

# KLIMASCHUTZKONZEPT FÜR DEN GEMEINDEVERWALTUNGSVERBAND DONAUESCHINGEN

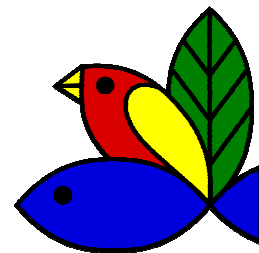
Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



DIE BMU  
KLIMASCHUTZ-  
INITIATIVE



Teilkonzept:

**Energieanalyse der Kläranlage Donaueschingen**

Bearbeitung: Energiebüro 21, Donaueschingen, Klaus Faden



Energiebüro 21

## Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenbeschreibung .....	3
2.	Biologische Bewertung.....	3
2.1.	Aufgabestellung und Ziele.....	3
2.2.	ALLGEMEINE GRUNDLAGEN UND BERECHNUNGSANSÄTZE .....	4
2.3.	EINFLUSSGRÖSSEN ANAEROBE GÄRPROZESSE in KLÄRANLAGEN 4	
2.4.	AKTUELLE Daten aus 2008/2009.....	6
2.5.	Aussagen zu einzelnen Parametern.....	7
2.6.	BHKW Laufzeit, Leistung und Wirkungsgrade - Erdgaszukauf .....	7
2.7.	Auslastung der BHKW.....	9
2.8.	Energiekennwerte, Benchmarks.....	11
2.9.	Verbesserung der Gasausbeute / Reduzierung der Klärschlamm-Menge	11
2.10.	Zusammenfassung und Möglichkeiten zur Optimierung/Eingriffsmöglichkeiten .....	17
3.	Stromverbrauch.....	18
3.1.	Turboverdichter .....	20
3.2.	Belüftersituation.....	20
3.3.	Schlammrückführung .....	21
3.4.	Zwischenpumpwerk.....	21
3.5.	Rührwerke, Biologie .....	22
3.6.	Räumer, Nachklärbecken .....	22
3.7.	Rezirkulationspumpen.....	22
3.8.	Umwälzpumpen Faulbehälter.....	22
3.9.	Polypumpe .....	22
3.10.	Sandfangbelüftung.....	23
4.	Thermische Situation .....	23
4.1.	Energieerzeugung .....	23
4.2.	Nutzwärmeverbrauch .....	24
	▪ Faultürme.....	24
	▪ Schlammhalle .....	24
	▪ Betriebsgebäude und Werkstatt.....	25
	▪ Rechengebäude.....	25
	▪ Warmwasserbereitung für Duschen.....	25
	▪ Zusammenfassung .....	26

## 1. Aufgabenbeschreibung

Ziel ist eine energetische Zustandsanalyse der Kläranlage bezüglich des Energieverbrauchs und des Energieeinsatzes sowie daraus abgeleitet sinnvolle Maßnahmen zur Verbrauchsoptimierung und Steigerung der Eigenerzeugung und Energieeffizienz vorzuschlagen. Zudem sind Kosten und Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zu ermitteln.

Zu diesem Zweck wird eine Feinanalyse von Energieerzeugung- und Verbrauch erstellt und die Ergebnisse mit aktuellen Benchmarks verglichen. Auf dieser Basis findet eine Zustandsbewertung der Kläranlage sowie eine Darstellung der ermittelten Optimierungsmaßnahmen statt.

## 2. Bewertung der biologische Reinigungsstufe

### 2.1. Aufgabestellung und Ziele

Innerhalb der gesamtenergetischen Betrachtung der KA Donaueschingen soll der anaerobe Teil (Faultürme, Klärgasproduktion) untersucht werden. Dies betrifft u.a. die Auslastung, Biologie, Fahrweisen, Effektivität, Gasnutzung.

Im Folgenden werden zu den verschiedenen Punkten Einzelheiten erläutert

1. Allgemeine Grundlagen Kläranlage Donaueschingen (KA-D.)
2. Einflussgrößen Gärprozess/Faultürme
3. Liste der vorhandenen/verwendeten Daten
4. Aktuelle Daten aus 2008 und 2009 und Aussagen
5. Energiekennwerte /Benchmarks / Optimierung
6. Wärme
7. Zusammenfassung und Möglichkeiten der Optimierung / Eingriffsmöglichkeiten

Die letzte Abgasmessung (DEKRA) aus 2008 hat ergeben, dass alle Werte nach TA-Luft selbst bei gedrosselter Fahrweise eingehalten werden können. Die Motoren werden also sehr gut gewartet (in eigener Regie) Die einzige Schwierigkeit ist der Wechsel zwischen Bio- und Erdgas, welche jeweils ihre eigenen spezifischen Einstellungsoptima haben.

## 2.2. ALLGEMEINE GRUNDLAGEN UND BERECHNUNGSANSÄTZE

• Kläranlagengröße Bemessung	129.000 EGW
• Derzeitig	108.000 EGW
• Durchschnittliche Berechnung (CSB)	90.000
• Größenklasse	4/5
• 2 Faultürme (FB1, FB2) mit je	2280 m <sup>3</sup> Inhalt → Summe 4560m <sup>3</sup>
• Gasbehälter Volumen	2000 m <sup>3</sup>
• Zulauf zu FB bestehend aus Frisch- und Ü-Schlamm, Entwässerung des Schlammes (Turbodrain/Voreindicker)	
• Haupt-BHKW 4 – Jenbacher (Bj.98) wird i. Allg. bis 240kW <sub>el.</sub> betrieben Durchschnitt : 170kW <sub>el.</sub>	290 kW <sub>el.</sub>
• 2 BHKW für Wartungsausfälle usw.	2 x 240 kW <sub>el.</sub>
• 1 BHKW standby	
• Wirkungsgrad Haupt BHKW 4 Lt Angaben, Hersteller	33.2 % elektrisch 49,2 % thermisch
• Ertrag pro m <sup>3</sup> Klärgas	6,3 kWh
• Methangehalt (nachgeprüft am 10.11.09) NH <sub>3</sub> =0 / O <sub>2</sub> = 0,1 / H <sub>2</sub> S = 18ppm	63%

## 2.3. Einflussgrößen anaerober Gärprozesse in Kläranlagen

Für die Plausibilitätsprüfung der einwohnerbezogenen Kennwerte und die Abschätzung des im Klärschlamm enthaltenen Energiepotenzials sind die Schlammanfallmengen in den einzelnen Behandlungsstufen und deren Zusammensetzung, insbesondere die Angaben zu deren Trockensubstanzgehalt und Glühverlust wichtig.

Zur Beurteilung des Faulprozesses sollten insbesondere auch die Daten zu Glühverlust **vor und nach der Faulung**, den organischen Säuren und dem pH-Wert regelmäßig und in kurzen Abständen erfasst werden, da eine korrekte Bewertung der zugeführten organischen Trockensubstanz und des Abbaugrades für die Plausibilitätsprüfung der Gasanfallmessungen erforderlich ist.

Vorhandene Daten aus den Jahresberichten sind fett gedruckt

• <b>Zulaufmenge</b>	m <sup>3</sup> /Zeiteinheit
• <b>Zulauf als Trockensubstanz</b>	kgTS/ Zeiteinheit oder Volumen
• <b>Zulauf als organische Trockensubstanz</b>	kg oTS / Zeiteinheit oder Volumen
• Ablauf als Trockensubstanz	kgTS / Zeiteinheit oder Volumen
• Ablauf als organische Trockensubstanz	kg oTS / Zeiteinheit oder Volumen
• Verweilzeit (Tage)	d
• Faulraumbelastung	kg oTS/m <sup>3</sup> *d
• <b>Temperatur, pH</b>	°C , --
• Durchmischung	2 Umwälzpumpen (Leistungsunterschied)
• <b>Gasmenge</b> und –qualität	m <sup>3</sup> /Zeiteinheit
• FOS/TAC : <b>org. Säuren</b> in den Behältern	Einzelmessungen im Monat

KLIMASCHUTZKONZEPT FÜR DEN **GEMEINDEVERWALTUNGSVERBAND** DONAUESCHINGEN  
**Teilkonzept: Energieanalyse der Kläranlage Donaueschingen**

**Liste der vorhandenen Daten mit Relevanz und Quelle in den Jahresberichten**

PARAMETER	Quelle		Einheit
	Jahresbericht/Spalte		
1. Gasverbrauch :			m <sup>3</sup> , kWh/Monat
2. Beschickungspumpe 2 zu FB	( Betriebsstd.JB-Sp. 16)		h/ Mon
3. BHKW Betriebsstunden	„ 96 – 99		h/ Monat
4. <i>Niederschlag</i>	Zählwerte 2		l/m <sup>2</sup> im Monat
5. Temperatur FB			
6. pH			
7. Menge eingedickter Schlamm FB1	6		m <sup>3</sup> /Monat
8. Menge einged. Schlamm FB2	7		m <sup>3</sup> /Monat
9. Gesamtbeschickung FB1	10		„
10. „ FB2	11		„
11. Menge Dickschlamm FB1	26		„
12. Menge Dickschlamm FB2	27		
13. Gasanfall FB1	28		
14. Gasanfall FB2	29		
15. Gasverbrauch BHKW	32		
16. FB1 TS	143		g/l
17. FB1 Glühverlust	144		%
18. FB1 Abbau TS org.	145		to
19. FB1 Abbau TS org.	146		%
20. FB2 TS	147		g/l
21. FB2 Glühverlust	148		%
22. FB2 Abbau TS org	149		to
23. FB2 Abbau TS org	150		%
24. Menge einged.FRISCHSCHL FB1	211		m <sup>3</sup> /h
25. Menge einged.FRISCHSCHL FB2	212		m <sup>3</sup> /h
26. Menge Gasanfall FB1	230		„
27. Menge Gasanfall FB2	231		m <sup>3</sup> /h
28. Spez Gasanfall TS	233		
29. Spez Gasanfall oTS	234		
30. Spez Gasanfall EWG	235		
31. Menge Gasverbrauch BHKW	237		
32. Erdgas	238		m <sup>3</sup> /h
33. HA <sub>c</sub> in FB1 und FB2 Extrablatt			
34. Überschusswärme (Tabelle Wärmez. Keller)			

