faulbehälterbeschickungen aufgezeichnet werden, kann der Gasanfall den unterschiedlichen Substraten zugeordnet werden. Somit werden unterschiedliche Substrate in einem Faulbehältersystem gemeinsam vergoren. Die dem Klärschlamm zugeordnete Gasmenge wird vollständig eingespeist. Die Gasmenge aus der Vergärung der angelieferten Biomasse wird nach dem EEG zum Teil eingespeist und gesondert vergütet. Ebenso sieht das EEG vor, dass auch nachwachsende Rohstoffe in diesem Gesamtsystem mitvergoren werden, und gesondert vergütet werden können.

3.3.1 Mengen und Erträge

Die Klärgaserzeugung wurde mit der Annahme von Co-Substraten nach den Referenzjahren 2004 - 2006 mit 790.000 m³/a bis 2012 auf das Dreifache (2.494.000 m³/a) erhöht (siehe Abbildung 3-6).

Damit stammt der Gasanfall in etwa zu 2/3 aus Biomasse und zu 1/3 aus Klärschlamm.

Dies wurde auch durch Verbesserungsmaßnahmen und andere Betriebsweisen möglich gemacht. Zum einen ist dies die Faulturmsanierung 2007, im Zuge dessen die Faultürme mit neuen innenliegenden Umwälzungen sowie neuen Heizungen ausgestattet wurden und das vollständige Nutzvolumen durch eine Säuberung wieder nutzbar gemacht wurden. Des Weiteren wurde die Schlammcharakteristik durch einen Umbau der Vorklärung verändert, was einen erhöhten Organikanteil im Rohschlamm zur Folge hatte.

In den Jahren 2010 bis 2012 stieg die jährlich anfallende Gasmenge weiter an. Einen großen Anteil der Gasproduktion steuern hierbei die Co-Substrate bei. Aufgrund der gestiegenen Annahme von 27.000 t auf knapp 32.700 t und eines Rückgangs der Organik im Rohschlamm hätte eine höhere Gasproduktion aufgrund der hohen biologischen Verfügbarkeit des organischen Anteils der Co-Substrate erwartet werden können.

Pro Jahr wurde von einer Gasabfackelung von 20.000 Nm³ Klärgas ausgegangen. Im Jahr 2012 zusätzlich mit einem Klärgasbedarf von 150.000 Nm³ für die Aufheizung bzw. Inbetriebnahme der Verbrennungsanlage.

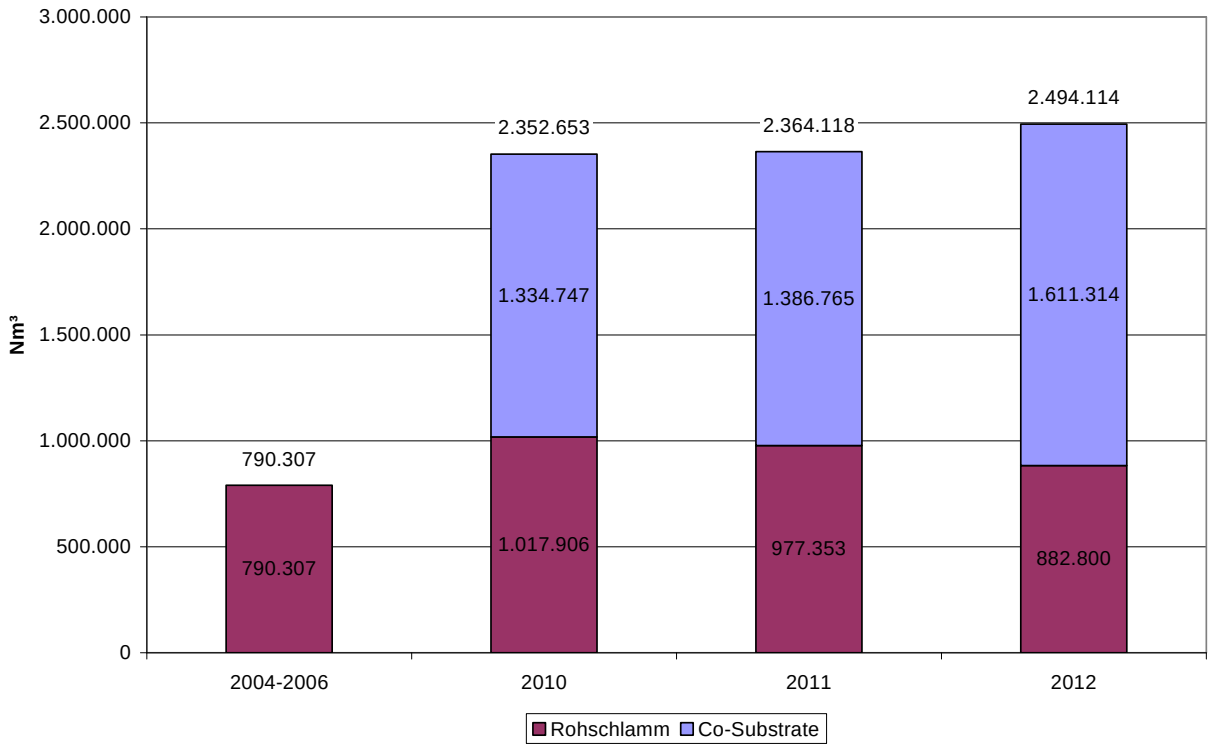

Abbildung 3-6 Klärgasanfall aus Rohschlamm und Co-Substraten ATEMIS

In den Referenzjahren 2004 - 2006 wurde der spezifische Gasertrag (556 Nl / kg oTS zugeführt) des Rohschlamm ermittelt und in die letzten drei Betriebsjahre unverändert übernommen (siehe Abbildung 3-7), da dieser Wert annähernd unverändert bleibt und sich infolge der Annahme von Co-Substraten nicht mehr einzeln berechnen lässt.

Unter der Annahme eines gleich bleibenden spezifischen Gasertrages des Rohschlammes ist im Jahr 2011 ein deutlicher Rückgang, im Jahr 2012 wiederum ein Anstieg des Gasertrages der Co-Substrate zu beobachten.

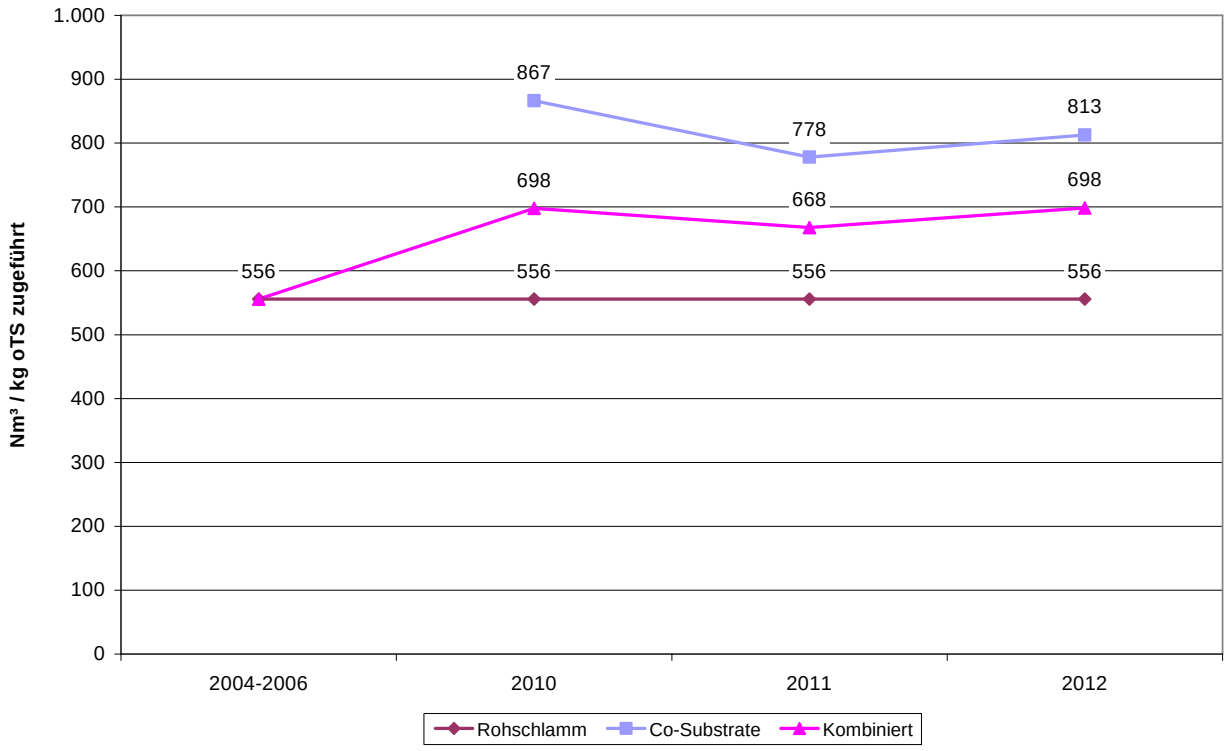

Abbildung 3-7 Klärgaserträge aus Rohschlamm und Co-Substraten ATEMIS

Analysen des Klärgases ergeben einen Methananteil von 65 %, was den üblichen Erfahrungswerten entspricht. Der Heizwert des Klärgases liegt somit bei 6,5 kWh/Nm^3. Aufgrund des Schlammalters (Verweilzeit) im Faulturm kann von gleichmäßigen Klärgasqualitäten ausgegangen werden.

Die beiden Blockheizkraftwerke werden je nach Wärmebedarf des BHKW-Trockners betrieben. Besteht ein erhöhter Wärmebedarf, so werden die BHKWs wärmeoptimiert in einem niedrigen Teillastbereich gefahren. Ist eine ausreichende Wärmemenge für den Trockner im Wärmespeicher vorhanden und kann diese durch die Einspeisung durch die Verbrennungsanlage aufrechterhalten werden, so können die Blockheizkraftwerke stromoptimiert bzw. in einem erhöhten Teillastbereich betrieben werden. Bei diesen unterschiedlichen Verfahrensweisen wird zeitweise nur ein BHKW eingesetzt und die Motoren mehrmals pro Tag an- und ausgeschaltet.

Die nachfolgende Abbildung 3-8 zeigt die Auslastung der Blockheizkraftwerke bei einem durchschnittlichen Gasanfall von 265 m³/h. Bei einer jeweiligen maximalen Gasverwertung von 190 m³/h werden die Motoren teilweise in gleich- oder ungleichmäßigen Teillastbereichen betrieben.

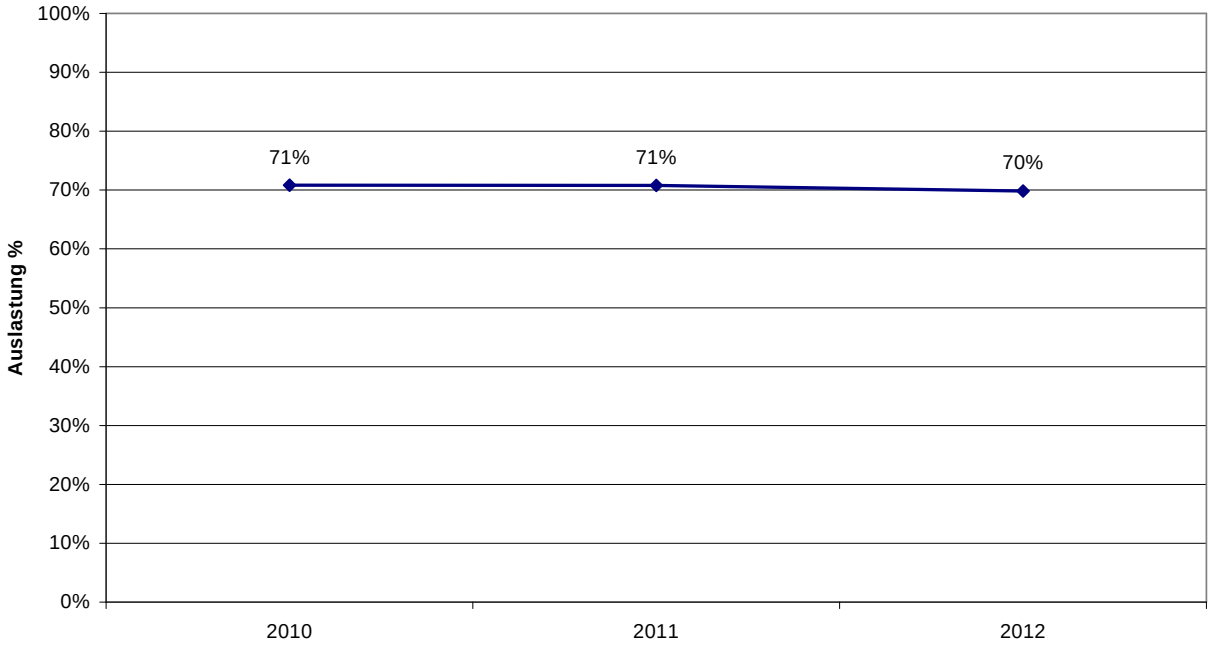

Abbildung 3-8 **Auslastung der BHKWs** **ATEMIS**

Die folgende Abbildung 3-9 zeigt die elektrischen und thermischen Wirkungsgrade der Blockheizkraftwerke in den Jahren 2010-2012. Der elektrische Wirkungsgrad bzw. die Stromerzeugung je verwertetem Kubikmeter Klärgas ist in den letzten beiden Jahren um fast 2 % gefallen. Dadurch ist gegenüber 2010 eine Strommenge von etwa 275.000 kWh_{el} verloren gegangen.

Die Wärmeerzeugung ist dagegen in den letzten beiden Jahren angestiegen. Der zunehmende Abstand der Wirkungsgrade ist charakteristisch bei einer abfallenden Auslastung für Blockheizkraftwerke. Möglichkeiten, diesen Verlust an elektrischer Energieerzeugung entgegenzuwirken, werden in Kapitel 5 behandelt.

