



Klärwerk Rastede

Energiebilanzierung

Zum Förderantrag



Stand: 17. Mai 2016

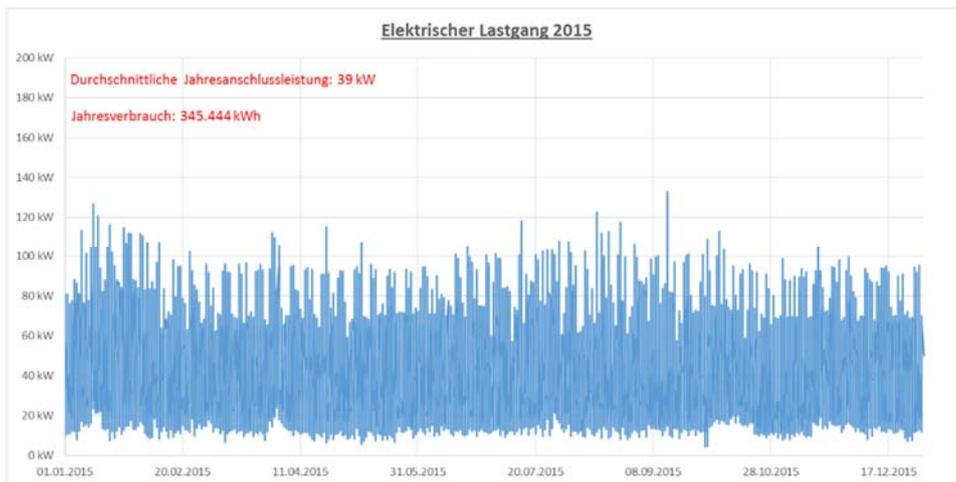
INHALTSVERZEICHNIS

1.	Analyse der elektrischen Verbraucher.....	3
1.1.	Elektrischer Lastgang und Jahresverbrauch 2015.....	3
1.2.	Elektrische Verbraucher der Faulurmanlage.....	3
1.3.	Jahresdauerlinie der elektrischen Verbraucher.....	4
2.	Analyse der thermischen Verbraucher.....	4
2.1.	Auswertung der Gasverbrauchswerte.....	4
2.2.	Thermische Verbraucher der Neuanlagen.....	5
2.2.1.	Maschinenhalle.....	6
2.2.2.	Klärschlamm- und Faulurmheizung.....	6
2.2.3.	Gasaufbereitung.....	7
2.3.	Jahresdauerlinie der thermischen Verbraucher.....	7
3.	Analyse der Energieerzeugung.....	8
3.1.	Klärgasgewinnung.....	8
3.2.	Betrieb Blockheizkraftwerk.....	8
4.	Analyse der Energieströme.....	8
4.1.	Eigennutzung und Netzbezug von elektrischer Energie.....	8
4.2.	Deckungsbeitrag thermische Energie und Gasverbrauch.....	9
5.	Bewertung der Energieströme.....	10
5.1.	Primärenergiebewertung.....	10
5.2.	CO ₂ -Bilanzierung.....	11
6.	Anmerkungen zu den Berechnungen.....	12
7.	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	12

1. Analyse der elektrischen Verbraucher

1.1. Elektrischer Lastgang und Jahresverbrauch 2015

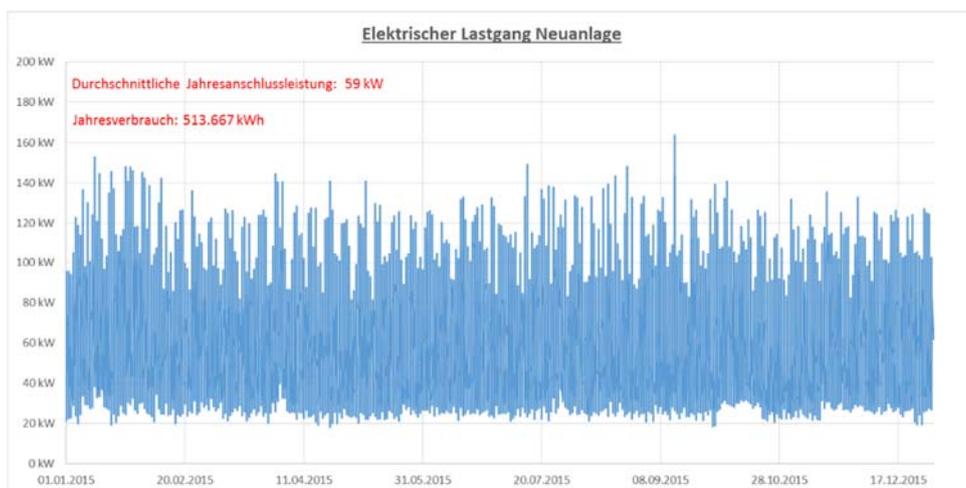
Durch den Energieversorger wird der Lastgang der elektrischen Versorgung des Klärwerkes aufgezeichnet. Zur Auswertung des elektrischen Verbrauchs wurden diese Daten in tabellarischer Form der Gemeinde Rastede für das Jahr 2015 zur Verfügung gestellt und führen zu folgenden Lastgang:



Durchschnittsleistung: 39 kW
 Jahresverbrauch: 345.444 kWh

1.2. Elektrische Verbraucher der Faulturmanlage

Bei der Faulturmanlage handelt es sich um einen Betriebsteil der neu errichtet werden soll. Demzufolge kann zur Analyse der elektrischen Verbräuche nicht auf zurückliegende Verbrauchszahlen zugegriffen werden. Jedoch sind die für den späteren Betrieb der Anlage notwendigen Aggregate und Anlagenteile aus der Planung bekannt. Zusammen mit Erfahrungsberichten aus baugleichen Vergleichsanlagen ist somit die Aufstellung eines Tageslastganges in Berücksichtigung von angenommenen Betriebszeiten für die Neuanlage möglich. Bei Addition des Lastgangs aus dem Jahr 2015 mit den Lastgangwerten der Neuanlage ergibt somit folgendes Diagramm:

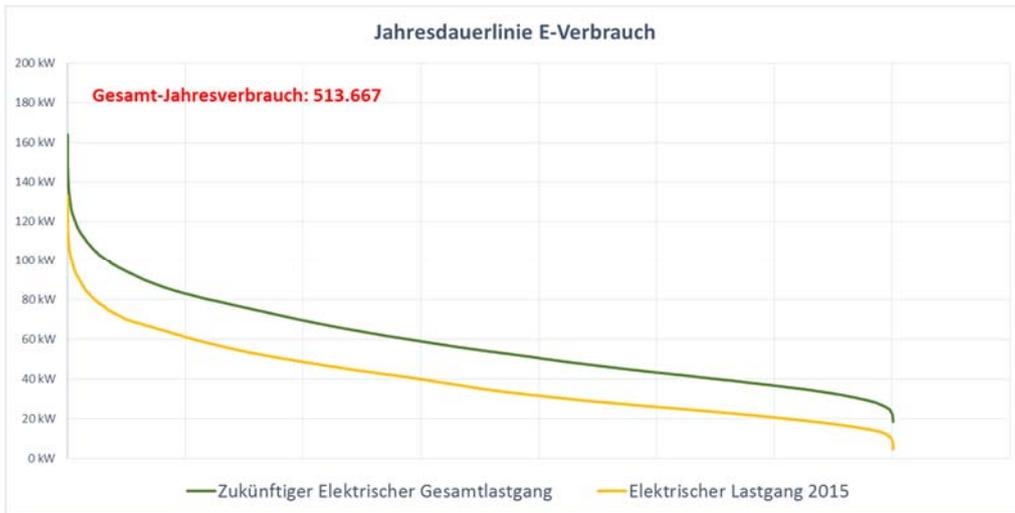


Durchschnittsleistung: 59 kW
 Jahresverbrauch: 513.667 kWh

1.3. Jahresdauerlinie der elektrischen Verbraucher

Zur Ermittlung der bezogenen und eingespeisten Energiemengen in und aus dem öffentlichen Stromnetz, sind die relevanten Energieverbrauchszahlen aus Kapitel 1.1. und 1.2. in eine Jahresdauerlinie zu überführen.

Die Jahresdauerlinie stellt den Lastgang der Größe nach geordnet dar. Die Kurve beginnt mit der größten und endet mit der kleinsten Anschlussleistung. Zur Gesamtbewertung der auf dem Klärwerksge-lände verbrauchten, elektrischen Energie sind die Einzelleistungen aus den Kapiteln 1.1. und 1.2., wie im folgenden Diagramm dargestellt, zu addieren:



2. Analyse der thermischen Verbraucher

Auf dem Gelände des Klärwerks Rastede sind zwei Bestandsgebäude und ein Maschinengebäude sowie der Faulturm als thermische Verbraucher zu berücksichtigen.

2.1. Auswertung der Gasverbrauchswerte

Die durch das Betreiberpersonal des Klärwerks aufgezeichneten Gasverbrauchswerte der Einzelgebäude bilden die Grundlage für den thermischen Energieverbrauch.