**Für die Berechnungen zur Verfügung gestellten Daten:**

Die wöchentlichen Laborwerte werden zur Plausibilitätskontrolle herangezogen. Bei Angaben aus „Zählwerten“ wird von korrekt arbeitenden Messeinrichtungen ausgegangen. Dabei ist bei nicht geeichten oder nicht kalibrierten Zählern (Gasdurchfluss-Volumenstrommessung, Durchflussmengenmessung für Flüssigkeiten) mit Fehlerquoten bis zu 10% (Herstellerangaben) zu rechnen. Eine relative Genauigkeit ist stark vom Wartungs- und Kalibrierzustand der einzelnen Messgeräte abhängig. Zähler, über die Fiskale Abrechnungen (Strombezug, Gasbezug, Gaseinspeisung ins externe Stromnetz) erfolgen müssen geeicht sein. Dabei kann von einer Fehlerquote unter 2% ausgegangen werden.

## 2.4. AKTUELLE Daten aus 2008/2009

Ermittelte Ergebnisse – Zusammenfassung der Parameter

Allgemeines:

- Input Faultürme: zu den Faultürmen geht Dickschlamm und Frischschlamm aus Turbodrain (Mengen werden erfasst)
- Menge Gasanfall wird erfasst und hier verwendet. Der Verbrauch am BHKW ist ebenfalls erfasst.
- Die Bestimmung der Labor-Parameter (TS/oTS) erfolgt 4 – 5 mal im Monat
- Probenziehung erfolgt aus Umwälzstrom.

**Tabelle:** Einzelne Auswertung für 2008 und 2009, wobei eine gleichmäßige Beschickung der Faulbehälter erst seit April 2009 stattfindet

<b>Parameter</b>	<b>Bemerkung</b>	<b>Einheit</b>	<b>FB1</b>	<b>FB2</b>	<b>FB 1 u. 2</b>	<b>FB 1 u.2</b>
Jahr			2008	2008	2008	2009
Einwohner	Bemessung	EWG			148.000	
Einwohner	aktuell	EWG			126.000	
Einwohner	CSB-Berechn.	x1000			80 - 90	86
<b>Zulauf</b>		m <sup>3</sup> / Monat	2.275	1314	3.589	3.458
TS aus Sp.143/147	konz. Zul.	g/l	23,52	45		33
	Fracht Zul.	t/Monat	53,5	59,13	112,65	114,18
org TS	Konz	g/l	36,76	24,5		18,15
	Fracht	t oTS/Monat	80	57	137	138
Verweilz.		d	30	54		40
<b>Raumbelastung</b>		kg oTS/m <sup>3</sup> *d	1,22	0,37	durchschn. 1,0	1,2
<b>Abbau</b>						
<b>oTS</b>	berechnet	g/l	23	45		
oTS		t oTS/Monat	24	31	55	62
oTS		%	63	36		47 - 50%
oTS	aus Bericht (145/149)	t/Monat	2,057	0,694		0,9 - 1,4
Faulschlamm		m <sup>3</sup> /Monat			3090	3280
Gasanfall	aus Einzelw.	m <sup>3</sup> /Monat	42.490	17.064	59554	58.640
Gasanfall	Zähler		42.896	17.251	<b>60120</b>	
Erdgas f. Spitzen		m <sup>3</sup> /Monat			6.870	5.212
<b>Ertragsberechn</b>	bei 63% CH4	kWhges/Monat			<b>378.756</b>	369.432
Ertrag	33.2% Wirk.°	kWhel/Monat			125.747	122.651
Ertrag	40,00%	kWhel/Monat			151.502	147.773
Temperaturbereich		°C	40 - 50	27 - 36		31-40
pH-Bereich			7,0 - 7,4	7,0 - 7,64		7 bis 8
Eigenerzeugung	Angabe	%			40	40

## 2.5. Aussagen zu einzelnen Parametern

- a) **Temperatur:** Die Temperatur im Faulprozess spielt eine äußerst wichtige Rolle, da die Methanproduzenten in einem schmalen Bereich optimale Aktivität entwickeln und schon auf geringe Schwankungen heftig reagieren. Je höher die Temperatur desto schneller entsteht das Gas, oder desto kürzer wird die erforderliche Faulzeit = Verweildauer im FB.
- b) **pH-Wert:** auch ein stabiler pH-Wert trägt zur optimalen Gasausbeute bei. Schwankungen zwischen 7 und 8 sollten vermieden werden, wobei der optimale Bereich zwischen 7,2 und 7,8 zu suchen ist. Da es sich um Einzelmessungen handelt, können auch hier Messungenauigkeiten durch Wartungs- und Kalibrier-Zustand der verwendeten Elektrode vorliegen.
- c) **Säuregehalt:** Es liegt eine einzelne Datenreihe zu den biologischen Parametern aus den Faulbehältern vor. Der HAC aus FOS/TAC (Summe der zu Essigsäureäquivalenten umgerechneten org. Gesamtsäuren aus der Titration des Faulschlammes im Fermenter mit einer anorganischen Säure bestimmt) FOS = flüchtige organische Säuren, TAC = Totale alkalische Carbonate (basisch wirksame Pufferkapazität). Im Mittel wurde ein Wert von **257 - 266mg/l** (FB1 u. 2) bestimmt.

Durchschnittswerte einer Probenziehung aus dem Umwälzstrom der Faulbehälter von kleiner 400 mg pro Liter org. Säuren weisen auf eine sehr vollständige Ausfäulung hin. Entsprechend hoch sind der Gasertrag und die Klärgasqualität.

Versuchsweise wurden die beiden Faulbehälter unterschiedlich beschickt betrieben.

Faulbehälter 1 wurde mit Primärschlamm beschickt, während Faulbehälter 2

Sekundärschlamm erhielt. Nachdem aber keine besonderen Effekte erkennbar waren, wurde auf Parallelbetrieb umgestellt. Seit April 2009 werden beide Behälter relativ gleichmäßig parallel beschickt, was zu einer sehr guten Ausfäulung führt.

## 2.6. BHKW Laufzeit, Leistung und Wirkungsgrade - Erdgaszukauf

Moderne Gas-Otto-BHKW können zwischen 37 und 40% des eingesetzten Brennstoffs in elektrische Energie umwandeln. Je nach Auslegung, Qualität und Pflegezustand der Abgas- und Motor-Wärmetauscher stehen 38 bis 40 % des eingesetzten Brennstoffes als auskoppelbare und nutzbare Abwärme im Sinne einer Kraft-Wärmekopplung zur Verfügung.

24 bis 20 % sind un- oder schwer-vermeidbare Energieverluste, die sich aus Generatorverlusten, innerer mechanischer Reibung des Motors, Wärmeverluste durch Strahlung, Schallabstrahlung, Vibration, Restwärmeenthalpie des noch mindestens 180°C heißen Abgases und technisch bedingter Methanschluß (motorisch bedingter Brennstoffverlust) summieren.

Niedertemperatur-Restwärme und eine Verbesserung der Abgaswerte könnte durch einen kondensierenden Abgaswärmetauscher (vergleichbar zu sog. „Brennwertkesseln“) aus dem heißen Abgasstrom gewonnen werden.

BHKW-Motoren haben ihren optimalen Wirkungsgrad nur zwischen 90% bis 100% der Vollastleistung. Im Teillastbereich 50 bis 89% verringern sich die elektrischen Wirkungsgrade nach unten sehr deutlich. Gleichzeitig steigen der spezifische Gasverbrauch und die Emissionen (außer NOx) überproportional an. Insbesondere werden im Teillastbereich erhöhte Methan-Schlupf- und Formaldehyd-Werte im Abgas festgestellt (Ergebnisse aus Messungen an vergleichbaren Typ 208-Erdgas- und Biogas-BHKW nach TA-Luft durch nach § 26 BImSchG-anerkannte Messstellen.)

Daher sollten Klärgas- und Erdgas-BHKW möglichst im Vollastbereich 90 bis 100% der Vollast Nennleistung des Herstellers betrieben werden.

KLIMASCHUTZKONZEPT FÜR DEN **GEMEINDEVERWALTUNGSVERBAND** DONAUESCHINGEN  
**Teilkonzept: Energieanalyse der Kläranlage Donaueschingen**

Der Kläranlage Donaueschingen steht ein **Gasspeichervolumen von ca. 2000 m<sup>3</sup>** zur Verfügung. Bei einer angegebenen Vollastleistung von 290 kWh elektrisch darf das BHKW ca. 2,5 kWh HU für die Erzeugung von 1 kWh elektrischem Strom verbrauchen.