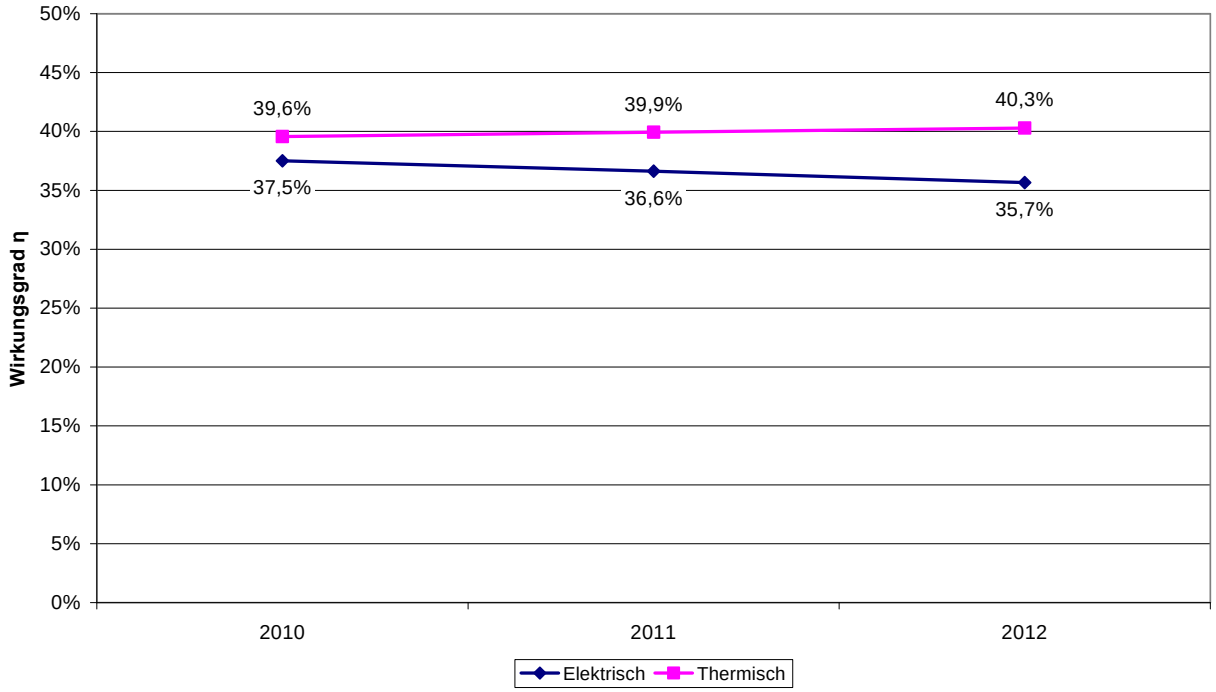

Abbildung 3-9 **Wirkungsgrade der BHKWs** **ATEMIS**

3.4 Energiebilanz

In der nachfolgenden Abbildung 3-10 wird der Energiekreislauf einschließlich der 2012 in Betrieb genommenen sludge2energy Anlage dargestellt.

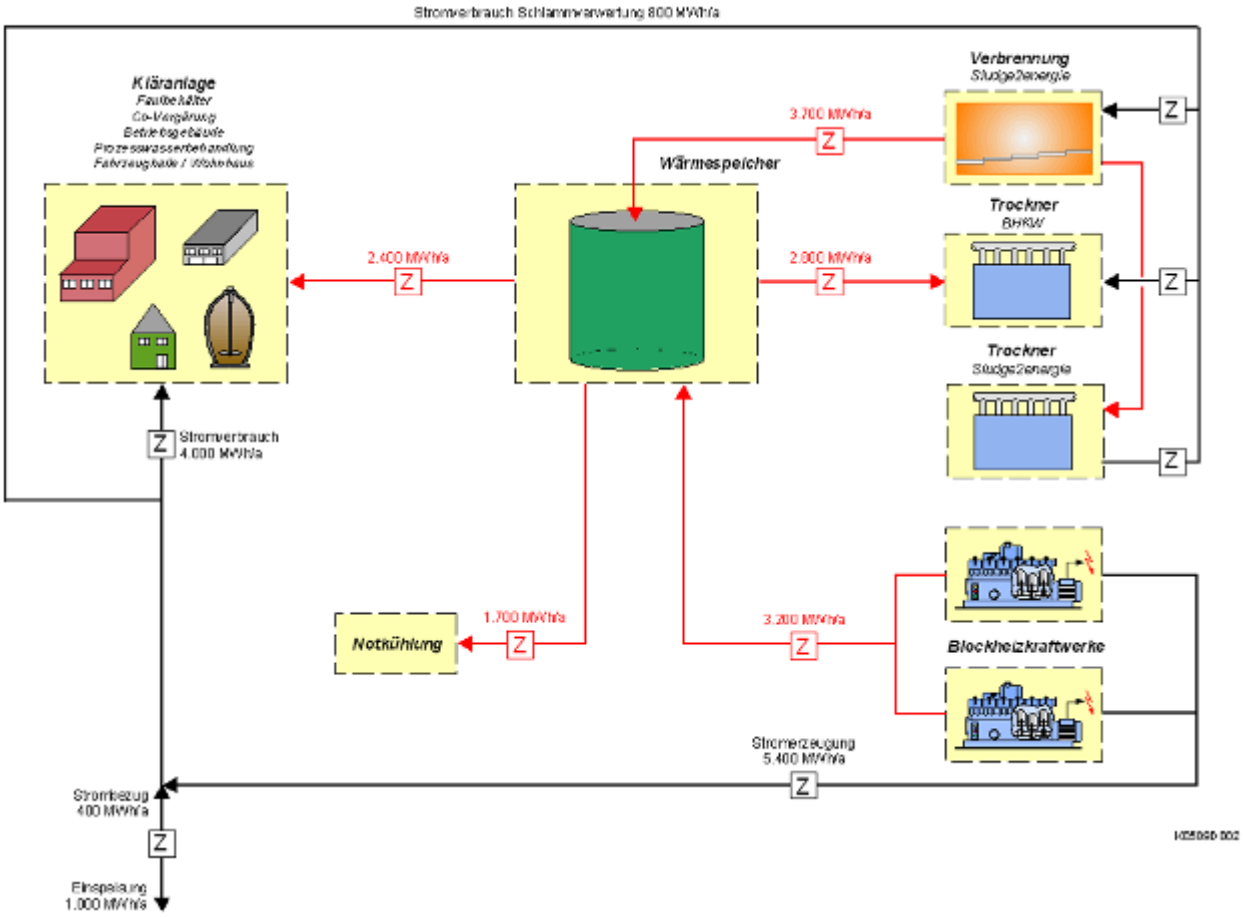

Abbildung 3-10 **Strom- und Wärmekreislauf** **ATEMIS**

Die beiden Blockheizkraftwerke verbrennen jährlich eine Menge von etwa 2,35 Mio. m³ Gas und erzeugen damit rund 5,5 MWh/a elektrische und etwa 5,9 MWh/a thermische Energie. Da die erzeugte Menge an Strom den Eigenbedarf der Kläranlage von etwa 4,6 MWh/a (einschließlich sludge2energy mit knapp 0,6 Mio. MWh) um ca. 1,2 Mio. kWh/a übersteigt, kann dieser Strom in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Trotzdem ist ein Strombezug von bis zu 400 kWh/a notwendig um den Bedarf zu Spitzenlastzeiten auszugleichen. Ein theoretischer Stromüberschuss von 800 kWh/a ergibt sich aus der Differenz des eingespeisten Stromes zum Strombezug. Die jährliche Bedarfsmenge der sludge2energy Anlage mit 350 MWh/a ergibt sich nicht aus aktuellen Betriebsdaten vom Dezember 2013.

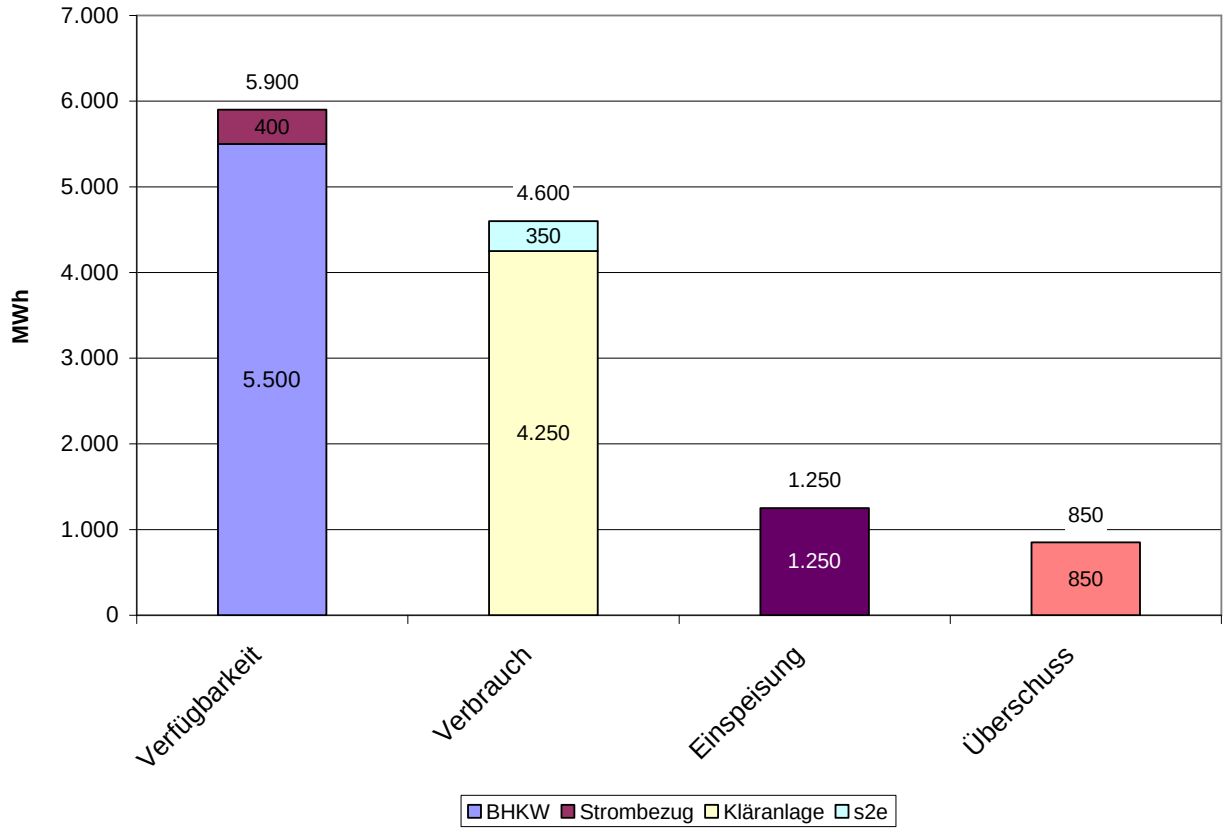

Abbildung 3-11 **Stromerzeugung und –verbrauch pro Jahr** **ATEMIS**

Zuzüglich der Wärme aus den Blockheizkraftwerken (5.900 MWh/a) speist die Verbrennungsanlage etwa 6.100 MWh/a in den Wärmespeicher ein. Die Gesamteinspeisung beträgt knapp 12.000 MWh/a.

Hauptwärmeverbraucher der Kläranlage sind die Faulbehälter (1.000 MWh/a), die Prozesswasserbehandlung (800 MWh/a) und die Betriebsgebäude (920 MWh/a). Hinzu kommen der BHKW-Trockner mit zurzeit etwa 600 MWh/a und der s2e-Trockner mit 3.400 MWh/a.

Als Wärmeüberschuss zeigt sich eine jährliche Menge von etwa 5.300 MWh. Diese wird über Notkühler auf dem Dach des Maschinenhauses III ausgetragen.

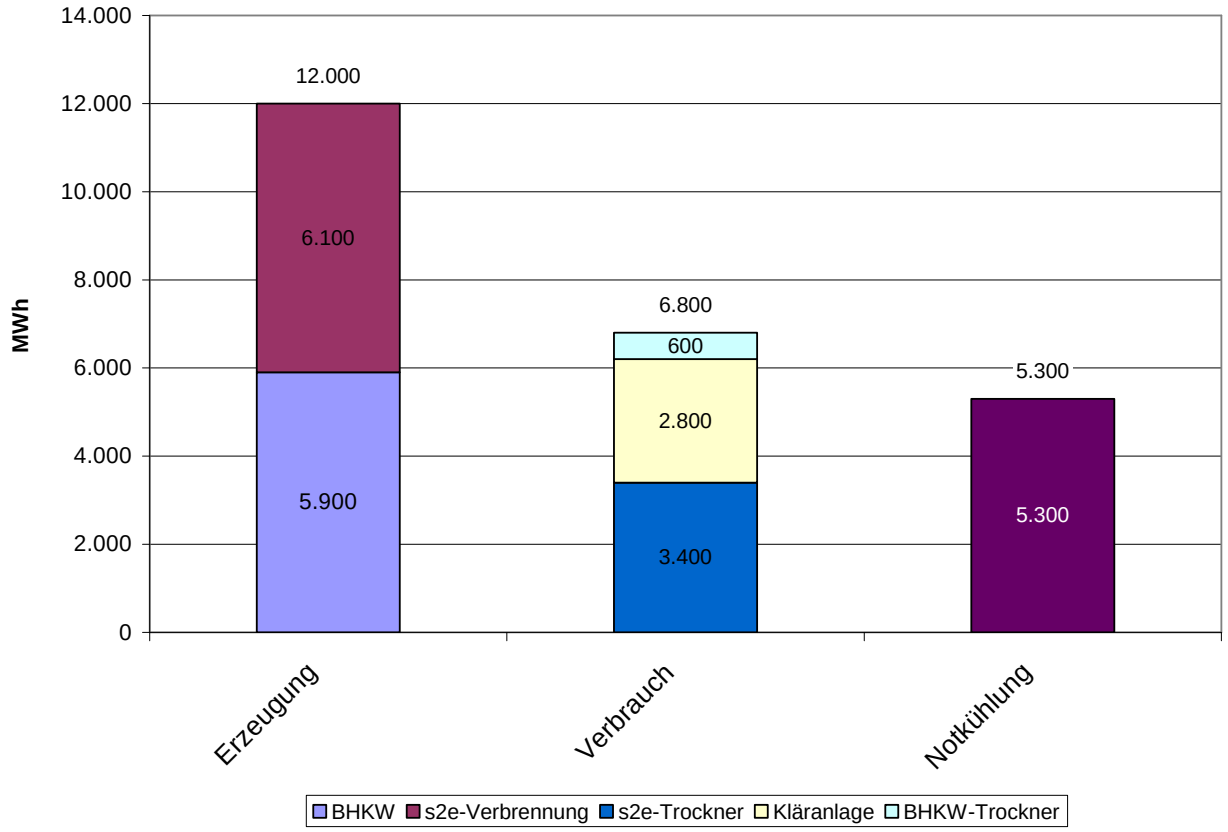

Abbildung 3-12 **Wärmeerzeugung und –verbrauch pro Jahr** **ATEMIS**

3.5 Reststoffe

Abfallschlüssel-nummer AVV	Bezeichnung
190603	Flüssigkeiten aus der anaeroben Behandlung von Siedlungsabfällen
190604	Gärrückstand/-schlamm aus der anaeroben Behandlung von Siedlungsabfällen
190605	Flüssigkeiten aus der anaeroben Behandlung von tierischen und pflanzlichen Abfällen von Klebstoffen und Dichtmassen
190606	Gärrückstand/-schlamm aus der anaeroben Behandlung tierischen und pflanzlichen Abfällen

Tabelle 3-13 Reststoffe der Co-Vergärung ATEMIS

In der Störstoffabscheidung (Steinfang und Magnetabscheider) fallen lediglich Kleinstmengen an, welche über den Entsorgungsweg der Rechengutrückstände mit entsorgt werden.