Um eine Aussage für die zukünftigen Jahre treffen zu können, müssen die Verbrauchszahlen um den Einfluss des Wetters bereinigt werden. Dieses erfolgt durch eine Mittelwertbildung aller Verbrauchszahlen der Jahre 2010 bis 2015.

Bei der Energiebilanzierung sind die Verbräuche für die Gebäudebeheizung und der Warmwasserbereitung zu unterscheiden. Bei dem Warmwasserbereitungsverbrauch handelt es sich um einen Sockelverbrauch, der gleichbleibend über alle Monate vorliegt und von dem Verbrauch der Gebäudebeheizung abzuziehen ist.

Das „Betriebsgebäude alt“ wird auch zukünftig mit der bereits vorhandenen Heiztherme beheizt werden.

Das Zentrifugengebäude sowie das „Betriebsgebäude neu“ werden zukünftig durch die bereitgestellte Heizenergie der neuen Heizzentrale versorgt. Um den thermischen Verbrauch der Gebäude ermitteln zu können, sind die ermittelten Verbrauchszahlen um den Wirkungsgrad der vorhandenen Heizanlagen zu bereinigen. Hierzu sind die Wirkungsgrade der Feuerstätten aus den Messprotokollen des Schornsteinfegers zu entnehmen und mit den Werten der Gebäude zu verrechnen.

Für die weiteren Berechnungen ist der Verbrauch der Gebäude in kWh anzugeben. Hierzu müssen die Verbrauchszahlen mit einer Zustandszahl, die Volumenänderungen des Gases bedingt durch Druck und Temperaturschwankungen ausgleicht, multipliziert werden.

Weiterhin sind die Werte mit dem Energiegehalt des Erdgases zu bewerten. Hierbei sind die Gebäude, die zukünftig über die Heizzentrale versorgt werden, mit dem Heizwert zu bewerten, da es sich bei den bisherigen Heizanlagen um Geräte handelt, die nicht im Brennwertbereich arbeiten. Der Einfluss der veralteten Heiztechnik wird heraus gerechnet und nur noch das Gebäude beurteilt.

Das „Betriebsgebäude alt“ ist mit dem Brennwert zu beurteilen, da die Heizanlage weiterhin betrieben wird und auch zukünftig über den Energieversorger der Brennwert abgerechnet werden wird. Somit wird auch weiterhin der Wirkungsgrad der Feuerstätte bei der Beurteilung des Gebäudes berücksichtigt.

Es ergeben sich folgende Werte für die weitere Berechnung:

Mittelwertbildung 2010-2015	Betriebsgebäude neu		Betriebsgebäude alt		Zentrifugegebäude	
	Heizung	WWB	Heizung	WWB	Heizung	WWB
Jahresverbrauch	3.735 m ³	1.944 m ³	1.578 m ³	23 m ³	1.367 m ³	0 m ³
Zustandszahl	0,9683	0,9683	0,9683	0,9683	0,9683	0,9683
Heizwert	8,834 kWh/m ³	8,834 kWh/m ³	8,834 kWh/m ³	8,834 kWh/m ³		
Brennwert					9,805 kWh/m ³	9,805 kWh/m ³
Energieverbrauch	31.953 kWh	16.633 kWh	13.495 kWh	194 kWh	12.981 kWh	0 kWh

2.2. Thermische Verbraucher der Neuanlagen

Bei der Erweiterung des Klärwerks durch die Faulturmanlage, die Klärgasaufbereitung und die Heizzentrale sind bei der Energiebilanzierung neben der Bestandsgebäudeheizung folgende zusätzliche thermische Verbraucher zu berücksichtigen:

- Klärschlammheizung: 75 kW_{th}
- Klärgasaufbereitung: 2 kW_{th}
- Statische Heizung Maschinenhalle: 5 kW_{th}

Da es sich hierbei um eine noch zu errichtende Neuanlage handelt, kann die Verbrauchsanalyse nicht auf Grundlage von zurückliegenden Verbrauchswerten aufgestellt werden. Jedoch liegen Auslegungswerte und Berechnungen vor, die zur Energiebilanzierung herangezogen werden können.

Bei den oben aufgeführten Leistungsangaben handelt es sich um die Auslegungswerte des jeweiligen Verbrauchers. Somit ist mit dieser Heizleistungsaufnahme bei Normauslegungsaußentemperatur nach DIN EN 12831 zu rechnen. Diese liegt für Rastede bei -10 °C.