Bei einem allgemeinen durchschnittlichen Methangehalt von 60% CH<sub>4</sub> beträgt der HU / m<sup>3</sup> Klärgas 6 kWh/ m<sup>3</sup>. Daraus erzeugt ein Typ-208 BHKW bei optimalem Wirkungsgrad ca. 2,4 kWh elektrischer Energie.

Methangehalt des Klärgas	63 % CH <sub>4</sub>
Brennwert HU Klärgas	6,3 kWh HU/m <sup>3</sup>
Brennwertbedarf für 1 kWh elektrisch	2,5 kWh/kWh
Spez. Stromertragsleistung aus 1 m <sup>3</sup> Klärgas	2,52 kWh el.
Zur Verfügung stehendes Gasspeicher-Volumen (Neu)	2.000 m <sup>3</sup>
Nennleistung des 208-BHKW Jenbacher	290 kW/h el.
Verbrauch in Nm3 ( 0°C, 1013 mbar)	115,0 Nm <sup>3</sup> /h
Verbrauch pro Bh Realgas (nass/warm)	140,4 Real-m <sup>3</sup> /h
mögliche mindest Vollastleistungszeit Gasspeicher	14 h

Aus den analysierten Daten gehen folgende Einspeiseleistungen der 3 Klärgas-BHKW hervor (ohne Erdgas berechnet):

Monat	FB 1 und FB2	63,0 % CH <sub>4</sub>	Soll kWh aus	Einspeise-	fehlende/ nicht erzeugte kWh el./m
	Gasertrag m <sup>3</sup> /m	Brennwert Klärgas kWh ges./m	Faulgas kWh el./m	leistung 3 BHKW kWh el. /m	
	aus Sp. Zähl.30	berechnet	33,2 % W°	EnergSpalte 6	berechnet
Jan 08	68.361	430.674	142.984	101.794	41.190
Feb 08	62.539	393.996	130.807	96.326	34.481
Mrz 08	62.319	392.610	130.346	119.470	10.876
Apr 08	67.364	424.393	140.899	114.190	26.709
Mai 08	72.285	455.396	151.191	111.113	40.078
Jun 08	56.247	354.356	117.646	106.825	10.821
Jul 08	68.463	431.317	143.197	111.492	31.705
Aug 08	52.684	331.909	110.194	107.201	2.993
Sep 08	49.985	314.906	104.549	98.065	6.484
Okt 08	52.063	327.997	108.895	105.772	3.123
Nov 08	48.666	306.596	101.790	99.262	2.528
Dez 08	53.655	338.027	112.225	104.124	8.101
Ø	59.553	375.181	124.560	106.303	18.257
SUMME	714.631	4.502.177	1.494.723	1.275.634	-219.088

Bei Zugrundelegung von Ø 63 % Methangehalt des Klärgases enthält ein Qubikmeter einen unteren Heizwert HU von 6,3 kWh ges.

Bei einem mindestens zu erwartenden Wirkungsgrad von 33,2% (Werksangaben bei Kauf des Aggregates) elektrischer Erzeugungsleistung müssten aus der aus den Faulbehältern den Motoren zur Verfügung gestellten Gasmenge im Jahr 2008 ca. 220.000 kWh **mehr** Strom erzeugt worden sein als tatsächlich erzeugt wurden. Damit ergibt sich ein deutlich geringer elektrischer Wirkungsgrad von rund 25% der aus der Fahrweise im Teillastbereich resultiert.

Um die Wirkungsgrade der BHKW zu exakt verifizieren, sind die Gasmengen-Verbrauchsmessung der BHKW-Gaszuleitungen zu eichen oder zumindest neu kalibriert und die Drücke, Gas-Temperaturen, Wasserdampfanteil, der genaue Methananteil und unerwünschte Nebengas wie Schwefelwasserstoff und Ammoniak mit erfasst werden.

Für eine optimale Effizienz muss sich das BHKW in einwandfreiem Wartungszustand (Kompression, Ventilsitze, Ventilspiel, Zündkerzen, Lambda-Regelung usw.) befinden und frei von Verkrustungen



und Anbackungen in den Brennräumen sein. Dies ist augenscheinlich der Fall. Dafür sprechen an sich auch gute Abgaswerte der letzten Messung (2008).

## 2.7. Auslastung der BHKW

Das primär genutzte BHKW 4 (Jenbacher) der Kläranlage Donaueschingen erreicht relativ hohe **zeitliche** Auslastungswerte:

290 kWh el. BHKW 4 Jenb. Bh/m (Bh Spalte 99)	Auslastung % BHKW 4 Jenb. Laufzeit	Stunden proMonat h/m effektiv	theor. kWh aus Bh-Volllast kWh/m	tatsächl. Differenz zur Volllast kWh/m
363,79	48,9 %	744	207.238	-105.444
612,59	91,2 %	672	201.282	-104.956
686,29	92,2 %	744	247.919	-128.449
625,85	86,9 %	720	258.911	-144.721
639,05	85,9 %	744	219.455	-108.342
672,31	93,4 %	720	219.148	-112.323
677,94	91,1 %	744	230.673	-119.181
687,17	92,4 %	744	223.805	-116.604
686,31	95,3 %	720	209.151	-111.086
673,24	90,5 %	744	224.436	-118.664
643,38	89,4 %	720	207.549	-108.287
707,17	95,0 %	744	215.875	-111.751
639,59	87,7 %	730	222.120	-115.817
<b>7.675,09</b>			<b>2.665.442</b>	<b>-1.389.808</b>

Unter Berücksichtigung des Zukaufs/Bezugs von Erdgas hätte noch mehr elektrische Energie erzeugt werden müssen:

Tabelle Soll- Erzeugung von Eigenstrom aus Erdgas

Monat	Bezug Erdgas m <sup>3</sup> /m (Zählw.33)	10 kWh HU/m <sup>3</sup> Erdgas kWh ges./m berechnet	Erdgas CO <sub>2</sub> -Emission kg CO <sub>2</sub> /m Berechnet	33,2 % Soll aus Erdgas H kWh berechnet
Jan 08	3.424	34.240	6.968	11.368
Feb 08	1.251	12.510	2.546	4.153
Mrz 08	10.098	100.980	20.549	33.525
Apr 08	7.330	73.300	14.917	24.336
Mai 08	3.457	34.570	7.035	11.477
Jun 08	10.255	102.550	20.869	34.047
Jul 08	6.935	69.350	14.113	23.024
Aug 08	10.519	105.190	21.406	34.923
Sep 08	7.779	77.790	15.830	25.826
Okt 08	8.690	86.900	17.684	28.851
Nov 08	8.114	81.140	16.512	26.938
Dez 08	2.907	29.070	5.916	9.651
Ø	6.730	67.299	13.695	22.343
<b>SUMME</b>	<b>80.759</b>	<b>807.590</b>	<b>164.345</b>	<b>268.120</b>

KLIMASCHUTZKONZEPT FÜR DEN **GEMEINDEVERWALTUNGSVERBAND** DONAUESCHINGEN  
**Teilkonzept: Energieanalyse der Kläranlage Donaueschingen**

VERGLEICH:

	33,2 % Soll aus Faulgas kWh el./m	33,2 % Soll kWh aus Erdgas	Gesamte Soll- Einspeiseleistung Erd- + Klärgas kWh <sub>el</sub> /m	Wirkarbeit BHKW kWh <sub>el</sub> /m	Differenz zum Optimum kWh <sub>el</sub> /m
Monat	berechnet	berechnet	berechnet	E Spalte 6	berechnet
Jan 08	142.984	11.368	154.352	101.794	-52.558
Feb 08	130.807	4.153	134.960	96.326	-38.634
Mrz 08	130.346	33.525	163.871	119.470	-44.401
Apr 08	140.899	24.336	165.235	114.190	-51.045
Mai 08	151.191	11.477	162.668	111.113	-51.555
Jun 08	117.646	34.047	151.693	106.825	-44.868
Jul 08	143.197	23.024	166.221	111.492	-54.729
Aug 08	110.194	34.923	145.117	107.201	-37.916
Sep 08	104.549	25.826	130.375	98.065	-32.310
Okt 08	108.895	28.851	137.746	105.772	-31.974
Nov 08	101.790	26.938	128.728	99.262	-29.466
Dez 08	112.225	9.651	121.876	104.124	-17.752
Ø	124.560	22.343	146.904	106.303	-40.601
SUMME	1.494.723	268.120	1.762.843	1.275.634	-487.209

Es wurden im Jahr 2008 tatsächlich nur 1.275.634 kWh<sub>el</sub> aus Klärgas & Erdgas produziert (Energietabelle), also ca. 28% weniger als theoretisch möglich. Geht man unter realen Bedingungen von einem Mittleren Methangehalt von 62% und einem Wirkungsgrad des BHKW von 31% aus, so ergibt sich eine Differenz zur theoretisch möglichen Strommenge von 468927 kWh.