In der Wäscherkolonne der Prozesswasserbehandlung reagiert Ammoniak mit Schwefelsäure zu Ammoniumsulfat. Dieses wird von Fachfirmen abgeholt und als Düngemittel oder in der Industrieproduktion wiederverwertet.

4 Annahmepotential von Biomasse im Bestand

4.1 Allgemeines zur Annahme von Biomasse zur Vergärung

Für die Co-Fermentation auf Kläranlagen sollen grundsätzlich nur pastöse und flüssige Stoffe eingesetzt werden. Diese Co-Substrate müssen folgende Qualitätskriterien erfüllen:

- Hoher organischer Anteil (GV > 50%)
- Gute biologische Abbaubarkeit (η_{oTR} > 50%)
- Spezifischer Gasertrag (q > 250 $l_{CH4}/kg_{oTR,zu}$)
- Pumpfähigkeit (< 10 % TR)
- Partikelgrößen < 6 mm
- Frei von Störstoffen (zopfbildende Fasern, Steine, Sand, Kunststoffen etc.)
- Dauerhafte Homogenität
- Geringe Stickstoff- bzw. Phosphatanteile
- Geringe Schadstoffanteile (u. a. Schwermetalle, organische Schadstoffe, etc.)

Die nachfolgende Abbildung 4-1 zeigt eine Übersicht verschiedener Co-Substrate und deren charakteristische Eigenschaften im Hinblick auf eine energetische Verwertung. Offensichtlich ist, dass Substrate aus betriebseigenen Abwasserbehandlungsanlagen von industriell-gewerblichen Betrieben (z.B. Flotat- und Klärschlämme), aber auch Fettabscheiderinhalte aus der Gastronomie (Abfall-Schlüsselnummer 020204) einen hohen spezifischen Gasertrag aufweisen.

	EAK-Schlüssel	TR [%]	oTR [% TR]	Faulgasanfall [l/kg oTRzu]	Methananfall [l_N/kg oTRzu]
Biertreber	02 07 04	20	87 – 90	550–615	420–470
Bioabfälle (Mittelwert)	20 03 01	21	82	540–620	320–370
Flotatschlamm	02 02 04	43	98	1.200–1.400	720–840
Fettabscheiderinhalte	02 02 04	3,2	93	1.300–1.400	780–900
Frittierfett	02 03 04	99,9	97	600–890	450–675
Kirschsirup	02 03 04	74	98	400–700	280–490
Kartoffelstärke	02 03 04	29	63	600–815	425–580
Lebensmittel (entpackte)	02 03 04	22	87–90	500–600	375–450
Leinschrot	02 06 01	82	93	570–725	435–550
Pflanzenöl	02 03 04	8	96	700–815	510–590

Abbildung 4-1 Zusammensetzung und Gasanfall verschiedener Co-Substrate MUNLV NRW

aus: MUNLV NRW "Co-Fermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlage", Berichte zur Umwelt, Bereich Abwasser, Band 22, Düsseldorf, Dezember 2001

Eine eigene Abschätzung des möglichen Gasertrags aus anderen Substraten kann mittels der CSB-Bilanz durchgeführt werden. Aus einer Analyse kann das CSB/oTR-Verhältnis ermittelt werden. So entspricht beispielsweise bei Fett 1,0 kg oTR einem CSB-Anteil von 2,4 kg.

Methangas wiederum hat einen CSB von 64 g/mol; mit 22,4 Nl/mol ergibt sich ein Methanertrag von 350 Nl pro kg abgebautem CSB (gilt für alle Substrate).

Die spezifische Gasproduktion kann nun beispielhaft für Fett berechnet werden:

Hier geht man von einem oTR-Abbau von rund 85 % und einem Methananteil von 65 % aus.

Somit ergibt sich:

$$q_{Fett} = 0{,}85 \times 2{,}4\ kg_{CSB}/kg_{oTR} \times 350\ Nl/kg_{CSB} \times 1/0{,}65 = 1.099\ Nl/kg_{oTR}\ \text{ca. } 1{,}1\ Nm^3/kg_{oTR}$$

Fette bzw. Fettabscheiderinhalte und Flotatschlämme haben großes Potential zur Biogasgewinnung.

Bezogen auf den CSB sind die Gehalte an Stickstoff in der Regel deutlich geringer (0,02 - 0,07 g/g) als bei Klärschlamm. Dies ist günstig im Hinblick auf die Rückbelastungen durch Filtrat und Trübwasser, ist aber trotzdem zu beachten.

Die TR- und oTR-Gehalte dieser Co-Substrate variieren stark, dies ist bei der Annahme und beim Betrieb zu beachten. Ziel ist es eine temporäre, organische Überlastung bei hochkonzentrierten Substraten zu vermeiden, andernfalls kann es zum Schäumen des Faulbehälters kommen.

Substrat	Klärschlamm	Co-Substrate		
	Mischschlamm	Speiseabfälle	Fettabscheider	Flotatschlamm
TR [%]	3,6-7,6 Mittel: 5,0	5,9-23,0 Mittel:12,8	20,9-65,5 Mittel: 56,4	6,5-34,9 Mittel: 20,8
GV [%]	50,5-65,1 Mittel: 59,6	81,4-94,9 Mittel:90,1	88,2-97,7 Mittel: 96,0	94,6-98,2 Mittel:97,0
oTR [g/l]	19,5-39,3 Mittel: 29,9	51,8-218,0 Mittel:117,5	184,0-642,2 Mittel: 548,0	61,6-341,9 Mittel: 202,7

Abbildung 4-2 Vergleich fetthaltiger Co-Substrate und Klärschlamm Riepa, A.

aus : Riepa, A : Schlussbericht Forschungsvorhaben Effiziente Erzeugung und Verwertung von Faulgas als Primärenergie, BMBF, Teilprojekt Co-Vergärung, EGLV, Essen, Juli 2003

Für alle nachfolgenden Betrachtungen wird unter Zuhilfenahme der Betriebsdaten von 2010 - 2012 von einem TR-Gehalt von 6,5 % mit 92 % Glühverlust sowie einem Gasertrag von etwa 800 $Nl/kg_{oTR\ zu}$ ausgegangen. Für die energetische Nutzung wird mit 36% elektrischem und 40 % thermischem Wirkungsgrad gerechnet.

Grundsätzlich können neben den abfallrechtlich genehmigten Stoffen auch nachwachsende Rohstoffe auf der Kläranlage verwertet werden. Die Substrate müssen hierzu pumpfähig angeliefert werden. In der

Annahmestation können die Cosubstrate dann vor Zugabe in die Faulbehälter zur Störstoffabtrennung und Zerkleinerung behandelt werden.

4.2 Auslastung der Verfahrensstufen

4.2.1 Co-Vergärung

Die genehmigte Annahmemenge der Co-Vergärung beträgt jährlich 53.000 Tonnen. Bei einer derzeitigen Co-Substratannahme von rund 33.000 t/a könnten zusätzlich maximal 20.000 Tonnen angenommen werden. Die genehmigungsrechtliche Auslastung beträgt somit 62 %.

4.2.2 Fremdschlammannahme

Die Fremdschlammannahme ist nicht limitierend, da der Schlammstapelbehälter nur als Zwischenbehälter genutzt wird und keine weiteren eingrenzenden Faktoren vorhanden sind. Daher soll im Rahmen dieser Studie nicht der Zwischenspeicher, sondern nur die angenommene Fremdschlammmenge als einfließende Größe für die Schlammentwässerung betrachtet werden.

4.2.3 Faulbehälter

Die rechnerische Aufenthaltszeit des Schlamms in der Faulung liegt derzeit bei Nutzung der beiden Behälter (V = 2 x 3.000 m³) und einer mittleren Beschickungsmenge von 220 m³/d bei über 27 Tagen. Die empfohlene Verweildauer liegt bei etwa 21 Tagen. Die hydraulische Auslastung der Faulbehälter beträgt somit 77 %.

Zur Einschätzung der maximal zulässigen Faulraumbelastung wird darüber hinaus die oTS-Raumbelastung herangezogen. Diese beträgt bei einer mittleren Beschickungsmenge von knapp 10 t oTS pro Tag und einem Faulraumvolumen von insgesamt 6.000 m³ derzeit etwa 1,6 kg oTS/(m³ x d). Die maximal empfohlene Raumbelastung würde nach aktuellen Erkenntnissen bei 3-5 kg oTS/(m³ x d) liegen, allerdings müssen die o.g. betrieblichen Randbedingungen dann zwingend im optimalen Bereich liegen. Die organische Raumbelastung der Faulbehälter liegt demnach bei etwa 53 %.

Die Belastungen liegen weit über den üblichen Faulraumbelastungen auf Kläranlagen, da diese oftmals mit großen Kapazitätsreserven betrieben werden. Aufgrund fehlender Betriebserfahrungen ist deshalb ein höherer Aufwand bei der Anlagenüberwachung zu berücksichtigen.

Alternativ zur Faulung auf der Kläranlage Straubing können freie Faulraumkapazitäten im Landkreis genutzt werden. Dies könnte im Rahmen des Straubinger Modells die Zusammenarbeit zwischen dem Landkreis und der Kläranlage Straubing erweitern.

4.2.4 Gasspeicher

Als Gasspeicher stehen ein Niederdruckspeicher (ND-Speicher) von 1200 m³ und 2 Hochdruckspeicher (HD-Speicher) von je 140 m³ zu Verfügung. In Normkubikmeter umgerechnet können bei den angenommenen Betriebsbedingungen somit ca. 4000 Nm³ Klärgas zwischengespeichert werden. Die Speicher

dienen dem Ausgleich der tageszeitlichen Schwankungen des Klärgasanfalls und können jahreszeitliche Schwankungen nicht puffern. Die beiden Verdichter für die HD-Speicher haben eine Maximalleistung von je 250 m³/h und einen Leistungsbedarf von je ca. 50 kW.

Für den Fall der Notstromversorgung muss im Niederdruckgasspeicher ein Gasvorrat vorgehalten werden, welcher bei Bedarf den BHKWs zugeführt werden kann. Durch die andererseits notwendige Vorhaltung eines Pufferspeichers, um überschüssiges Gas bei Wartungs- oder Reparaturarbeiten nicht abfackeln zu müssen, ist im Niederdruckgasspeicher keine Kapazität vorhanden.

Der mittlere Füllstand der Hochdruckgasspeicher betrug im Jahresmittel 2012 rund 1.900 Nm³. Das Nutzvolumen liegt bei 2 x 140 m³ (entspricht 2 x 1.400 Nm³ bei 10 bar). Da dieser Vorgang nur unter Energieaufwand möglich ist (Verdichter mit 50 kW) sollte die Zwischenspeicherung des Gases hauptsächlich im Niederdruckspeicher erfolgen. Die Auslastung der Gasspeicher hängt im Wesentlichen vom Gasdurchsatz der BHKWs ab und soll daher nicht weiter betrachtet werden.

4.2.5 Blockheizkraftwerke (BHKW)

Die beiden Blockheizkraftwerke sind jeweils etwa 5.900 Stunden pro Jahr in Betrieb. In diesen Betriebszeiten werden sie je nach Klärgasverfügbarkeit und Wärmebedarf parallel oder einzeln betrieben. Im Mittel beträgt die elektrische Generatorleistung ca. 460 kW. Der jährliche Klärgasanfall beträgt pro Stunde ca. 265 Nm³/h bei einem Maximaldurchsatz von 380 Nm³/h (2 x 190 Nm³/h) unter Volllast. Die mittlere Auslastung der Blockheizkraftwerke beträgt somit etwa 70 %.

4.2.6 Zentrifugen

Die Entwässerung des Faulschlamms erfolgt aufgrund von technischen Schwierigkeiten nur mit einer Zentrifuge. Die Durchsatzmenge liegt im Mittel bei etwa 16 m³/h, die maximale Durchsatzleistung bei etwa 25 m³/h. Die Auslastung der Zentrifuge beträgt somit 65 %. Die Schlammentwässerung erfolgt demnach nicht redundant. Vor allem bei Spitzenbelastungen aufgrund von Diskontinuitäten im Bereich der Schlammfaulung und bei Wartungs- und Reparaturarbeiten kann dies zu Engpässen führen. In naher Zukunft wird daher eine dritte Zentrifuge zur Wahrung der Betriebssicherheit bei Wartungs- und Reparaturarbeiten und für den Lastspitzenausgleich installiert. Somit ist die Schlammentwässerung in Zukunft nicht limitierend.

4.2.7 Schlammverwertung

Die prozentualen Auslastungen werden nicht auf die vertraglichen Mengen bezogen, sondern aufgrund der nicht erreichten Mengen im Zulauf auf die tatsächlich anfallenden Mengen.

Die aktuelle Beschickungsmenge des sludge2energy Trockners liegt zurzeit bei etwa 250 t im Monat. Dies entspricht bei gleich bleibendem Durchsatz einer Jahresmenge von etwa 3.000 t. Die Auslastung in Bezug auf die anfallende Klärschlammmenge von ca. 8.000 t/a liegt bei etwa 38 %. Bei den aktuellen Betriebsstunden von etwa 5.500 ist der Trockner nahezu voll ausgelastet, da der Trockner auf maximal

7.500 Betriebsstunden ausgelegt ist. Bei einer aktuellen Verdampfung von 370 kg/h beträgt die Auslastung bei einer maximalen Wasserverdampfung von 700 kg/h etwa. 53 %.

Die Verbrennungsanlage verwertet etwa 2.000 t/a. Da nahezu die gesamte anfallende getrocknete Klärschlammmenge verwertet wird, beträgt die Auslastung 91 %. Bezüglich der Betriebsstunden mit zurzeit 8.200 h/a beträgt die Auslastung 124 % und die Feuerungswärmeleistung mit aktuell 990 kW. Die Verbrennungsanlage ist somit voll ausgelastet, bezüglich der Betriebsstunden und Feuerungswärmeleistung.