Tabelle: zur Wirkarbeit und Abwärme

2008 Monate	Wirkarbeit kWh/mon.	Soll-Leistung Typ 208 Jenbacher 290 kW <sub>el</sub> /h	Überschuß Abwärme MWh <sub>therm</sub> /mon.
	Spalte 6	Auslastung %	
Jan 08	101.794	47 %	8,61
Feb 08	96.326	49 %	2,45
Mrz 08	119.470	55 %	12,96
Apr 08	114.190	55 %	18,03
Mai 08	111.113	51 %	18,54
Jun 08	106.825	51 %	20,16
Jul 08	111.492	52 %	25,53
Aug 08	107.201	50 %	23,54
Sep 08	98.065	47 %	17,30
Okt 08	105.772	49 %	17,27
Nov 08	99.262	48 %	9,10
Dez 08	104.124	48 %	10,97
Mittel Ø	106.303	50 %	
SUMME	1.275.634 kWh/a		184 MWh/a

Für die aktuelle Fahrweise der Anlage ist das BHKW Typ 208 Jenbacher deutlich zu groß dimensioniert. Dies rührt von der damaligen Strom-Tarifstruktur her, als eine komplette Eigenversorgung während der HT-Zeiten angestrebt wurde. Auf Grund der aktuellen Rahmenbedingungen beim Strombezug machen eine gleichmäßige Fahrweise im Teillastbetrieb sinnvoll.

## 2.8. Energiekennwerte, Benchmarks

<u>PARAMETER</u>	<u>EINHEIT</u>	<u>Standardwert</u>	<u>IST-Wert</u>	<u>Zielwert</u>
Aufenthaltszeit (35°C-5%TS)	d	30	30 u.45	20-30
Schlammalter	d	15		
Faulgasanfall (1) bei zul. BB=35gBSB/EW*d	l/EW*d	25 - 30	17	30
Faulgasanfall (2)	kWh/EW-CSB*a	43	17	40
Faulgas (3) als Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg CSB	0,35	0,13	0,35
Faulgas (4) als Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg oTS	0,5 - 0,55	0,3	0,5
Biogasproduktion	m <sup>3</sup> /t input	400	380-390	450-500
Abbauleistung			45 – 69 %	70 %
Stromverbrauch Schlammbeh.	kWh/ EW*a	2,5		
spez. Stromproduktion	kWh/m <sup>3</sup> Gas	2	2	2
Eigenenergieerzeug.	kWh/ EW * a	22 - 25	10,2	25
Eigenenergieversorgungsgrad	%	60	<b>40</b>	99
Heizwert Faulgas	kWh/m <sup>3</sup> Gas	6 - 6,5	6,3	6,3 – 6,5
El.Wirkungsgrad bei Heizwert 6	%	33 - 38	25	40
Raumbelastung	kg oTS/m <sup>3</sup> *d	2,0	FB1 1,22	2,5 – 5,0
In 2008	kg oTS/m <sup>3</sup> *d		FB2 0,37	
bei Hochlast wären möglich	kg oTS/m <sup>3</sup> *d	8 bis 10		
<b>Allgemeine Werte</b>				
Gesamtverbrauch (126.000)	kWh/EW*a	bis 30	24,8	18
Spez. Stromverbr /EWG <sup>1)</sup>	kWh/EWG		0,11	
Spez Stromverbr /EW <sup>1)</sup>	kWh/EW		0,06	

<sup>1)</sup> = aus Eckdaten :12 u. 13

## 2.9. Verbesserung der Gasausbeute / Reduzierung der Klärschlamm-Menge

### a) Thermische Desintegration

Da zwei großzügig dimensionierte Faulbehälter vorhanden sind, besteht außer Hochlastfaulung auch die Möglichkeit, im seriellen Betrieb zwischen FB1 und FB2 eine thermische Desintegration 75 bis 90°C zu schalten.

Bei der Thermischen Desintegration wird der aus dem FB1 abgepumpte Schlamm einer Erhitzung < 100°C unterzogen. Dabei werden die meisten Bakterien weitgehend abgetötet (Pasteurisierung) und Flocken strukturell zerstört.

Dieses pasteurisierte Substrat wird einer sekundären Biozönose im FB2 zur weiteren Ausfäulung verabreicht. Die Biologie des FB 2 wird die pasteurisierte Biomasse schneller und leichter verwerten können, als eine Biomasse mit intakten Zellmembranen.

Die Ausbeuten an Klärgas steigen dabei um 10 bis 20%. In etwa gleicher Dimension reduzieren sich die Mengen des zu entsorgenden Klärschlammes.

Die Entwässerung von thermisch desintegriertem Klärschlamm hat eine höhere Effizienz.

*Nachteile des thermischen Desintegrationsverfahrens*

KLIMASCHUTZKONZEPT FÜR DEN **GEMEINDEVERWALTUNGSVERBAND** DONAUESCHINGEN  
**Teilkonzept: Energieanalyse der Kläranlage Donaueschingen**

Es müssen zusätzliche Wärmetauscher (z.B. <http://www.missbach-gaertner.de/hygienisator.htm>) zum Aufheizen bis 90° und zum Abkühlen im Gegenstrom zur Wärmerückgewinnung installiert werden. Die Wärmetauscher müssen gepflegt und die inkrustierten Anbackungen regelmäßig entfernt werden. Daher müssen die WT schnell und einfach zerlegbar und zu reinigen sein. Die verbleibenden Klärschlämme sind stärker mineralisiert und haben einen geringeren Heizwert, wenn sie einer Verwertung durch Verbrennung zugeführt werden. Die Erhitzung der Schlämme aus dem FB1 führt zu einer teilweisen Dissoziation des Ammoniums zu Ammoniak. Das hat für die sekundäre Biozönose im FB2 den Vorteil eines weiteren C:N-Verhältnis, birgt aber eventuelle Nachteile für die Qualität des Klärgases, das dann eventuell mehr NH<sub>3</sub> als unerwünschtes Nebengas enthält, als die Brennstoffqualitätsnormen der BHKW-Hersteller zulassen. In diesem Fall müsste das in der thermischen Desintegration entstehende ausgestrippte Gasgemisch aus CO<sub>2</sub> und NH<sub>3</sub> mit Ca[SO<sub>4</sub>] (REA-Gips) zu verwertbarem Dünger SO<sub>4</sub> + 2 NH<sub>3</sub> ⇒ (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Der Kalkanteil reagiert mit dem CO<sub>2</sub> zu kohlensaurem Kalk CaCO<sub>3</sub>.

Das so entstehende Kalkammonsulfat ist ein landwirtschaftlich sehr gut verwertbarer Dünger. In der Ökobilanz ist es sinnvoll dem Klärschlamm vor einer Verbrennung die landwirtschaftlich verwertbaren düngewirksamen Bestandteile zu entziehen.

<b>Wirtschaftlichkeit, therm. Desintegration</b>	
Faulschlamm p.a., ca.:	4.500 to/a
Mögliche Einsparung durch vermiedene Entsorgungskosten:	10%
	450 to/a
Entsorgungskosten:	92 €/to
Einsparung, Entsorgungskosten:	41.400 €/a
Strommenge, Faulgas, ca.:	1.081.616 kWh, el./a
Steigerung der Ausbeute:	108.162 kWh, el./a
Strompreis:	0,12982 €/kWh
Einsparung, Stomkosten:	14.042 €/a
Gesamteinsparung:	55.442 €/a
Energieaufwand, Erdgas, ca.:	580.833 kWh/a
Kosten, Erdgas	22.048 €/a
Personalaufwand, Reinigung, ca.	6.144 €/a
Ergebnis, wirtschaftlicher Vorteil:	27.249 €/a
Investition, ca.	245.000 €
Amortisationszeit der Investition:	9,0 Jahre

**b) Optimierte Nutzung der Faulbehälter**

Auf Grund der vorliegenden und relativ niederen FOS:TAC und HAc-Analysenwerte kann davon ausgegangen werden, dass die Ausfäulung der als Substrat eingesetzten Klärschlämme weitgehend vollständig erfolgt. Die Faulbehälter sind mit den errechneten Faulraumbelastungen unterbelastet.

Tabelle: Monatlich durchschnittliche Faulraumbelastung der Faulbehälter

Gärvolumen	2.280 m <sup>3</sup>	2.280 m <sup>3</sup>
2008	Raumbelastung FB1	Faulraumbelastung FB2
Monate	kg oTS/m <sup>3</sup> *d	kg oTS/m <sup>3</sup> *d
Jan 08	0,00	0,00

Feb 08	0,00	0,00
Mrz 08	0,00	0,00
Apr 08	1,91	0,62
Mai 08	1,54	0,54
Jun 08	1,07	0,35
Jul 08	1,23	0,56
Aug 08	1,34	0,57
Sep 08	1,22	0,46
Okt 08	1,17	0,51
Nov 08	1,42	0,53
Dez 08	1,48	0,32
<b>MITTEL Ø</b>	<b>1,38</b>	<b>0,37</b>

Aus der Sicht der Siedlungswasserwirtschaft ist ein ständig unterbelasteter und damit „chronisch-hungriger“ Faulturm ein Reserveleistungs- Betriebssicherheitsfaktor.