Der „BHKW-Trockner“ wird entgegen seiner planmäßigen Nutzung bisher nicht für eine Lohntrocknung, sondern nur für die Trocknung des Schlammes der Kläranlage eingesetzt, da bisher der sludge2energy Trockner nicht die Gesamtmenge verwerten konnte. Aktuell müssen aufgrund der Durchsatzleistung des sludge2energy Trockners ca. 5.000 t/a getrocknet werden. Bei einer Auslegungsmenge von maximal 10.000 t sind dies 50 %. Bezüglich der Betriebsstunden ist der Trockner zu 90 % ausgelastet, in Bezug zur Verdampfungsleistung mit 481 kg/h bei maximal 900 kg/h zu 53 %.

4.2.8 Prozesswasserbehandlung: Strippung

Die maximale hydraulische Behandlungskapazität der bestehenden Prozesswasserbehandlung beträgt 384 m³/d. Die auf die Stickstofffracht bezogene Reinigungsleistung kann zu etwa 90 % nur bei einer Beschickungsmenge von unter 280 m³/d erreicht werden. Die hydraulische Auslastung der Anlage beträgt bei einer mittleren jährlichen Beschickungsmenge von 250 m³/d etwa 66 %. Die Auslastung in Bezug auf die Reinigungsleistung beträgt 100 %, da die Stickstofffracht im Zustrom nicht ausreichend eliminiert werden kann. Die Strippung kann daher nur einen Teil der Stickstoffelimination beitragen, bevor das Prozesswasser im Regelbetrieb in die Deammonifikation gelangt.

4.2.9 Prozesswasserbehandlung: Deammonifikation

Zurzeit wird das Prozesswasser nach der Behandlung in der Strippanlage in der Deammonifikation weiter von Stickstoff befreit. Die maximale Beschickungsmenge bei einer ausreichenden Reinigungsleistung beträgt theoretisch 454 m³/d. Die Anlage befindet sich allerdings noch nicht im Dauerbetrieb, sodass von einer momentanen Beschickungsmenge von maximal 300 m³/d ausgegangen werden kann. Bei einer durchschnittlichen Beschickung von 250 m³/d beträgt die Auslastung 83 %.

4.3 Zusammenstellung der Anlagenauslastungen

Die folgende Tabelle 4-1 stellt die aktuellen jährlichen Beschickungsmengen, die maximalen Durchsatzmengen sowie die Auslastungen mit der Art der Einschränkungen dar.

Bezeichnung	Ist	Max	Auslastung	Art der Einschränkung
Co-Vergärung	33.000 t	53.000 t	62 %	Genehmigungsrechtlich
Faulbehälter	80.000 m³ 1,6 kg oTS /m³*d	104.000 m³ 3 kg oTS / m³*d	77 % 53 %	Hydraulisch organische Raumbelastung
BHKW	2.350.000 Nm³	3.350.000 Nm³	70 %	Durchsatzleistung
Zentrifugen	87.000 t	130.000 t	65 %	Durchsatzleistung
s2e Trockner	8.000 t 5.500 h 370 kg/h	3.000 t 7.500 h 700 kg/h	38 % 73 % 53 %	Mengen Betriebsstunden Verdampfungsleistung
s2e Verbrennung	2.000 t 8.200 h 990 kW	2.200 t 6.600 h 990 kW	91 % 124 % 100 %	Mengen Betriebsstunden Feuerungswärmeleistung
BHKW-Trockner	5.000 t 7.100 h 481 kg/h	10.000 t 8.000 h 900 kg/h	50 % 90 % 53 %	Mengen Betriebsstunden Verdampfungsleistung
Prozesswasser - Strippung	92.000 m³ 92.000 m³	< 80.000 ≈ 140.000 m³	100 % 66 %	Reinigungsleistung Hydraulisch
Prozesswasser - Deammonifikation	92.000 m³	≈ 110.000 m³	84 %	Durchsatzleistung

Tabelle 4-1 Zusammenfassung Anlagenauslastungen (Jahreswerte) ATEMIS

In Abbildung 4-3 werden die Anlagenauslastungen graphisch dargestellt. Da die beiden Anlagenteile der Prozesswasserbehandlung (Strippanlage und Deammonifikation) in Reihe betrieben werden und die Deammonifikation den wesentlichen Teil der Stickstofffracht eliminiert, wird dieser maßgebende Auslastungswert dargestellt.

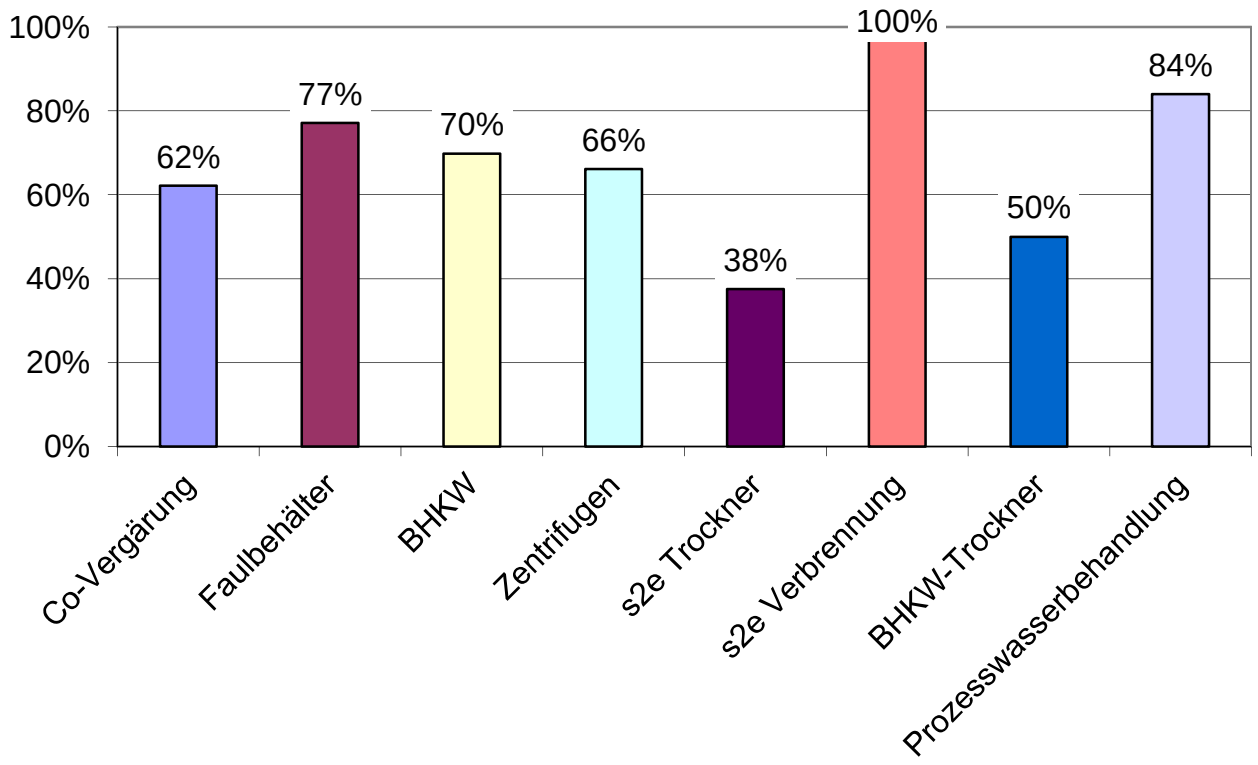

Abbildung 4-3 **Auslastung der Verfahrensstufen, Schlamm und Faulgas** **ATEMIS**

4.4 Abschätzung der zusätzlich annehmbaren Mengen

Die folgende Abbildung 4-4 stellt die zusätzlichen Annahmemengen an Co-Substraten bzw. Biomasse dar, bei welcher die jeweiligen Anlagenteile voll ausgelastet wären.

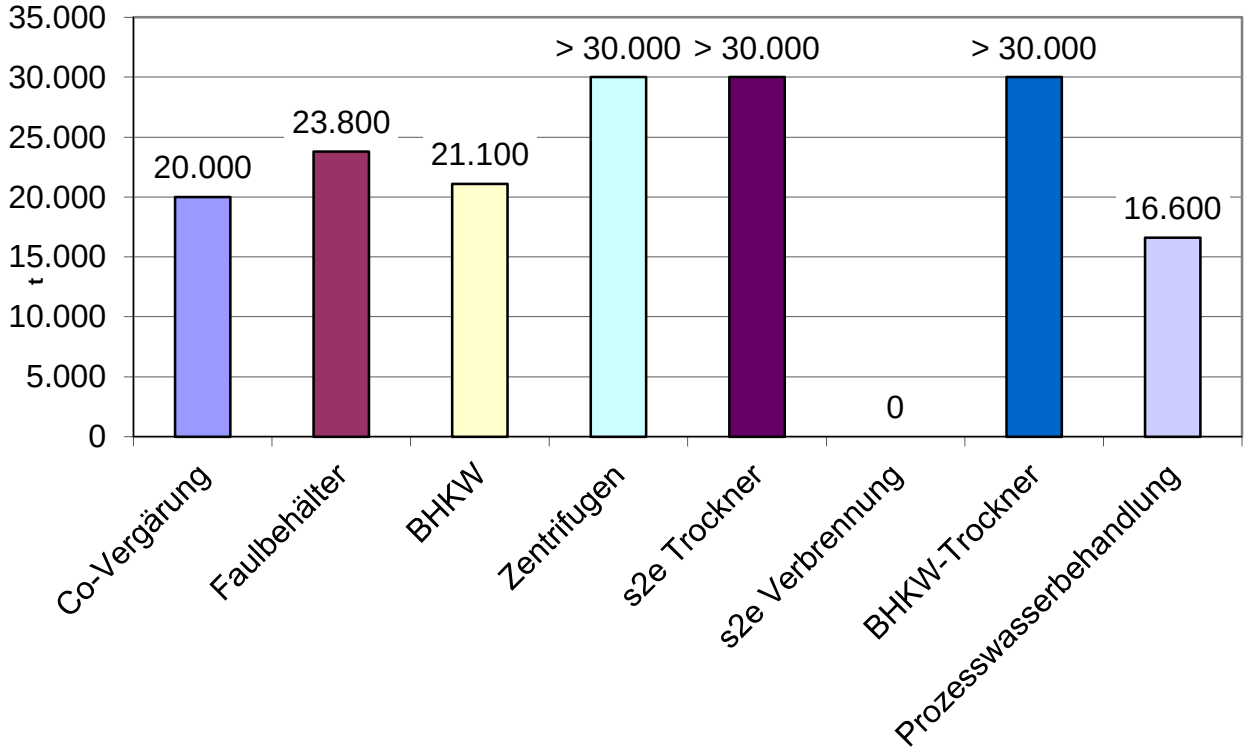

Abbildung 4-4 Zusätzliche Annahmemengen bezogen auf Co-Vergärung ATEMIS

Die Annahmestation und die Schlammentwässerung („Co-Vergärung“ und „Zentrifugen“) sind nach erfolgter Erweiterung der Anlagenteile mit ausreichender Kapazität vorhanden.

Die Vergärung („Faulbehälter“) besitzt Reserven, eine weitere hydraulische und organische Belastung muss allerdings im Zusammenhang mit der gewünschten Prozessstabilität geprüft werden (ggf. thermophile Vergärung, vorgeschaltete Hydrolyse bzw. ganzjährig hohe Faulturmtemperaturen, Analysen).

Die Auslastung der BHKW liegt derzeit bei 70%, eine weitere Erhöhung der Gasmenge bedeutet einen Anstieg der Fackelverluste. Eine BHKW-Auslastung von 100 % ist demnach wirtschaftlich nicht sinnvoll. Bei Erhöhung der Cosubstrat-Annahmemengen ist damit eine Erweiterung der BHKW-Anlage unumgänglich.

Die installierten Klärschlammtrocknungskapazitäten sind ausreichend („s2e-Trockner“, „BHKW-Trockner“). Der Dauerbetrieb des s2e-Trockner ist durch Huber noch nachzuweisen. Der „BHKW-Trockner“ steht zur Lohntrocknung zur Verfügung, wenn die kläranlageninternen Schlamm-Mengen über den s2e-Trockner getrocknet werden können.

Die Prozesswasserbehandlung (Strippung und Deammonifikation) hat ausreichende Kapazität, sofern die Auslegungswerte im Anlagenbetrieb erreicht werden.

Die sludge2energy Anlage verfügt kaum über Kapazitätsreserven, bei einer zusätzlichen Co-Substratannahme den entwässerten Schlamm verwerten zu können. Die Trocknung des Schlammes könnte, wie es im derzeitigen Betrieb der Fall ist, durch den BHKW-Trockner erfolgen. Dies würde allerdings weiterhin die Kapazitätsreserven des BHKW-Trockners für eine Lohntrocknung vermindern. Da die Verbrennungsanlage voll ausgelastet ist, müsste überschüssiger Trockenschlamm entsorgt werden.

4.5 Strom- und Wärmepotential

Nachfolgend soll das Strom- und Wärmepotential bei einer jährlich ansteigenden Co-Substratannahmemenge erläutert werden. Zurzeit beträgt die jährliche Annahmemenge der Co-Vergärung etwa 34.000 t hoch organischer Substrate. In Kapiteln 4.3 und 4.4 wurden die Anlagenauslastungen und zusätzlichen annehmbaren Mengen der Co-Vergärung bis zu einer maximalen Auslastung der jeweiligen Verfahrensstufen ermittelt. Da der entwässerte Schlamm nicht unbedingt thermisch verwertet werden muss, sondern auch entsorgt werden kann, wird eine zusätzliche Annahmemenge von 15.000 t/a bis zur Vollauslastung der Deammonifikation angenommen. Die maximale Co-Substratannahmemenge liegt somit bei etwa 49.000 t/a (siehe Abbildung 4-5).

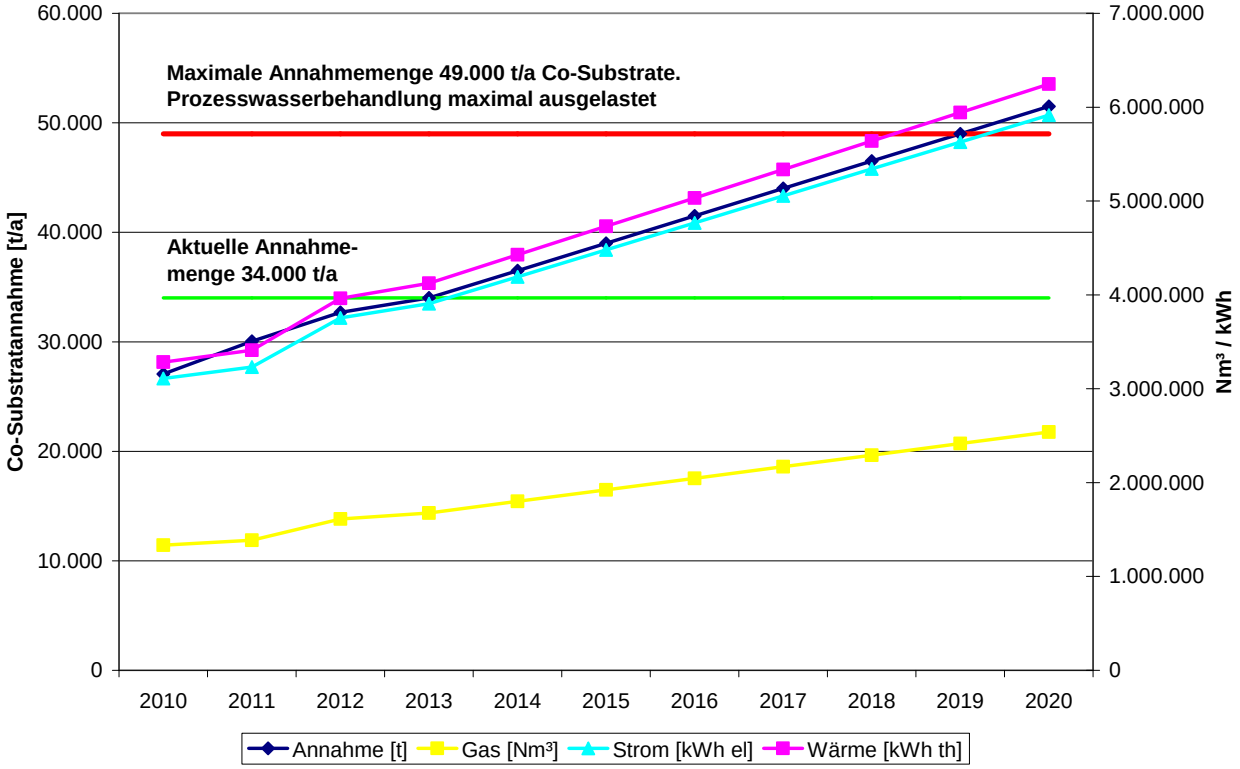

Abbildung 4-5 Strom- und Wärmepotential bei steigender Co-Substratannahme ATEMIS

Bei einer zusätzlichen Co-Substratannahmemenge von 15.000 t/a ergeben sich die folgenden Gas-, Strom- und Wärmepotentiale.

Gaserzeugung: 15.000 t x 6,5 $\%_{TS}$ x 92,0 $\%_{oTS}$ x 800 l/($kg_{oTS\ zugeführt}$) = 720.000 Nm³

Stromerzeugung: 720.000 Nm³ x 36,0 $\%\eta_{el}$ x 6,5 kWh/Nm³ = 1.650.000 kWh_{el}

Wärmeerzeugung: 720.000 Nm³ x 40,0 %η_{el} x 6,5 kWh/Nm³ = 1.800.000 kWh_{th}

4.6 Regional verfügbare Biomasse

Grundsätzlich sind die Verfahrensstufen der Kläranlage geeignet, flüssige und pastöse Cosubstrate zu behandeln und zu verwerten. Störstoffe werden im Bereich der Annahmestation sicher abgeschieden (Steinfang) bzw. zerkleinert (Mazerator).

Der technischen Machbarkeit stehen wirtschaftliche Aspekte gegenüber, da der Schlamm aus der Vergärung der Kläranlage aufwändig behandelt und entsorgt bzw. verwertet werden muss. Nach AbfKlärV sind Mischungen von geeigneten Substraten mit Klärschlamm als Klärschlamm anzusehen.

Je nach Gasbildungspotenzial der Cosubstrate sind zur Wirtschaftlichkeit der Annahme zusätzlich zu den Erlösen aus der Gasproduktion Annahmeerlöse bei der Anlieferung einzukalkulieren.

Folglich ist eine Annahme von nachwachsenden Rohstoffen, wie z.B. Maissillagen, nicht sinnvoll, da hier Annahmekosten für die Cosubstratlieferung für die Stadt Straubing anfallen würden.

Die Kläranlage sollte sich sinnvollerweise auf die Annahme flüssiger, pastöser Cosubstrate konzentrieren. Vorteilhaft ist hier die vorliegende Genehmigung nach Abfallrecht.

Bestenfalls werden die organischen Belastungen vom Abwasserteil der Kläranlage in die Schlammschiene verlagert, falls die Cosubstrate aus Industriebetrieben stammen, die im Einzugsgebiet der Kläranlage liegen.

Eine Annahme von entwässerten Klärschlammen (>20 % TS) ist ebenfalls sinnvoll, soweit diese mit den beiden Klärschlammtrocknern getrocknet werden können. Bei hohen verfügbaren Organikanteilen sollten die Substrate vorrangig über die Cosubstrat-Annahmestation angeliefert werden, um zusätzliches Biogas zu erzeugen, hierzu ist eine Begrenzung des TS auf unter 10 % erforderlich, um die Substrate pumpfähig zu halten. Die Anlieferungsspezifikationen sind mit den Industrieunternehmen abzustimmen, ggf. werden Vorbehandlungsstufen in den Betrieben entsprechend angepasst.

Eine Annahme von solar getrockneten Schlämmen ist nicht gewünscht, da in der Vergangenheit festgestellt wurde, dass bei diesen Schlämmen aufgrund der langen Trocknungszeiten sich der oTS im Schlamm stark abbaut und sich für eine Verwertung in einer Monoverbrennung nicht eignet.

Derzeit liegen der Stadt Straubing Anfragen zu weiteren Anlieferung vor. Die Firma [redacted] bietet z.B. die Anlieferung von

- 4000 t/a Klärschlamm entwässert auf 20% TS mit ca. 75 - 80 % OTS
- 1200 t/a Flotatschlamm aus der Molkerei entwässert auf ca. 25% TS mit ca. 90% OTS
- 100 t/a Fettabscheiderinhalte entwässert auf 20 - 25% TS (in Planung)

an.

Sollen diese Substrate im Faulturm behandelt werden, ist eine Begrenzung des TS auf unter 10 % notwendig.

Vor einer dauerhaften Anlieferung sind in Abhängigkeit von standardisierten Gärtests Annahmepreise festzulegen.

5 Optimierungs- und Erweiterungsmaßnahmen

5.1 Bereits durchgeführte Maßnahmen

Im Jahr 2009 wurde die Co-Vergärung zur Annahme und Mitbehandlung hochorganischer Substrate in Betrieb genommen. Die Schlamm- und Faulgasmengen sind hierdurch um mehr als ein Drittel gestiegen. Um den Entwässerungsgrad der entwässerten Schlämme für eine spätere thermische Verwertung zu steigern und um die erhöhten Mengen verarbeiten zu können wurden die alten Kammerfilterpressen durch zwei Zentrifugen ersetzt. Ebenfalls 2009 wurden zwei neue Blockheizkraftwerke für die elektrische und thermische Gasverwertung in Betrieb genommen.

Anfang 2012 wurde die thermische Klärschlammverwertung, bestehend aus zwei Trocknern und einer Rostfeuerung, errichtet und in Betrieb genommen. Die Abwärme der BHKWs kann seitdem zur Trocknung genutzt werden.

Zur Optimierung der Klärgasproduktion wurden Anfang 2013 zwei zusätzliche Annahmebehälter der Co-Vergärung errichtet. An den Wochenendtagen werden keine Co-Substrate geliefert. Die Behälter stellen eine gleichmäßige Beschickung der Faultürme mit Co-Substraten auch am Wochenende sicher und gewährleisten somit eine gleichmäßige Klärgasproduktion.

Mitte 2013 wurde zur Prozesswasserbehandlung neben der Strippanlage als weitere Verfahrensstufe die Deammonifikation errichtet. Diese befindet sich zurzeit noch nicht im Dauerbetrieb. Als weitere Ausbaumaßnahme wurde Anfang 2014 eine dritte Zentrifuge zur Sicherstellung der Klärschlammentwässerung installiert.

In der nachfolgenden Tabelle 5-1 sind die durchgeführten und aktuellen Um- und Ausbaumaßnahmen der letzten Jahre im Bereich Schlamm und Faulgas aufgelistet.

Jahr	Maßnahme	Zweck
2009	Co-Vergärung	Annahme von Co-Substraten Erhöhung der Gas- und Stromproduktion
	2 Zentrifugen	Erhöhter Durchsatz Verbesserte Entwässerungsleistung
	2 Blockheizkraftwerke	Erhöhter Durchsatz, Verbesserte Wirkungsgrade (elektr. / therm.)
2012	Thermische Klärschlammverwertung	Verringerung Schlammentsorgungskosten Lohntrocknung entw. Klärschlamm
	2 zusätzliche Behälter der Co-Vergärung	Vergleichmäßigte Faulturmbeschickung mit Co-Substraten auch am Wochenende
2013	Deammonifikation	Sicherstellung einer ausreichenden

		Prozesswasserbehandlung
2014	3. Zentrifuge	Sicherstellung einer ausreichenden Klärschlammentwässerung

Tabelle 5-1 Durchgeführte Maßnahmen der letzten Jahre ATEMIS

5.2 Optimierungsmaßnahmen

Die Maßnahmen dienen der Optimierung der Gaserzeugung und -verwertung, der Ausnutzung der Kapazitäten der einzelnen Verfahrensstufen und der Verwertung der anfallenden Wärme.

Langfristig kann die Gasmenge damit weiter gesteigert werden. Mit der derzeit vorhandenen ANlagentechnik kann der Anteil der Biomasse an der Gaserzeugung voraussichtlich auf über 80 % gesteigert werden.

Zur Optimierung der Faulung sind thermophile Vergärung, Desintegrationssysteme, vorschaltete Hydrolyse im vorhandenen Voreindicker in Verbindung mit der Annahme weiterer Cosubstrate denkbar.

Hierbei ist zu beachten, dass bei deutlich größeren Annahmemengen die vorhandene Anlagentechnik erweitert werden muss. Wesentliche Engpässe bestehen dann beim Faulbehältervolumen, bei der Kapazität des BHKW und bei der Prozesswasserbehandlung.

Als zusätzliche Cosubstrate sollten Stoffe mit hohem Gasbildungspotenzial und ggf. Substrate zur optimierung der Schlammentwässerung bevorzugt werden. Hierbei ist auch die Annahme von nachwachsenden Rohstoffen als Substrat oder Gärrest als Entsorgungsweg für Unternehmen aus der NAWARO-Branche denkbar.

5.2.1 Lohntrocknung

Bisher hat der BHKW-Trockner ausschließlich die entwässerten Klärschlämme (30 % TS) der Kläranlage Straubing getrocknet. Durch eine zunehmende Beschickung des sludge2energy Trockners werden nun die planmäßigen Kapazitäten des BHKW-Trockners frei. Für eine Lohntrocknung bis zur Vollauslastung stehen überschüssige Wärmemengen zur Verfügung (5.300 MWh/a), welche zurzeit durch die Notkühler ungenutzt an die Umwelt abgegeben werden.

Momentan werden mit der aktuellen Betriebsweise etwa 4.250 t entwässerter Klärschlamm von 30 % TS auf 90 % TS getrocknet. Bei einer zusätzlichen Lohntrocknung angelieferter Schlämme von 25 - 30 % TS auf etwa 70 - 80 % TS können gegenwärtig maximal 1.870 t/a angenommen werden (siehe Tabelle 5-2). Bei dieser Menge und dem angegebenen Trocknungsgrad wäre die maximale Verdampfungsleistung von 722 kg/h Wasserdampf erreicht. Die Entsorgungsmenge an Klärschlamm verringert sich durch die Trocknung um mehr als 60 %.

Werden die entwässerten Klärschlämme der Kläranlage komplett über die sludge2energy Anlage entsorgt, so kann der BHKW-Trockner vollständig für eine Lohntrocknung genutzt werden. Bei einem Trockensubstanzgehalt der angenommenen Schlämme von 25 - 30 % TS und einer Trocknung auf maximal 80 % TS können jährlich ca. 8.000 t angenommen werden (siehe Tabelle 5-2).

	Einheit	Potential Lohn-trocknung Ist-Zustand	Potential Lohn-trocknung Maxi-mal
Annahme entwässerter Klärschlamm [25-30 %TS]	t	5.000	10.000
Transportkosten Anlieferung [10-15 €/t]	€	63.000 €	125.000 €
Transportkosten Abfuhr [10-15 €/t]	€	23.000 €	46.000 €
Entsorgungskosten getrockneter Klärschlamm [35-38 €/t]	€	67.000 €	134.000 €
Trocknungskosten [30 €/t]	€	150.000 €	300.000 €
Wärmebedarf Trocknung [800 - 850 kWh th / t]	kWh th	2.610.000	5.230.000
Strombedarf Trocknung 100 - 150 kWh el / t]	kWh el	625.000	1.250.000
KWK-Bonus	€	98.000 €	154.000 €
Annahmepreis	€ / t	41 €	45 €

Tabelle 5-2 **Potential Lohntrocknung** **ATEMIS**

Als Annahmepreis der gegenwärtigen Betriebsweise mit einer Annahme von 5.000 t/a ergibt sich ein Betrag von 41 €/t. In diesen Preisen sind die An- und Abfuhr der Schlämme, die Entsorgungskosten des getrockneten Klärschlammes sowie die Trocknungskosten einschließlich der Stromkosten inbegriffen, jedoch keine Verwaltungs- und Personalkosten.

Gegenüber den regional üblichen Entsorgungspreisen entwässerter Klärschlämme von etwa 75 €/t (einschließlich Transport) kann den Kunden ein Entsorgungspreis von rund 40-45 €/t angeboten werden was einem Einsparpotential von mehr als 40 % entspricht.

Die überschüssigen Energien an Strom und Wärme, welche zurzeit aktuell eingespeist oder ungenutzt an die Umwelt abgegeben werden, könnten mit hohen Trocknungsmengen bestmöglich zur eigenen Verwendung genutzt werden.