Wenn geeignete Biogas bildende Substrate zur Verfügung stehen würden, könnten die vorhandenen hochwertigen Fermentervolumina besser zur Energieerzeugung ausgelastet werden. Mit höherer Faulraumbelastung geht durch die steigende Stoffwechselaktivität und der damit verbundenen Wärmefreisetzung der Biozönose in den Faulbehältern auch der Eigenwärmebedarf der Faulbehälter zurück. Damit würde mehr Nutzwärme für externe Nutzung (z.B. Beheizung des Park-Schwimmbades) frei. Die bisherigen Zukäufe (Bezug von Erdgas H) zur Deckung von Bedarfsspitzen bei Mangel an zur Verfügung stehendem Klärgas könnten so vermindert werden.

### c) Volllastbetrieb des BHKW.

Für einen gleichmäßigen Betrieb ist das BHKW Typ 208 Jenbacher um ca.40 % zu groß dimensioniert. Jedoch wird die elektrische Leistung zu Deckung von Strombedarfsspitzen genutzt. Die Verbrennung des entstehenden Klärgases in dem vorrangig betriebenen ca. 10 Jahre alten BHKW Jenbacher mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 33% entspricht nicht mehr dem Stand der Technik. Gas-Otto-BHKW dieser Leistungsklasse haben heute elektrische Wirkungsgrade von 37 bis 39 %.

Der in der KA Donaueschingen verwendete Rumpfmotor JENBACHER Typ 208 wird heute mit 249 und 330 kW elektrisch und 38,7 bis 39,1 % elektrischem Wirkungsgrad angeboten. Moderne Zündstrahl-BHKW (Mit Pflanzenöl- oder Biodiesel-Zündermengen-Einspritzung von 3-4% des Gesamtenergiebedarfes erreichen diese BHKW (überwiegend Motoren von SCANIA /SCHNELL) nachgewiesen 43 % elektrischen Wirkungsgrad.

Die elektrischen Wirkungsgrade aller BHKW nehmen im Teillastbetrieb exponentiell ab, während die Emissionen insbesondere der unverbrannten Kohlenwasserstoffe wie z.B. Formaldehyd, Partikelruß und Methanschlupf auf Grund der kühleren und unvollständigeren Verbrennung im Verhältnis zur Volllast zunehmen.

Daher ist im Sinne der energetischen Effizienz und zur Emissionsminimierung nur Volllastbetrieb (zwischen 90 bis 100% der möglichen Maximalleistung) sinnvoll.

Das große Gasspeichervolumen von ca. 2.000 m<sup>3</sup> würde den Betrieb in ausschließlich Volllast ermöglichen. Es müsste aber die Nutzwärme in einem Heißwasser-Pufferspeicher gespeichert werden, um Wärmebedarf zeitlich von der Wärmeerzeugung zu entkoppeln.

Wird das Jenbacher-BHKW also mit Volllast an Stelle von Teillast Betrieben, so entstehen ca. 470MWh/a Strom zusätzlich. Diese Strommenge muss derzeit auf Grund der fehlenden Stromproduktion eingekauft werden. Daraus ergibt sich eine theoretisch mögliche Einsparung von ca.61.000 Euro bei aktuellem Strompreis. Wenn die Installation eines Wärmepuffers mit 60m<sup>3</sup> Inhalt ca. 120.000 Euro kostet, hat sich diese Maßnahme in zwei Jahren amortisiert (es sind dann ca. 200m<sup>3</sup> des Gasspeichers als Pendelvolumen zu nutzen, es können ca. 7 Stunden Volllastbetrieb des BHKW erreicht werden)

KLIMASCHUTZKONZEPT FÜR DEN **GEMEINDEVERWALTUNGSVERBAND** DONAUESCHINGEN  
**Teilkonzept: Energieanalyse der Kläranlage Donaueschingen**

Wird dem gegenüber ein kleineres BHKW installiert und so betrieben, dass der komplette Strom selbst genutzt werden kann, so ergibt sich folgende Situation:

<b>neues Zündstrahl-BHKW, 180 kW</b>	
Faulgasanfall:	715.000 m <sup>3</sup> /a 4.504.500 kWh, HU/a
Faulgas-Anteil, neues BHKW:	75%
el. Wirkungsgrad:	41%
Volllaststunden pro Jahr	8.148 Bh Vollast
Stromproduktion:	1.385.134 kWh, el./a
Ertragssteigerung:	221.621 kWh, el./a
Einsparung, Stromeinkauf:	28.771 €/a
Zündstrahlenergie:	118.243 kWh, el./a
Kosten, Zündstrahlenergie:	7.095 €/a
Wirtschaftlicher Vorteil:	21.676 €/a
Investition, ca.	220.000 €
Amortisationszeit der Investition:	10,1 Jahre

Die genannten Investitionsnen sind grobe Schätzkosten ohne Demontage, MWSt. und weiterreichende Einbindearbeiten.

Das kleine BHKW kann nur ca. 75% des Faulgases verarbeiten. Hinzu kommt der Bedarf an Zündstrahlenergie. Daher ist dies Variante erst bei ohnehin fälliger Ersatzbeschaffung sinnvoll. Voraussichtlich stehen in Bälde auch Gas-Otto-BHKW mit 40% elektrischem Wirkungsgrad in dieser Leistungsklasse zur Verfügung. In diesem Fall entfällt die Zündstrahlenergie und die Wirtschaftlichkeit verbessert sich entsprechend.

Das Primäre BHKW hat auf Grund seines Alters von ca. 10 Jahren und seiner hohen Laufleistung von 7.500 Stunden pro Jahr ist hier eine Ersatzbeschaffung in absehbarer Zeit denkbar.

**d) Betrieb von nur einem FB statt 2 FB.**

Für die Einsparung von Pump- und Heizenergie könnte ein Faulbehälter stillgelegt werden. Damit würde sich die Faulraumbelastung auf  $\varnothing$  1,87 kg oTS/m<sup>3</sup>\*d um ca. 35% erhöhen und die mittlere hydraulische Verweilzeit von 30 Tagen auf 19 Tage verkürzen. Die Faulraumbelastung von 1,9 bis 2,5 kg ist problemlos möglich. Lediglich die mittlere hydraulische Verweilzeit von nur 16 bis 20 Tagen ist für eine vollständige Ausfäulung und die stabile Erhaltung des chemostatischen Gleichgewichtes knapp bemessen. Eine solche Maßnahme wäre nur bei verbesserter Entwässerung höhere Trockensubstanzkonzentration im Faulbehälter- Input sinnvoll möglich.

FB-Volumen:	2.280 m <sup>3</sup>	
	nur 1 FB	nur 1 FB
2008	Ø Verweilzeit	Raumbelastung
Monate	TAGE	kg oTS/m <sup>3</sup> *d
Jan 08	20,68	
Feb 08	16,79	
Mrz 08	18,39	
Apr 08	16,55	2,54
Mai 08	18,34	2,08
Jun 08	25,05	1,43
Jul 08	18,51	1,79
Aug 08	19,62	1,90
Sep 08	21,67	1,69
Okt 08	21,83	1,69
Nov 08	17,76	1,95
Dez 08	19,49	1,80
MITTEL	19,56	1,87

Diese Fahrweise birgt eventuell die Gefahr, dass der höher belastete FB zum schäumen neigen könnte (wie in Heidelberg) und die Ausfäulung nicht mehr so vollständig stattfindet. Welche Einsparungen an Pumpenergie dadurch möglich wären kann nur in einem praktischen Versuchsbetrieb ermittelt werden.

**e) Methanschlupf**

Das vorrangig betriebene BHKW Jenbacher Typ 208 hatte bei den zurückliegenden Messungen (DEKRA 2008) der Abgasqualität im Vergleich zu den meisten Biogasanlagen-BHKW hervorragend niedrigere Werte aufgewiesen. Insbesondere im Formaldehyd selbst bei Teillast lagen sie im erlaubten Rahmen nach TA Luft.

Da Formaldehyd als ein Leitindikator für unverbrannte Kohlenwasserstoffe betrachtet werden kann, muss davon ausgegangen werden, dass **kein nennenswerter Methanschlupf** an diesem Motor stattfindet. Bestimmtheit kann in diesem Punkt nur durch eine zumindest orientierende Messung erlangt werden.

Die Messung von unverbranntem Methan oder anderen Kohlenwasserstoffen sind aber kein nach TA-Luft oder nach den Regeln für § 26 BImSchG-Abgasmessungen vorgeschriebener Wert.

Das Thema Methanschlupf an Biogas- und Klärgas-Anlagen beginnt gerade erst in das öffentliche Interesse und das Effizienzbewusstsein der Betreiber zu rücken.

f) **BHKW-Abwärmenutzung**

Bisher wird die BHKW-Abwärme für die Beheizung der Faulbehälter, die Gebäudeheizung und Brauchwasser-Erwärmung genutzt. Diese Nutzung hat ihre Bedarfsspitzen in den Wintermonaten. In den Sommermonaten sind große Anteile der freiwerdenden Abwärme ungenutzt und müssen durch Notkühler an die Atmosphäre vernichtet werden.

Gasleitung und BHKW am PSB

Um die entstehende Abwärme des BHKW-Betriebes besser zu nutzen und weniger Energie des regenerativen Energieträgers Klärgas über Notkühlung vernichten zu müssen, würde es sich anbieten, das Parkschwimmbad über eine drucklose Gasleitung anzubinden und mit der überschüssigen Energie zu versorgen. Dort könnte ein Klein-BHKW mit hohem thermischem Wirkungsgrad und KWK-Bonus für den erzeugten Strom betrieben werden.