5.2.2 Verwendung des eigenerzeugten Stromes

Der eigenerzeugte Strom kann an Stelle einer Einspeisung ins Stromnetz mit einer Vergütung von 15 Ct/kWh auch an städtische Stromverbraucher weitergeleitet werden. Die Stromkosten in Höhe von 25

Ct/kWh für den Strombezug bei den Stadtwerken Straubing könnten hierdurch vermindert werden. Für die Weiterleitung des Stroms ist eine Durchleitungs- bzw. Netznutzungsgebühr an den Netzbetreiber für die Bereitstellung und Nutzung der Leitungsnetze zu entrichten. Die Netzbetreiber sind verpflichtet, die vorhandenen Stromnetze auch fremden Stromanbietern zur Verfügung zu stellen.

Als mögliche Verbraucher für den weitergeleiteten Strom stellen sich beispielsweise Pumpwerke und Kanalhebewerke mit einem jährlichen Verbrauch von etwa 220.000 kWh/a dar. Diese sind in der folgenden Tabelle 5-3 aufgelistet.

Verbraucher	Jahresverbrauch 2003	Leistung
Kanalhebewerk am Hagen	24.000 kWh	52 kW
Kanalhebewerk Chamer Str.	18.000 kWh	47 kW
Kanalhebewerk Gscheiderbrückl	75.000 kWh	80 kW
Kanalhebewerk Helfrichstr.	9.000 kWh	41 kW
Kanalhebewerk Ittlinger Str.	8.000 kWh	40 kW
Kanalhebewerk Schanzlweg	461.000 kWh	225 kW
Kanalhebewerk Schlesische Straße	45.000 kWh	70 kW
Pumpstation Alte Wörther Str.	12.000 kWh	43 kW
Pumpstation Herman-Stiefvater-Ring	43.000 kWh	68 kW
Pumpstation Hochfeld	8.000 kWh	40 kW
Pumpstation Sand	22.000 kWh	50 kW
Pumpstation Sossauer Platz	12.000 kWh	43 kW
Pumpwerk und Kanal Ittling (Imhoffstr.)	75.000 kWh	80 kW
Regenüberlaufbecken Alburg	11.000 kWh	42 kW
Summe	**823.000 kWh**	**921 kW**

Tabelle 5-3 Jahresverbräuche städtischer Stromverbraucher ATEMIS

Die derzeitige Verwendung des Stroms, Eigenverbrauch mit Überschusseinspeisung nach EEG (Biomasse), bleibt gegenüber den alternativen Modellen (Direktvermarktung) wirtschaftlich.

Langfristig können in Abhängigkeit der Strompreisentwicklung im Vergleich zu den fixen Einspeisevergütungen nach EEG Durchleitungsmodelle geprüft werden.

5.2.3 Temperatur der Faulbehälter

Zur Ausfaulung des Rohschlammes sind Temperaturen von 35-40 °C nötig. Die notwendige Wärme dazu wird in Straubing durch die Auskopplung von Wärme aus den BHKW's und der Verbrennungsanlage zur

Verfügung gestellt. Die Faultürme sind zu etwa 1/5 in den Boden eingelassen; auch im Winter bei tiefen Außentemperaturen wurden die notwendigen Faultemperaturen im Faulturm eingehalten (siehe Abbildung 5-1). Die beiden Faultürme (je 3000 m^3) sind parallel geschaltet und es ergeben sich durchschnittliche Verweilzeiten von 25-30 Tagen.

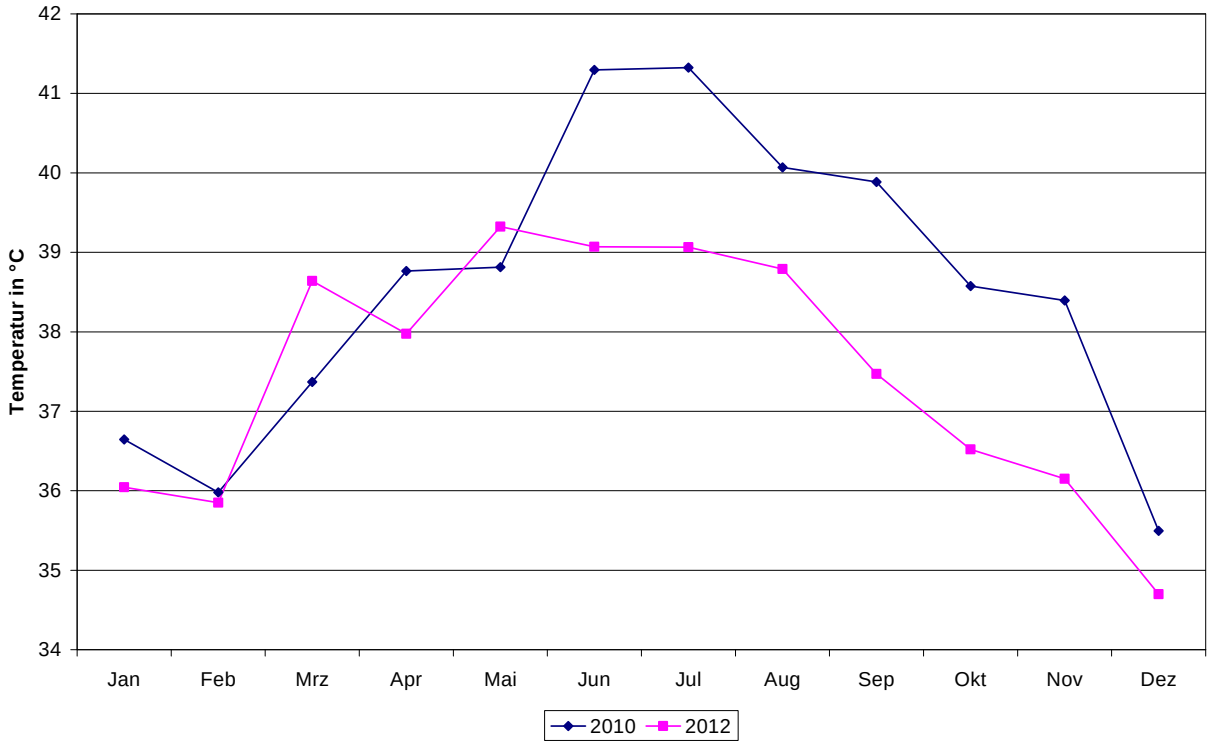

Abbildung 5-1 **Temperaturen der Faulbehälter** **ATEMIS**

Zur Überprüfung des Wärmebedarfs für die Schlammerwärmung und der Faulraumtemperaturen wurden die Messwerte der Schlammtemperaturen ausgewertet und der theoretische Wärmebedarf ermittelt.

Aus den gemessenen Schlammtemperaturen des Klärschlammes und der Co-Substrate lässt sich anhand der folgenden Mischungsregel die Temperatur des Schlammes im Zulauf der Faulbehälter bestimmen. Dafür werden die Schlammmassen (m), die Temperaturen (T) und die spezifischen Wärmekapazitäten (c) bei unterschiedlichen Stoffen benötigt. Die spezifische Wärmekapazität wird für den Klärschlamm und die Co-Substrate gleichgesetzt und kann somit entfallen.

$$T_m = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot T_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \text{ bzw. } T_m = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2}{m_1 + m_2} \text{ bei gleichen Stoffen}$$

Im Jahresmittel wurde eine Mischtemperatur des Schlammes von etwa 25 °C ermittelt, im Sommer liegt die Temperatur erwartungsgemäß höher bei ca. 28 °C, im Winter bei etwa 21 °C.

		Winter	Jahresmittel	Sommer
Klärschlamm	47.000 m³/a	10 °C	14 °C	18 °C

Co-Substrate	33.000 m³/a	38 °C	40 °C	42 °C
Schlamm Gesamt	80.000 m³/a	21 °C	25 °C	28 °C

Tabelle 5-4 Schlammtemperaturen (2012) ATEMIS

Für die Berechnung des Wärmebedarfs für die Schlammerwärmung wurden die Außentemperaturen und die Faulschlammtemperaturen benötigt. Diese sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

	Winter	Jahresmittel	Sommer
Außenluft	- 2°C	9 °C	19 °C
Faulschlamm	35,5 °C	37,7 °C	39,0 °C

Tabelle 5-5 Temperaturen Außenluft und Faulschlamm (2012) ATEMIS

Aus dem Temperaturunterschied zwischen Außenluft und Faulschlamm wurde der jährliche Wärmeverlust mit Hilfe des Wärmedurchlasswiderstandes der Faulbehälter ermittelt. Dies waren 2012 etwa 170.000 kWh_{th}.

Der Wärmebedarf für die Schlammerwärmung von ca. 25 °C auf knapp 38 °C errechnet sich im Jahr 2012 auf 1.170.000 kWh_{th}. Zuzüglich der Wärmeverluste beträgt der jährliche Wärmebedarf etwa 1.340.000 kWh_{th}.

	Wärmemenge [kWh_{th}/a]
Wärmeverluste Faulbehälter	170.000
Wärmebedarf Schlammerwärmung (25°C / 37,5°C)	1.170.000
Wärmebedarf Faulbehälter gesamt	1.340.000
Wärmemessung Faulbehälter	970.000

Tabelle 5-6 Wärmebedarf für Faultürme (2012) ATEMIS

Die Wärmemessung zu den Faulbehältern betrug im Jahr 2012 etwa 970.000 kWh_{th}. Dies sind 370.000 kWh_{th} bzw. rund 30 % weniger als errechnet. Da die gemessene Wärmemenge unterhalb der berechneten Wärmemenge liegt, kann auf Messungenauigkeiten der Temperaturen oder der Wärmemenge geschlossen werden.

Eine verminderte Temperatur in den Faulbehältern könnte insbesondere im Winter eine verringerte Klärgasproduktion zur Folge haben. Der gemessene Messwert in den Wintermonaten von 35,5 °C liegt noch im optimalen Bereich zwischen 35 - 37 °C. Da diese Temperatur an der Faulturmoberseite gemessen wird, müsste eine optimale Schlammumwälzung erfolgen, um diese Temperatur im ganzen Faulturm zu erzielen. Trotz der Faulturmsanierung 2007 mit Installation einer innenliegende Umwälzung und einer neuen Aufheizung kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Temperaturen im unteren Teil der Behälter unter dem Messwerten liegen. Daher kann vermutlich ein erhöhter Wärmeeintrag in den Wintermonaten zu einer Steigerung der Klärgasproduktion führen.

Die vorhandene Überschusswärme sollte zukünftig dazu genutzt werden, die Faultürme bei gleichmäßig hohen Temperaturen zu betreiben.

5.2.3.1 Thermophile Vergärung

Um den Abbau der Organik weiter zu optimieren, ist eine Umstellung der Vergärung im thermophilen Temperaturbereich sinnvoll. Der oTS des Faulschlamms liegt derzeit ganzjährig über 60 %. Dies hat zur Folge, das Einbußen bei der Gasproduktion bestehen und die Kapazität der Klärschlammverbrennung, d.h. die mögliche Durchsatz-Tonnage, eingeschränkt wird.

Die thermophile Vergärung kann mit den derzeitigen Heizungssystem erreicht werden. Langfristig sollte der oTS des Faulschlamms unter 55 % gebracht werden. Aufgrund der höheren Temperaturen in den Faulbehältern sind vorab die statischen Voraussetzungen zu prüfen.

Die thermophile Vergärung sollte unabhängig zukünftiger zusätzlicher Cosubstrat-Mengen durchgeführt werden.

5.2.4 Schaumbildung der Faulbehälter

Die Schaumentstehung in Faultürmen kann ein hartnäckiges Betriebsproblem für Kläranlagen darstellen und zudem die Klärgasbildung aufgrund einer verminderten Durchmischung der Mikroorganismen mit Nährstoffen beeinträchtigen.

Die Schaumbildung tritt auch in den Faulbehältern der Kläranlage Straubing auf, welche unterschiedliche Ursachen haben kann. So kann etwa durch einen Proteinabbau, welche in den zugeführten Co-Substraten in großen Mengen enthalten sind, Ammonium im Faulbehälter entstehen, welches die Klärgasbildung hemmen kann und die Schaumentstehung unterstützt. Andere Ursachen könnten die Bildung von Säuren mit einer einhergehenden Überlastung der Mikroorganismen, eine übermäßige Dosierung leicht abbaubarer Co-Substrate, zu starkes Rühren oder die Anwesenheit von fadenförmigen Mikroorganismen sein.

Eine Maßnahme zur Schaumbekämpfung könnte etwa die Zugabe von Chemikalien in den Reaktorinhalt darstellen. Diese Methode ist sehr wirkungsvoll. Vor einem Einsatz ist eine ökonomische Bewertung für das richtige Antischaummittels, die eingesetzte Menge und dessen Effektivität erforderlich. Andere Maßnahmen könnten die Vorbehandlung der Co-Substrate in einer vorgeschalteten Anaerobanlage oder eine Optimierung der Betriebsweise darstellen (gleichmäßigere Zugabe der Substrate, Minimierung der Rührintensität). Vor einer Steigerung der Co-Substrat- bzw. Biomassezugabe ist die Schaumbildung bzw. eine mögliche Schaumbekämpfung zu untersuchen.

5.3 Erweiterungsmaßnahmen

5.3.1 Technische Holztrocknung

Für eine technische Holztrocknung von Holzhackschnitzeln oder Scheitholz könnte die überschüssige Wärme der Kläranlage verwendet werden. Hierfür sind Investitionen für die erforderliche Maschinentech-

nik notwendig. Da auf der Kläranlage bereits ein BHKW-Trockner zur Verwertung der Wärme vorhanden ist, kommt eine Holztrocknung nur in Frage, wenn dieser Trockner ausgereizt sein sollte.

Die rechnerische erzeugte Wärmemenge der Kläranlage beträgt unter der Annahme einer weiterhin gut laufenden sludge2energy Anlage bis zu 12.000 MWh/a thermischer Energie. Abzüglich des Verbrauches von 6.800 MWh/a werden zurzeit etwa 5.200 MWh/a ungenutzt über die Notkühler an die Umwelt abgegeben. Eine voll ausgelastete Lohntrocknung verbraucht etwa 4.200 MWh/a und somit annähert diese Menge an überschüssige Energie. Daher sollte diese vorrangig zur Lohntrocknung verwendet werden. Eine Holztrocknung wird erst bei einem erheblichen Wärmeüberschuss wirtschaftlich.

Als Holztrocknung kommt aus wirtschaftlichen Aspekten auf der Kläranlage Straubing nur eine Trocknung von Holzhackschnitzeln für die Produktion von Brennstoffpellets in Frage, da nur für diese eine Vergütung nach dem KWK-Gesetzes für die Abwärmenutzung aus der Erzeugung von Bioenergie möglich ist.