Wärmeüberschuss zzgl. verbessertem Wirkungsgrad	276 MW/a
Mögliche Einsparung durch vermiedenen Zukauf Erdgas, PSB:	14.000 Euro
Mögliche Einsparung durch bessere Einspeisebedingungen Strom: (Eigennutzung PSB 17 ct/kWh + KWK-Zuschlag 6 ct/kWh – Strom VKA 14 ct/kWh)	8.200 Euro
Investition Gasleitung + Klein-BHKW, ca.	180.000 €
Amortisationszeit der Investition:	<b>ca. 8,1 Jahre</b>



## 2.10. Zusammenfassung und Möglichkeiten zur Optimierung

### Vergleich der (mittleren) Ablaufwerte

	DWA-Vergleich 2008 (Baden-Württemberg)	KA Donaueschingen (2008)
CSB	22 mg/l	18 mg/l
Ges.N	10,6 mg/l	8,29 mg/l
P <sub>ges</sub>	0,75 mg/l	0,51 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	0,96 mg/l	0,27 mg/l

**Fazit:** Die KA Donaueschingen weist sehr gute Ablaufwerte auf.

### Vergleich des (mittleren) spezifischen Stromverbrauchs

Zulaufmenge (Jahressumme):	8.236.224 m <sup>3</sup>
Summe Strombezug + Eigenerzeugung:	3.163 MWh/a
Spezif. Stromverbrauch je m <sup>3</sup> Abwasser:	0,38 kWh/m <sup>3</sup>
Anschlussgröße Bemessung	a) 128.000 EW
Derzeit angeschlossen	b) 108.000 EW

→ spez. Energieverbrauch  $3.163.000 / 126.000 = 25,1 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})$

Modellanlage NRW (2007)	Baden-Württemberg (2006)	KA Donaueschingen (2008)
25,0 kWh/(EW • a)	31,6 kWh/(EW • a)	a) 21,4 kWh/(EW • a) b) 25,1 kWh/(EW • a)

**Fazit:** Unter der Voraussetzung, dass die vorhandenen Daten und Ausbaugröße als ausreichende Grundlage für diesen Vergleich genutzt werden können, besteht eine gute Energieeffizienz für die KA Donaueschingen. Bei heutiger EW Auslastung von 108.000

Im Anhang sind die detaillierten Stromverbrauchsmengen tabellarisch aufgelistet.

#### Quellen:

Frechen, F.-B. (2007): Aktuelle Energiefragen - Kläranlagen. Vortrag zur Festveranstaltung "25 Jahre Hydroingenieure". Düsseldorf, 11. Oktober 2007

Schwentner, G. (2007): Energiebedarf auf Kläranlagen in Baden-Württemberg - Entwicklungen und Optimierungspotenziale. Online unter: [http://www.dwa-bw.de/nachbar/klaeranlagen/dl/2007\\_energiebedarf\\_auf\\_ka.pdf](http://www.dwa-bw.de/nachbar/klaeranlagen/dl/2007_energiebedarf_auf_ka.pdf)

DWA (2008): 21. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2008. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

Die **biologische Funktion** der Faulbehälter ist anhand der monatlich erfassten Säurewerte als gut zu bezeichnen.

### ***Nutzung freier Reserven in der Faulung und Co-Vergärung***

Bei der Bilanzierung (Raumbelastung) bei den beiden Faulungsanlagen lassen sich aufgrund der Daten Reserven in der Faulbehälterbeschickung (Schlammvolumenstrom und Belastung mit organischer Trockenmasse) vermuten.

Derzeit stehen in der Region keine Quellen für Co-Substrate zur Verfügung, die sich für eine Co-Vergärung gemäß dem *DWA-Merkblatt-M 380 Co-Vergärung* noch nutzen ließen.

### ***Überprüfung des Regelkonzeptes für Schlammaufheizung, Gebäudeheizung und Notkühlkreislauf - BHKW***

Im laufenden Betrieb lässt es sich derzeit nicht vermeiden, dass die Notkühlung des BHKW in Betrieb geht, insbesondere in den Sommermonaten fällt Überschusswärme an.

Abhängig von den eingestellten Vor- und Rücklauftemperaturen im Heizkreis der Faulung, der Gebäudeheizung und dem Kühlkreislauf des BHKW ist häufig ein sehr enger Temperaturbereich eingestellt, der für die einzelnen Reglungs- und Steuerungsvorgänge zur Verfügung steht. Für die Blockheizkraftwerke ist in der Regel eine maximale Rücklauftemperatur von 70 °C vorgegeben. Der Notkühlkreislauf setzt dann meist im Temperaturbereich zwischen 65 °C und 70 °C ein. Sind im Heizkreislauf zu geringe Abnahmen / Spreizungen vorhanden, kann je nach Auslegung der Wärmetauscher der Faulung die Rücklauftemperatur auf das oben benannte Niveau ansteigen, obwohl noch ein Wärmebedarf besteht und die Notkühlung setzt ein. Neben Wärmeverlusten aus der Wärmeproduktion kann dann sogar der Betrieb einer Zusatzheizung mit Erdgas oder das in Kauf nehmen einer geringeren Faulraumtemperatur erforderlich sein. Die Verteilung der Erdgasbezugsmengen zeigt jedoch, dass dies hier nicht der Fall ist.

### ***Leistungssteigerung der Eigenstromerzeugung durch andere Motorentechiken in Zukunft***

Damit der Zukauf von Erdgas reduziert oder vermieden werden kann ist eine Möglichkeit zur Steigerung der Eigenstromerzeugung auch im Einsatz von zukünftigen Gasmotoren mit einem höheren elektrischen Wirkungsgrad, u.A. Motoren nach dem ORC-Prinzip oder anderen Neuentwicklungen zu dem jeweiligen Zeitpunkt zu sehen. Zu beachten ist, dass mit der Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades eine Senkung des thermischen Wirkungsgrades bedingt sein kann. Eine parallele Betrachtung und Bilanzierung des Wärmebedarfs und der Wärmeproduktion ist daher erforderlich.

## **3. Stromverbrauch**

Der Gesamtstromverbrauch beträgt 3.160 MWh pro Jahr. Davon werden 1.275 MWh pro Jahr mit den BHKW-Anlagen selbst erzeugt. 1.885 MWh pro Jahr werden zugekauft. Damit liegt die Eigenbedarfsdeckung bei 40%.

Der Stromverbrauch teilt sich folgendermaßen auf die Verteilerbereiche auf:

Biologie:	2.640 MWh/a
Maschinenhaus:	322 MWh/a
Kammerfilterpresse:	198 MWh/a

KLIMASCHUTZKONZEPT FÜR DEN **GEMEINDEVERWALTUNGSVERBAND** DONAUESCHINGEN  
**Teilkonzept: Energieanalyse der Kläranlage Donaueschingen**

Die größten Stromverbraucher teilen sich folgendermaßen auf:

<u>Ifd.-Nr.:</u>	<u>MKZ</u>	<u>Benennung:</u>	<u>P max. (kW)</u>	<u>Bemerkung:</u>	<u>Jahressumme Bh</u>	<u>Leistungsaufnahme</u>
<b>Verdichter, Belebtecken</b>						<b>1.512.690</b>
8	TV2AV01	Verdichter 2 BB	160		7.923	920.849
2	TV1AV01	Verdichter 1 BB	160		5.092	591.840
<b>Schlammrückführung</b>						<b>460.818</b>
70	RP1AP01	Schneckenpumpe 1 RFPW	30	mit Bypass	8.749	156.444
73	RP1AP02a	Schneckenpumpe 2a RFPW	30	mit Bypass	543	9.711
76	RP1AP02b	Schneckenpumpe 2b RFPW	30	mit Bypass	7.752	138.612
79	RP1AP03	Schneckenpumpe 3 RFPW	30		8.727	156.051
<b>Zwischenpumpwerk</b>						<b>313.849</b>
49	ZP1AP04	Kreiselpumpe 4 Zwischenpumpwerk	50		6.485	215.920
50	ZP1AP05	Kreiselpumpe 5 Zwischenpumpwerk	50		1.391	46.326
51	ZP1AP06	Kreiselpumpe 6 Zwischenpumpwerk	50		519	17.293
46	ZP1AP01	Kreiselpumpe 1 Zwischenpumpwerk	7,5		3.477	19.298
47	ZP1AP02	Kreiselpumpe 2 Zwischenpumpwerk	7,5		2.705	15.013
<b>Rührwerke Biologie</b>						<b>111.668</b>
58	BB1AR01.I	Rührwerk 1 DN-Zone Str.1links	2,2	Marechale-Stecker	8.735	14.004
63	BB2AR01	Rührwerk 1 DN-Zone Str. 2 rechts	2,2	Marechale-Stecker	8.733	14.000
64	BB2AR02	Rührwerk 2 DN-Zone Str. 2 rechts	2,2	Marechale-Stecker	8.733	14.000
65	BB2AR03	Rührwerk 3 DN-Zone Str. 2 rechts	2,2	Marechale-Stecker	8.731	13.997
60	BB1AR03.I	Rührwerk 3 DN-Zone Str.1links	2,2	Marechale-Stecker	8.729	13.994
66	BB2AR04	Rührwerk 4 DN-Zone Str. 2 rechts	2,2	Marechale-Stecker	8.728	13.992
61	BB1AR04.I	Rührwerk 4 DN-Zone Str.1links	2,2	Marechale-Stecker	8.727	13.990
59	BB1AR02.I	Rührwerk 2 DN-Zone Str.1links	2,2	Marechale-Stecker	8.539	13.690
<b>Räumer, Nachklärbecken</b>						<b>109.162</b>
102	NK1AH01	Nachklärbeckenräumer 1	8		7.264	35.831
103	NK2AH01	Nachklärbeckenräumer 2	8		7.100	35.023
104	NK3AH01	Nachklärbeckenräumer 3	8		7.766	38.308
<b>Rezirkulation, Belebtecken</b>						<b>90.279</b>
55	BB1AP01.r	Tauchp.1 Rezi Str.2 rechts	6,5	Marechale-Stecker	8.727	45.202
53	BB1AP01.l	Tauchp.1 Rezi Str.1 links	6,5	Marechale-Stecker	8.703	45.077
<b>Umwälzung, Faulbehälter</b>						<b>81.541</b>
53	FB2AP02	Umwälzpumpe Faulbehälter 2	7,5	mit Sperrwasser	8.706	40.798
52	FB1AP02	Umwälzpumpe Faulbehälter 1	7,5	mit Sperrwasser	8.694	40.742
<b>Polypumpe</b>						<b>51.429</b>
37	PA1AP02	Polypumpe	44	FU	1.738	51.429
<b>Faulschlammumwälzung</b>						<b>40.881</b>
70	HZ1AP01	Umwälzpumpe Wärmetau. Schlamm	3,5	Heizung	8.500	20.441
71	HZ1AP2	Umwälzpumpe Wärmetau. Schlamm	3,5	Heizung	8.500	20.441
<b>Sandfang</b>						<b>40.026</b>
24	SF1AV01	Drehkolbengebläse 1 Sandfang	7,5	FU soll kommen	8.541	40.026
<b>Frischschlammzuführung</b>						<b>36.254</b>
34	FS1AP02	Frischschlammpumpe 2	15	Monopumpe/Exzenterschn.	3.881	36.254

### 3.1. Turboverdichter

Die vorhandenen Turboverdichter können derzeit nicht im Wirkungsgradoptimum betrieben werden, da die benötigte Luftmenge im Durchschnitt bei ca. 80% der Leistungsfähigkeit eines einzelnen Verdichters liegt. Somit muss zumeist ein Verdichter im unteren Leistungsspektrum betrieben werden. Die Nachrüstung der Aggregate mit Vorleitapparaten könnte zwar den Wirkungsgrad auch im Teillastbereich optimieren. Nach Aussage des Herstellers ist jedoch bei den vorhandenen Geräten eine Nachrüstung technisch nicht möglich. Daher bleibt als Alternative die Neubeschaffung passend ausgelegter und entsprechende ausgerüsteter Verdichter. Im ersten Schritt kann einer der Verdichter durch einen entsprechend größeren ersetzt werden. Dadurch wird der größte Teil der Luftmenge abgedeckt.

<b>Neuinvestition, Verdichter</b>	
Stromverbrauch, IST	1.500.000 kWh, el./a
Wirkungsgradverbesserung, ca.	8%
Stromeinsparung	120.000 kWh, el./a
davon Eigenstrom:	48.000 kWh, el./a
Vergütung, Überschuss:	0,04583 €/kWh
Verkaufswert:	2.200 €/a
davon Fremdstrom:	72.000 kWh, el./a
Strompreis:	0,12982 €/kWh
Kosteneinsparung:	9.347 €/a
Gesamtvorteil:	11.547 €/a
Investition, 1 Verdichter + Einbindung	110.000 €
Amortisationszeit der Investition:	9,5 Jahre

### 3.2. Belüftersituation

Es sind derzeit 2384 Stück keramische Belüfterkerzen installiert. Auslegungsgrundlage ist die Behandlung von 148.000 EWG. Die derzeitige Anlagenauslastung beträgt 85%. Somit ist derzeit ausreichend Reserve vorhanden, um einen guten Sauerstoffeintrag bei geringem Druckverlust zu gewährleisten. Grundsätzlich weisen die keramischen Belüfterkerzen im Vergleich zu anderen Systemen den geringsten Druckverlust und damit die beste Energieeffizienz auf. Hier wird daher kein Ansatz für eine verbesserte Energieeffizienz gesehen.

Nach Aussage des Wartungsunternehmens bestehen jedoch mechanische Beschädigungen an den Belüfterkerzen. Daher sollte der Austausch beschädigter Kerzen bei der nächsten Revision vorgesehen werden.

### 3.3. Schlammrückführung

Die Schneckenpumpen der Schlammrückführung sind bereits regelbar und wurden mit einer Übersetzung für den erforderlichen Leistungsbereich ausgestattet. Die Betriebsweise entspricht dem Stand der Technik. Einsparpotenzial besteht bei Einsatz moderner Hocheffizienzmotoren:

<b>Motoraustausch, Schlammrückführung:</b>	
Stromverbrauch, IST	450.000 kWh, el./a
Einsparpotenzial	5%
Stromeinsparung	22.500 kWh, el./a
davon Eigenstrom:	9.000 kWh, el./a
Vergütung, Überschuss:	0,04583 €/kWh
Verkaufswert:	412 €/a
davon Fremdstrom:	13.500 kWh, el./a
Strompreis:	0,12982 €/kWh
Kosteneinsparung:	1.753 €/a
Gesamtvorteil:	2.165 €/a
Investition, 3 Motoren á 30 kW	31.500 €
Amortisationszeit der Investition:	14,5 Jahre

### 3.4. Zwischenpumpwerk

Die großen Kreiselpumpen des Zwischenpumpwerkes sind mit konventionellen Elektromotoren ausgerüstet. Vorrangig betrieben wird die Pumpe 4 mit 50kW Anschlussleistung. Daher stellt diese einen Ansatzpunkt für Hocheffizienzmotortechnik dar. Die Wirkungsgradverbesserung dieser Motorenklasse liegt im Optimalfall bei ca. 5%. Damit ergibt sich folgendes Bild:

<b>Motoraustausch, Kreiselpumpe 4</b>	
Stromverbrauch, IST	215.000 kWh, el./a
Einsparpotenzial	5%
Stromeinsparung	10.750 kWh, el./a
davon Eigenstrom:	4.300 kWh, el./a
Vergütung, Überschuss:	0,04583 €/kWh
Verkaufswert:	197 €/a
davon Fremdstrom:	6.450 kWh, el./a
Strompreis:	0,12982 €/kWh
Kosteneinsparung:	837 €/a
Gesamtvorteil:	1.034 €/a
Investition	14.000 €
Amortisationszeit der Investition:	13,5 Jahre

### 3.5. Rührwerke, Biologie

Es sind insgesamt acht Rührwerke zu je 2,2kW installiert. Alle Rührwerke laufen voll ausgelastet. Die kleine Motorgröße macht einen Motorentausch wirtschaftlich uninteressant. Es ist jedoch bei einer Ersatzbeschaffung auf eine effiziente Motortechnik zu achten.

<b>Motoraustausch, Rührwerksmotoren:</b>	
Stromverbrauch, IST	110.000 kWh, el./a
Einsparpotenzial	5%
Stromeinsparung	5.500 kWh, el./a
davon Eigenstrom:	2.200 kWh, el./a
Verkaufswert:	101 €/a
davon Fremdstrom:	3.300 kWh, el./a
Kosteneinsparung:	428 €/a
Gesamtvorteil:	529 €/a
Investition, 8 Motoren á 2,2 kW	17.600 €
Amortisationszeit der Investition:	33,3 Jahre

### 3.6. Räumler, Nachklärbecken

Es sind drei Räumler mit je 8 kW Anschlussleistung installiert. Auch diese Antriebe haben naturgemäß eine sehr hohe Betriebsstundenzahl. Ähnlich wie bei den Rührwerken ist jedoch auch hier die Motorgröße nicht geeignet für einen wirtschaftlichen Austausch.

### 3.7. Rezirkulationspumpen

Es sind zwei Tauchpumpen mit je 6,5 kW Anschlussleistung und Frequenzumformer installiert. Durch die vorhandene Regelungsmöglichkeit können diese im energetisch optimalen Bereich betrieben werden.

### 3.8. Umwälzpumpen Faulbehälter

Es sind zwei Sperrwasserpumpen mit je 7,5 kW Anschlussleistung. Auch diese Antriebe haben naturgemäß eine sehr hohe Betriebsstundenzahl. Ähnlich wie bei den Rührwerken ist jedoch auch hier die Motorgröße nicht geeignet für einen wirtschaftlichen Austausch.

### 3.9. Polypumpe

Es ist eine Pumpen mit 44 kW Anschlussleistung und Frequenzumformer installiert. Durch die vorhandene Regelungsmöglichkeit kann diese im energetisch optimalen Bereich betrieben werden.