Eine Trocknung von Hackschnitzeln ist aufgrund der einzuhaltenden emissionsrechtlichen Vorgaben unbedingt erforderlich, da in der Regel Wassergehalte von 30-40 % für eine Verbrennung erforderlich sind. Dagegen haben waldfrische Hackschnitzel einen Wassergehalt von über 50 %. Weitere Vorteile sind

- höherer Energiegehalt als Brennstoff
- gesundheitliche Belastung durch Pilzsporen wird verringert
- verringerte Transportkosten aufgrund geringeren Gewichts

In der Regel werden Hackschnitzel unter Dach gelagert, um sie gegen Widerbefeuchtung durch Regen und Schnee zu schützen. Bei der Warmlufttrocknung werden die Hackschnitzel mit trockener, warmer Luft mit einer Temperatur zwischen 40 - 130 °C durchblasen, wodurch in kurzer Zeit große Wassermengen entzogen werden können. Für die Trocknung von 10 Schüttraummeter Hackschnitzel auf einen Wassergehalt von etwa 15 - 20 % werden je nach System 10 - 120 min benötigt.

Der technischen Aufwand und somit die Investitionen einer Warmlufttrocknung ist gegenüber einer natürlichen Trocknung relativ hoch. Auch der organisatorische Aufwand ist verhältnismäßig hoch, da die Trocknungsgeschwindigkeit und damit der Durchsatz relativ hoch sind.

Bei einem Wärmeüberschuss von etwa 1.000 MWh thermischer Energie könnte diese folgendermaßen für eine Holztrocknung genutzt werden:

Betriebsdaten Holztrocknung	
Annahmemenge Holzschnitzel	5.000 Raummeter
Wassergehalt vor Trocknung	45 %
Wassergehalt nach Trocknung	20 %
Wasserverdunstung	625 t

Betriebsdaten Holztrocknung	
Energieverbrauch	1.000 MWh thermisch
Investitionskosten	≈ 180.000 €
Jahreskosten	30.000 €
KWK-Bonus	15.000 €
Trocknungskosten	≈ 3,00 € / Raummeter

Tabelle 5-7 Beispielrechnung Hackschnitzeltrocknung ATEMIS

Die Schaffung zusätzlicher Trocknungskapazitäten kann derzeit nicht empfohlen werden, da die beiden Klärschlammtrockner im Bestand nicht ausgelastet sind.

Die Infrastruktur für die Trocknung von angelieferten entwässerten Klärschlämmen ist bereits vorhanden, Überschusswärmen sollten deshalb vorrangig zur Klärschlammtrocknung (eigene Schlämme und Lohntrocknung) verwendet werden.

5.3.2 Errichtung eines dritten BHKW

Die beiden errichteten Blockheizkraftwerke der Kläranlage Straubing verfügen jeweils über eine elektrische Leistung von 537 kW und eine thermische Leistung von 542 kW im Volllastbetrieb. Für den Volllastbetrieb beider BHKW steht nicht genug Klärgas zur Verfügung, sodass die Blockheizkraftwerke für eine höhere Wärmeerzeugung zeitweise parallel im Teillastbereich oder für eine höhere Stromproduktion zeitweise einzeln unter Volllast betrieben werden. Der effektive elektrische Wirkungsgrad liegt durch den Teillastbetrieb mit 35,7 % deutlich unter dem Brutto-Wert von 41,0 %. Der thermische Wirkungsgrad stieg entgegengesetzt dem elektrischen Wirkungsgrad auf 40,3 % an. Die Betriebsstunden betragen pro BHKW etwa 6.000 Stunden jährlich bei einer elektrischen Generatorleistung von 460 kW (netto).

Um dieser Betriebsweise im Teillastbereich und somit eines Stromverlustes durch den absinkenden Wirkungsgrad entgegenzuwirken, könnte ein zusätzliches BHKW errichtet werden. Unter der Annahme eines gleich bleibenden Gasertrages wäre ein Blockheizkraftwerk mit 800 kW Generatorleistung mit etwa 7.650 Betriebsstunden pro Jahr voll ausgelastet. Dies würde sich maßgeblich auf die elektrischen und thermischen Wirkungsgrade auswirken. Unter Volllast könnte ein elektrischer Wirkungsgrad von 41,7 % erreicht werden, womit pro Jahr rund 900.000 kWh zusätzlicher Strom erzeugt werden könnte. Bei einem Einheitspreis von 15 Ct/kWh entspricht dies einem Gewinn von 135.000 € pro Jahr. Hinzu kommen rund 600.000 kWh zusätzliche thermischer Energie, welche für eine Lohntrocknung verwendet werden können.

		Bestand [2 x 537 kW] (Betriebsdaten 2012)	Neues BHKW [800 kW] (theoretische Werte)
Generatorleistung (brutto/netto)	Elektrisch	2 x 537 / 460 kW	800 kW
	Thermisch	2 x 542 / 490 kW	790 kW
Wirkungsgrad (brutto/netto)	Elektrisch	41,0 % / 35,7 %	42,8 % / 41,7 %
	Thermisch	36,7 % / 40,3 %	42,3 % / 44,6 %
Gesamtwirkungsgrad		77,7 % / 76,0 %	85,1 % / 86,3 %
Betriebsstunden		2 x 5.900 h	7.650 h
Stromerzeugung		5.380.000 kWh	6.280.000 kWh
Wärmeerzeugung		5.770.000 kWh	6.370.000 kWh

Tabelle 5-8 Energieerzeugung verschiedener BHKW-Typen ATEMIS

Hinzu kommt eine steigende Anfälligkeit der vorhandenen Blockheizkraftwerke (Baujahr 2008) und damit verbundene Wartungs- und Reparaturarbeiten.

Bei einem Ausfall eines der BHKW und einem durchschnittlichen stündlichen Klärgasanfall von rund 270 Nm³/h könnte nur ein BHKW mit maximal 190 Nm³/h betrieben werden. Dies entspricht einem stündlichen Verlust von 80 Nm³/h, welcher abgefackelt werden müsste. Bei einem Stillstand von 14 Tagen müssten rechnerisch etwa 26.500 Nm³ abgefackelt werden, dies sind rund 15.000 € Verlust. Die tatsächlichen Verluste werden aufgrund von schwankenden Klärgasproduktionsmengen diese Summe übersteigen.

Bei einer weiteren Steigerung der Gasmenge, z.B. durch Erweiterung der Cosubstratmenge oder Umstellung auf thermophile Vergärung werden die Fackelverluste ohne die Installation eines 3. BHKW ansteigen. Dies führt dazu, dass höhere Annahmepreise berechnet werden müssen, da die Schlammbehandlungs- und verwertungskosten sich mehr mit den Erlösen aus der Verstromung des produzierten Gases aufgewogen werden können.

5.3.3 Einsparung Wärme

Derzeit fallen auf der Kläranlage große Mengen Abwärme an, die über Notkühler abgeführt werden. Diese Wärme kann zukünftig genutzt werden, um eine Lohntrocknung für angelieferte entwässerte Schlämme zu betreiben oder die Vergärung thermophil zu betreiben.

Der Kondensationstrockner benötigt verfahrensbedingt eine geringere Wärmeleistung zur Klärschlammtrocknung, da geringere Luftmengen zu Trocknung benötigt werden. Für eine optimale Wärmenutzung sollte demnach der Kondensationstrockner vorrangig betrieben werden. Die Fa. Huber hat den zuverlässigen Betrieb dieses Trockners im Rahmen der geplanten Anlagenübernahme durch die Stadt Straubing noch nachzuweisen, da derzeit nicht die erforderlichen Betriebszeiten des Trockners erreicht werden.

5.4 Auswirkungen auf die Kläranlage

Bei einer zusätzlichen Annahme von Co-Substraten müssen die Auswirkungen bzw. die Nachweise für jede Verfahrensstufe geprüft bzw. geführt werden.

In der Faulung zeigen sich eine ausreichende Aufenthaltszeit und die Einhaltung der organischen Raumbelastung als unkritisch.

Darüber hinaus ist eine Betrachtung der zu erwartenden Rückbelastungen (N, P, evtl. sonstige Stoffe) auf der Kläranlage erforderlich. Im späteren Betrieb (ggf. Testphase) ist eine ständige Prüfung der organischen Säuren (< 300 mg/l HACäq) sinnvoll.

Darüber hinaus müssen Nachweise für die weiteren Anlagenteile der Schlammbehandlung (Entwässerung, Prozesswasserbehandlung, etc.) geführt werden. Dies betrifft insbesondere:

- Anforderungen an die Anlieferung (zusätzliches Verkehrsaufkommen, Zufahrtsmöglichkeiten zur Annahmestation auf der Kläranlage)
- Schaumbildung in den Faulbehältern
- Entwässerungskapazität der Zentrifugen
- Prozesswasserbehandlung
- Faulgasspeicherung und -verwertung (Gasspeicher, BHKW-Leistung)

6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

6.1 Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden mit der Stadt Straubing abgestimmt.

Folgende Randbedingungen hinsichtlich Betrachtungszeitraum, Abschreibungen, Kostensteigerungen und Zinsen wurden im Vorfeld mit dem AG abgestimmt.

Kalkulatorische Vorgabe	Wert
Betrachtungszeitraum	30 Jahre
Nutzungsdauer Bautechnik	30 Jahre
Nutzungsdauer Maschinentechnik	15 Jahre
Nutzungsdauer EMSR-Technik	10 Jahre
Realzins	4,0 %

Tabelle 6-1 **Randbedingungen der Wirtschaftlichkeit** **ATEMIS**

Der Mehrwertsteuersatz wurde mit 19 % angenommen.

Für den Anlagenbetrieb wurden Kosten für Energie, Hilfsmittel, Personal, Reststoffe, Versicherung und Ersatzteile anhand der derzeitigen Kosten bzw. bekannten spezifischen Kosten abgestimmt. Folgende spezifischen Kosten wurden hierbei angenommen:

Kostenart	Preis inkl. MwSt.
Energiekosten (Strom)	0,173 €/kWh
Wärmekosten Trocknung (Wärme von KA)	0,00 €/kWh
Annahmeerlöse CoS	5,00 €/t
Personalkosten intern	34,30 €/h (ohne MwSt.)
Personalkosten extern	53,55 €/h

Kostenart	Preis inkl. MwSt.
Entsorgung entw. Schlamm	101,00 €/t
Brüdenbehandlung	1,79 €/t
Annahmeerlöse getrockneter Schlamm	- (keine Mengen berücksichtigt)
vermiedene Entsorgungskosten Rechengut	- (keine Mengen berücksichtigt)
Versicherung (in % von Investitionen)	1,0%

Tabelle 6-2 Ansätze Betriebskosten- und erlöse ATEMIS

6.2 Investitionen

Eine Erweiterung der technischen Ausrüstung ist im Bereich der BHKW-Anlage sinnvoll, wenn weitere Cosubstrat-Mengen angenommen werden sollen bzw. die anfallende Klärgasmenge durch andere Maßnahmen (z.B. thermophile Vergärung) erhöht werden soll.

Die Erweiterung der BHKW-Anlage mit einem BHKW (800 kW elektrisch) wird mit Kosten von ca. 1 Mio € abgeschätzt. Es wurde vorausgesetzt, dass die Anlage im BHKW-Maschinenhaus aufgestellt wird und kein Umbau der Trafostation erforderlich ist. Kosten für die strom- und wärmetechnische Einbindung wurden ebenso wie Planungskosten berücksichtigt.

Bei der Umstellung der Vergärung auf eine thermophile Fahrweise wurden keine Investitionen berücksichtigt, da davon ausgegangen wurde, dass die Faulbehälter auch bei Temperaturen bis 50°C betrieben werden können.

6.3 Betriebskosten und -Erlöse

Bei den derzeitigen Annahmeerlösen können die Kosten der Schlammentsorgung nicht durch die Annahmeerlöse vollständig kompensiert werden.

Durch die Optimierung der Faulung können sowohl die Schlammmengen zur Entsorgung verringert, als auch die Gasproduktion gesteigert werden.

Aufgrund der hydraulischen und organischen Belastung der Faulbehälter sollten gasertragsreiche Cosubstrate bevorzugt angenommen werden.

In der Kostenrechnung wurde ein Klärschlammanfall von 8 % bezogen auf die angelieferte CoS-Menge bei einem Annahmeerlös von 5 €/t und KS-Entsorgungskosten von 101 € unterstellt.

Die Höhe der Erlöse wird im Wesentlichen durch die Stromproduktion bestimmt. Neben den vermiedenen Strombezugskosten werden Einspeiseerlöse für ins Netz eingespeisten Strom und Bonuszahlungen für

Wärmenutzung (3 Ct je kWh KWK-Strom) und ggf. ein Technologiebonus (1 Ct je kWh eingespeister Strom) für die Einhaltung bestimmter Abgasgrenzwerte (Formaldehyd < 40 mg/m³ Abgas) erzielt.

Bei den derzeitigen Strommengen entsprechen die Erlöse des Technologiebonus in etwa den jährlichen Kosten für die Katalysatorenwechsel.

Bei einer Erhöhung der Stromproduktion wird der zusätzlich erzeugte Strom nach EEG ins Netz eingespeist, zusätzlich zu den Einspeisevergütungen können bei gleichzeitiger Wärmenutzung, z.B. durch KS-Trocknung, dann auch höhere Erlöse durch Höhere KWK-Bonuszahlungen erreicht werden.

Insgesamt ergibt sich bei einer CoS-Annahmemenge von 35.000 t/a ein Erlös von ca. 700.000 €/a (LAWA-Kostenrechnung).

In einer gesonderten Betrachtung zur Erweiterung der BHKW-Anlage wurde ermittelt, dass bei Installation eines weiteren BHKW die Jahreserlöse gesteigert werden können.

Insgesamt ergibt sich bei einer CoS-Annahmemenge von 35.000 t/a und einem neuen BHKW ein Erlös von ca. 835.000 €/a (LAWA-Kostenrechnung). Durch die Kapazitätserweiterung ist damit auch die Annahme weiterer Cosubstrate sowie eine Wärmebereitstellung für eine thermophile Vergärung möglich.

6.4 Grenzkosten /Sensitivität

6.4.1 CoS-Annahmemengen

Die Kapazität der BHKW-Anlage begrenzt die möglichen erzielbaren Erlöse der Anlage. In einer Sensitivitätsanalyse wurden die Jahreserlöse in Abhängigkeit der CoS-Annahmemenge betrachtet. Im Ergebnis können bei gleichen Annahmepreisen (5 €/t) keine höheren Jahreserlöse erzielt werden, da die Fackelverluste mit steigender CoS-Menge deutlich ansteigen.