### 3.10. Sandfangbelüftung

Die Sandfangbelüftung ist mit Frequenzumformer stufenlos regelbar. Es wird ein Gebläse mit 7,5kW Leistung betrieben. Der Betrieb wird dem aktuellen Bedarf angepasst:

## 4. Thermische Situation

Die wesentliche Menge thermischer Energie steht als Abwärme der BHKW-Anlagen zur Verfügung. Es werden nur ca. 230 m<sup>3</sup> Erdgas für die Heizkessel eingesetzt. Dies ist ca. 1% der gesamten Thermischen Energie und wird bei besonders kalter Witterung zur Deckung von Leistungsspitzen benötigt.

Es ergibt sich daher derzeit keine wirtschaftliche Grundlage zur Reduktion des Wärmeverbrauchs.

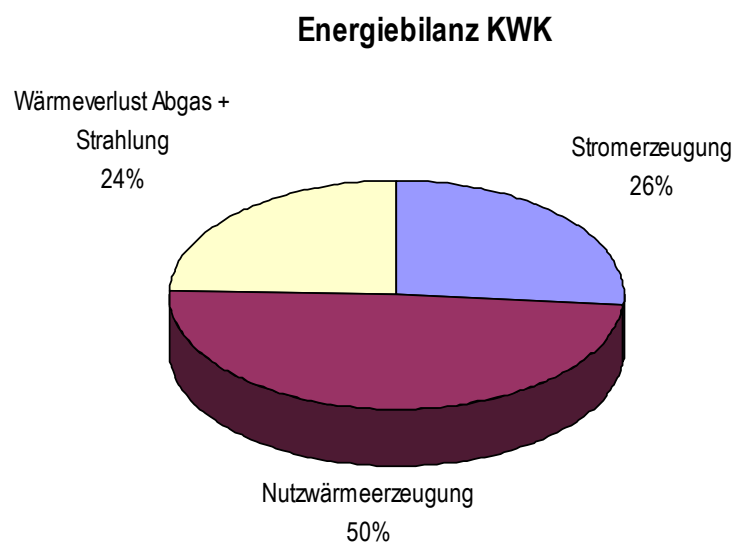
Die thermischen Energieverbraucher teilen sich in unterschiedliche Gebäude mit Heizwärmebedarf sowie die Faultürme als Prozesswärmeverbraucher auf.

### 4.1. Energieerzeugung

Auf der Grundlage der aufgezeichneten Energiedaten, insbesondere des in den Gasmotoren erzeugten Stroms sowie der Leistungsdaten der installierten Maschinen wird die erzeugte Menge thermischer Energie ermittelt.

Der auf den Heizwert bezogene Energieeinsatz in Form von Faul- und Erdgas beträgt 4 Mio. kWh pro Jahr. Auf das Faulgas entfällt hierbei ein Anteil von 90%.

Die in den Gasmotoren (BHKWs) umgewandelte Energie teilt sich folgendermaßen auf.



**Abbildung 2: Energiebilanz der BHKWs (Heizwert bezogen)**

Damit werden jährlich ca. 2,5 Mio. kWh im Heizungssystem nutzbarer thermischer Energie erzeugt. Hinzu kommt noch die von den Heizkesseln erzeugte Energie. Die von den BHKWs erzeugte Strahlungsabwärme beträgt ca. 575.000 kWh pro Jahr und sorgt für hohe Innentemperaturen in der Maschinenhalle.

## 4.2. Nutzwärmeverbrauch

Über das Heizungssystem werden folgende Verbraucher mit Wärme versorgt:

- Faultürme: Wärmeverlust und Frisch-/Dickschlammaufheizung
- Schlammhalle
- Betriebsgebäude und Werkstatt
- Rechengebäude
- Dusch-Warmwasser

Die Überschüssige Wärme wird über einen Tischkühler auf dem Betriebsgebäude ungenutzt abgegeben.

### ▪ **Faultürme**

Auf Grundlage der Auslegungsdaten der Faultürme sowie der umgesetzten Schlammengen ergibt sich der Wärmebedarf folgendermaßen:

Heizenergie zum Ausgleich des Wärmeverlustes:

Neuer Faulturm: 170.000 kWh/a

Alter Faulturm: 250.000 kWh/a

Heizenergie zur Aufheizung des zugeführten Schlammes:

Frischschlamm: 680.000 kWh/a

Dickschlamm: 460.000 kWh/a

Insgesamt werden ca. 1,5 Mio. kWh Heizenergie pro Jahr benötigt.

### ▪ **Schlammhalle**

Die Schlammhalle beinhaltet die Kammerpresse zur Schlammmentwässerung und ist in zwei Ebenen aufgeteilt. Im EG (ca. 2.400m<sup>3</sup>) befindet sich die Containerstation zur Aufnahme des gepressten Schlammes. Hier ist nur eine geringe Temperaturanforderung von 5°C erforderlich. Die Beheizung erfolgt über zwei Luftheizgeräte. Betriebsbedingt ist durch lange Öffnungszeiten der Sektionaltore mit starkem Luftwechsel zu rechnen.

Im OG (ca. 1.700m<sup>3</sup>) ist die eigentliche Presse und das Büro des Anlagenpersonals. Hier werden 15°C Raumtemperatur für die Arbeitsumgebung benötigt. Es sind ebenfalls Luftheizgeräte sowie einige Heizkörper installiert.

Auf Grundlage der Gebäudegeometrie und der Temperaturanforderungen ergibt sich folgender Heizwärmebedarf:

EG: 14.000 kWh/a

OG: 165.000 kWh/a



## ▪ **Betriebsgebäude und Werkstatt**

Das Betriebsgebäude wurde ursprünglich 1968 errichtet und in den 80er Jahren um einen Anbau erweitert. Die beheizten Gebäudeteile beinhalten Büroräume, das Labor und den Werkstattbereich. Diese Räume werden auf ca. 20°C beheizt.

Auf Grundlage der Gebäudegeometrie und der Temperaturanforderungen ergibt sich folgender Heizwärmebedarf:

Betriebsgebäude: 196.000 kWh/a

## ▪ **Rechengebäude**

Der Energiebedarf im Rechengebäude bezieht sich auf das frostfrei und damit betriebsbereit Halten der Anlage.

Auf Grundlage der Gebäudegeometrie ergibt sich folgender Heizwärmebedarf:

Entschwefelung: 6.500 kWh/a

## ▪ **Warmwasserbereitung für Duschen**

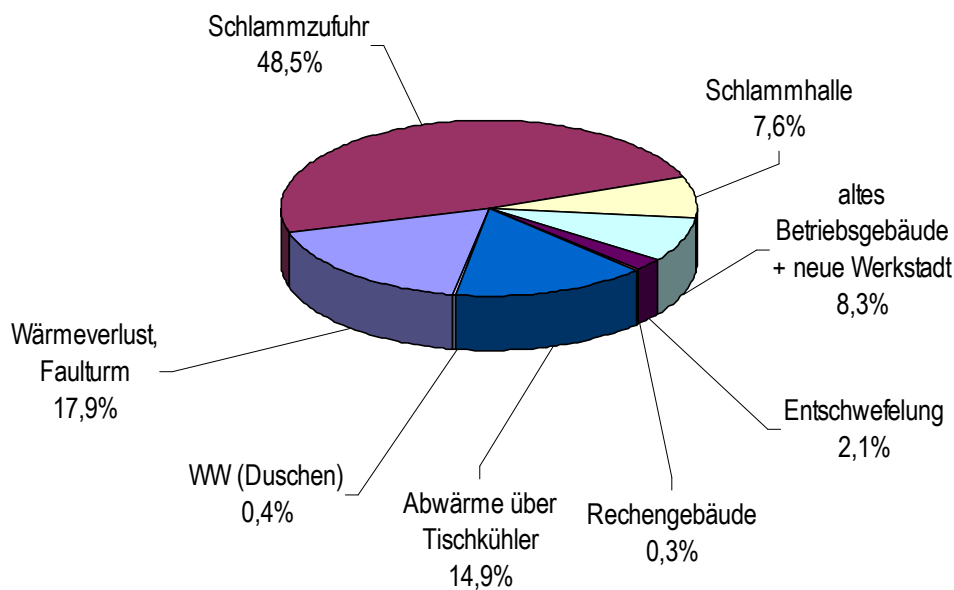
Der Warmwasserbedarf für das Duschen von vier Mitarbeitern ist zu decken. Das entspricht ca. 160 Litern Warmwasser pro Tag. Einschließlich der Bereitstellungsverluste des Warmwasserbereiters ergibt sich folgender Heizwärmebedarf:

Warmwasserbereitung: 9.000 kWh/a

## ▪ Zusammenfassung

Die Überschüssige Wärme wird über einen Tischkühler auf dem Betriebsgebäude ungenutzt abgegeben. Dieser ist mit einem Wärmemengenzähler ausgestattet. Die durchschnittliche Wärmeabgabe betrug in den letzten Jahren ca. 350.000 kWh/a.

### Nutzwärmeverbrauch: 2.355.000 kWh



**Abbildung 3: Nutzwärmeverbrauch**

So werden rund zwei Drittel der eingesetzten Nutzwärme für den Betrieb der Faultürme benötigt. Dieser verteilt sich fast gleichmäßig über das komplette Jahr. Der Bedarf ist im Sommer nicht wesentlich geringer. Die übrigen Wärmeverbraucher sind reine Heizwärmeverbraucher während der Heizperiode. Durch den Tischkühler wird ganzjährig überschüssige BHKW-Abwärme abgegeben.