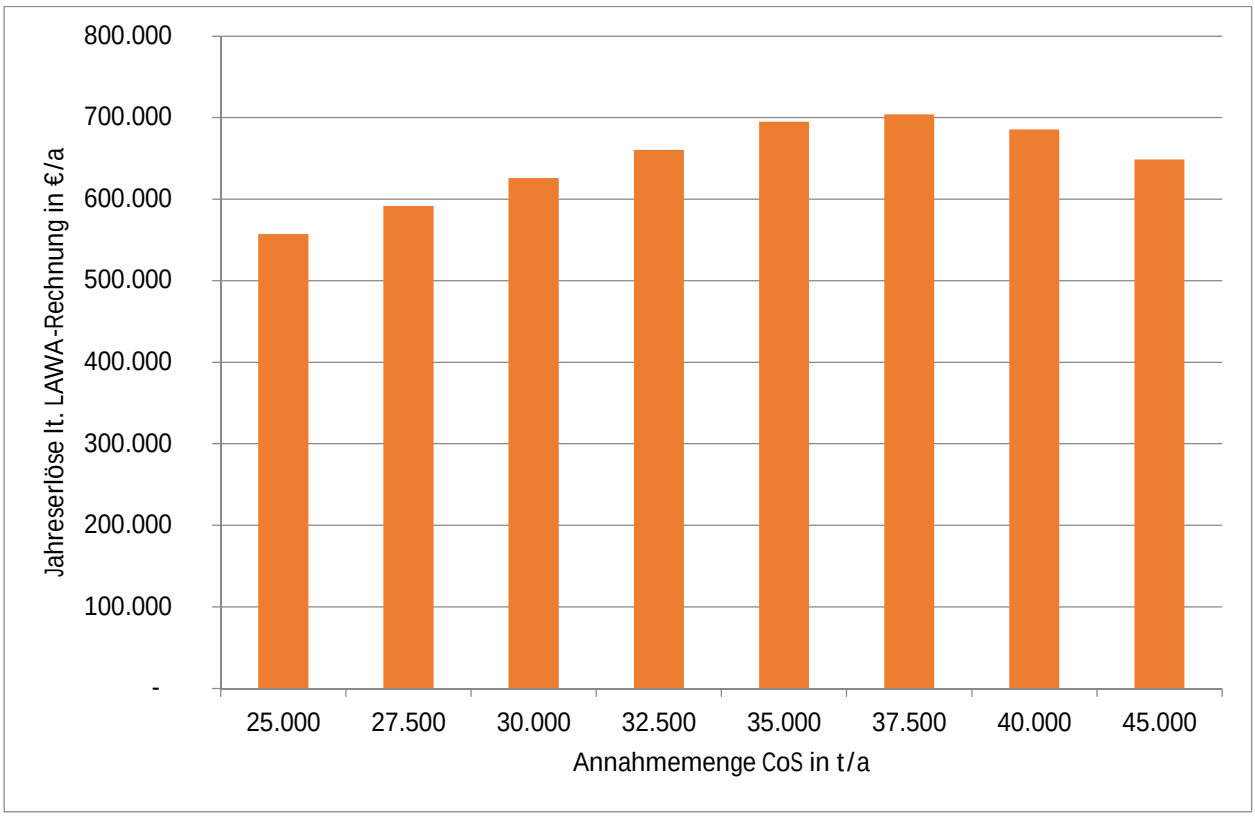

Abbildung 6-1 Jahreserlöse bei steigenden CoS-Annahmemengen ATEMIS

Die Fackelverluste steigen bei einer Erhöhung der Annahmemenge von 25.000 t/a auf 45.000 t/a von 190.000 m³/a auf ca. 800.000 m³/a. Die Fackelverluste verursachen zum einen eine Verringerung der Stromproduktion, zum anderen verringert sich damit auch die Wärmeproduktion und damit die Möglichkeit der Lohntrocknung (Erlöse Lohntrocknung und KWK-Bonus für BHKW) und die Wärmebereitstellung für eine thermophile Vergärung.

Bedingt durch höhere Schlammentsorgungskosten sinken dadurch die Jahreserlöse ab einer Annahmemenge von ca. 37.500 t/a.

6.4.2 CoS-Annahmepreise

Als wesentliche Einflussgröße für die Wirtschaftlichkeit wurde der Annahmeerlös für Cosubstrate betrachtet. Bedingt durch die hohen organischen Trockensubstanzanteile von über 60 % im Faulschlamm sind die Klärschlammentsorgungsmengen in Straubing zusätzlich gestiegen.

Bei einem Annahmeerlös von derzeit 5 €/t betragen die anteiligen Schlammentsorgungskosten (2.800 t/a, 101 €/t) ca. 283.000 €/a bei Annahmeerlösen von 175.000 €/a.

Der Annahmepreis muss im Zusammenhang mit dem Gasbildungspotenzial ermittelt werden. Bei den derzeitigen Klärgasverwertungskapazitäten ist insbesondere der Zukauf von hochkalorischen Cosubstraten, z.B. nachwachsenden Rohstoffen, nicht wirtschaftlich.

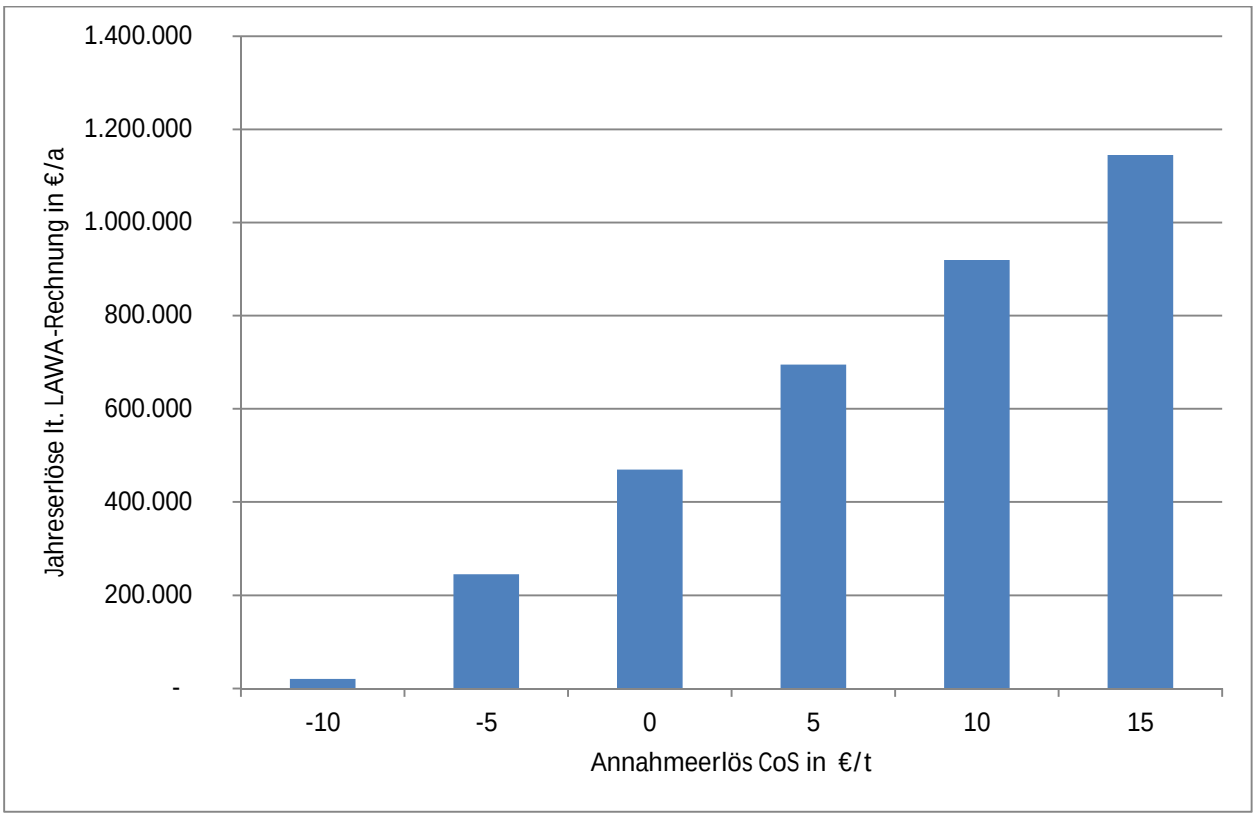

Abbildung 6-2 **Jahreserlöse in Abhängigkeit von Annahmeerlösen** **ATEMIS**

7 Zusammenfassung

Auf der Kläranlage der Stadt Straubing sind folgende Maßnahmen zur Steigerung der Biogasproduktion bereits durchgeführt worden:

- Neubau eines Stapelbehälters zur Mitbehandlung von Klärschlämmen umliegender Gemeinden

- Annahmestation für hochkalorische flüssige oder pastöse Co-Substrate aus der Lebensmittelindustrie

- Neubau einer Klärschlammtrocknungs und -verbrennungsanlage

Vor dem Hintergrund der weiteren Ausnutzung freier Kapazitäten in der vorhandenen Anlagen- und Bautechnik, wurde geprüft, ob auf der Kläranlage weitere Biomasse-Stoffströme mitbehandelt werden können.

Das folgende Diagrammstellt die zusätzlichen Annahmemengen an Co-Substraten bzw. Biomasse dar, bei welcher die jeweiligen Anlagenteile voll ausgelastet wären.

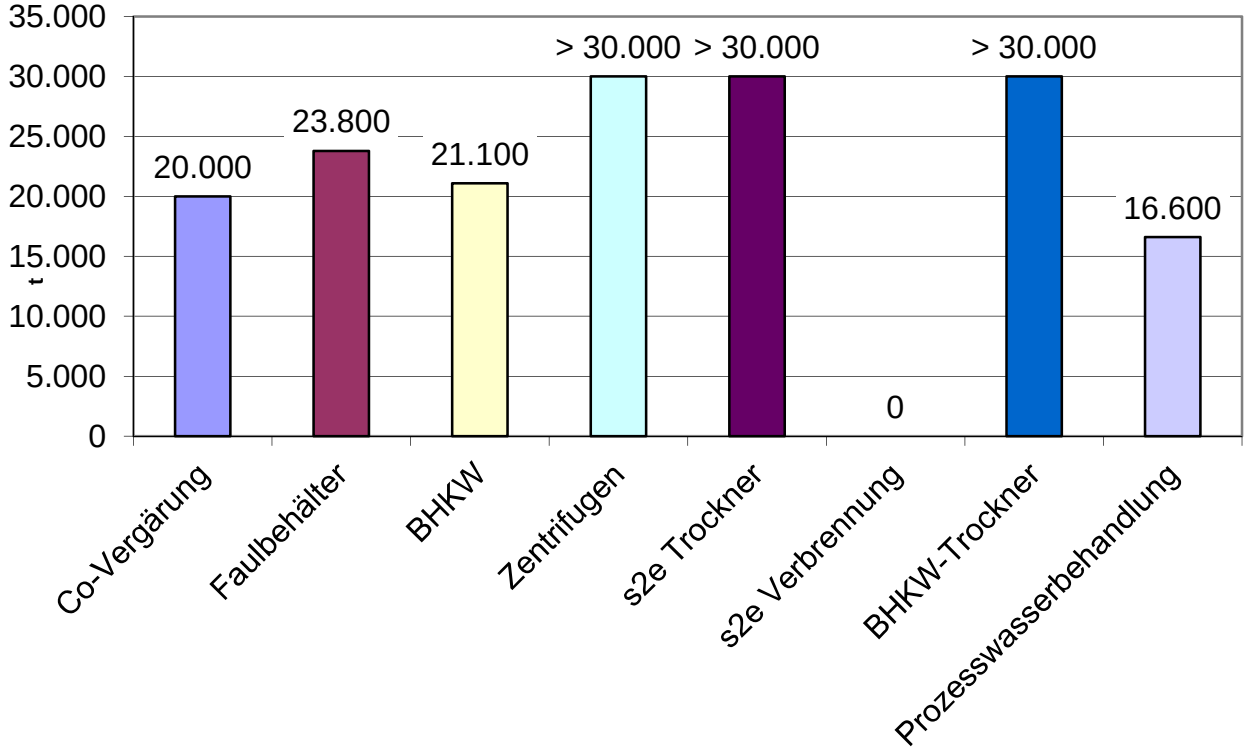

Abbildung 7-1 Zusätzliche Annahmemengen bezogen auf Co-Vergärung ATEMIS

Als zusätzliche Cosubstrate sollten Stoffe mit hohem Gasbildungspotenzial und ggf. Substrate zur optimierung der Schlammentwässerung bevorzugt werden. Hierbei ist auch die Annahme von nachwachsenden Rohstoffen als Substrat oder Gärrest als Entsorgungsweg für Unternehmen aus der NAWARO-Branche denkbar.

Hierbei ist zu beachten, dass bei deutlich größeren Annahmemengen die vorhandene Anlagentechnik erweitert werden muss.

Die Annahmestation und die Schlammentwässerung („Covergärung“ und „Zentrifugen“) sind nach erfolgter Erweiterung der Anlagenteile mit ausreichender Kapazität vorhanden.

Die Vergärung („Faulbehälter“) besitzt Reserven, eine weitere hydraulische und organische Belastung muss im Zusammenhang mit der gewünschten Prozessstabilität und saisonale Schwankungen des Klärschlammanfalls geprüft werden (ggf. thermophile Vergärung, ganzjährig hohe Faulturmtemperaturen, Analysen, Hydrolyse, Desintegration).

Die Auslastung der BHKW liegt derzeit bei 70%, eine weitere Erhöhung der Gasmenge bedeutet einen Anstieg der Fackelverluste. Die Gasproduktion ist saisonalen und anlieferungsbedingten Schwankungen unterworfen, die Gasproduktion übersteigt schon derzeit die verwertbare Gasmenge durch die BHKW. Eine BHKW-Auslastung von 100 % ist demnach wirtschaftlich nicht sinnvoll, da bei verminderter Klärgasverstromung die Schlammentsorgungskosten die Erlöse übersteigen. Bei Erhöhung der Cosubstrat-Annahmemengen ist damit eine Erweiterung der BHKW-Anlage unumgänglich, sofern nicht deutlich höhere Annahmeerlöse erzielt werden können.

Die installierten Klärschlammtrocknungskapazitäten sind ausreichend („s2e-Trockner“, „BHKW-Trockner“). Der Dauerbetrieb des s2e-Trockners ist durch Huber noch nachzuweisen. Der BHKW-Trockner steht zur Lohntrocknung zur Verfügung, wenn die kläranlageninternen Schlamm-Mengen über den s2e-Trockner getrocknet werden können.

Die Prozesswasserbehandlung (Strippung und Deammonifikation) hat eine ausreichende Ausbaukapazität.