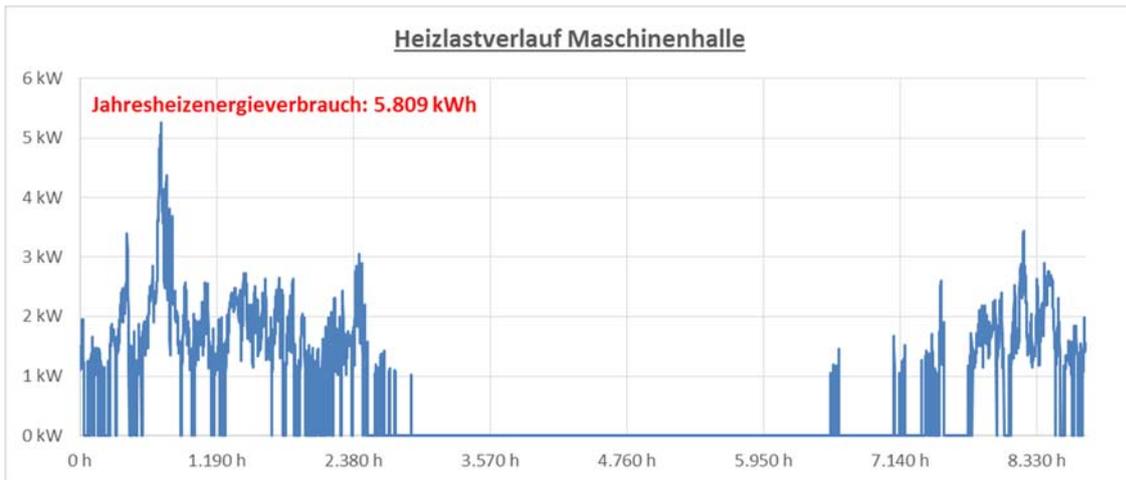
Zur Bilanzierung des Jahresheizenergiebedarfs sind Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes zu verwenden. Hierbei wurden stündlich ermittelte Außentemperaturen über 30 Jahre gemittelt und für 15 Wetterregionen in Deutschland als Referenzjahr festgelegt. Rastede ist der Wetterregion 1 zuzuordnen.

Zur Ermittlung der Heizteillasten bei Temperaturen unterhalb der Normauslegungstemperatur ist mit einem Belastungsgrad zu rechnen. Dieser stellt, wie im Folgenden aufgeführt, eine Beziehung zwischen Außentemperatur und Heizlast her.

$$\text{Belastungsgrad} = (\text{Innentemperatur} - \text{Außentemperatur}) / (\text{Innentemperatur} - \text{Normaußentemperatur})$$

2.2.1. Maschinenhalle

Die Maschinenhalle wird zur Unterbringung von Anlagenteilen der Faulturmanalage und der Heizzentrale errichtet. Dementsprechend ist dieses Gebäude nur auf eine Innenraumtemperatur von 10°C zu beheizen. Durch die untergebrachte Technik wird in das Gebäude eine Heizleistung durch Abwärme eingebracht. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Außentemperatur von 6 °C das Gebäude allein durch die Abwärme auf eine Raumtemperatur von 10°C geheizt wird. Somit sind alle Jahresstunden mit einer Außentemperatur unterhalb 6 °C als Heizperiode zu berücksichtigen und führen zu folgendem Jahresheizlastverlauf:

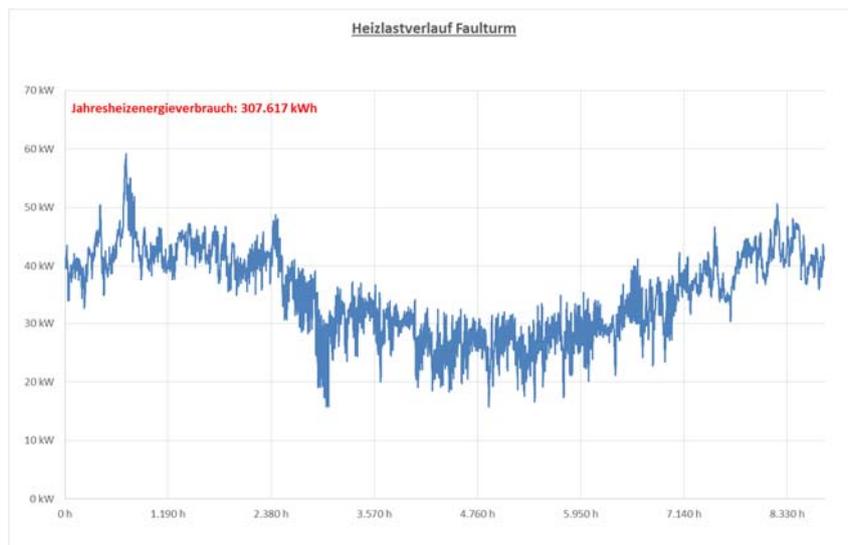


2.2.2. Klärschlamm- und Faulturmheizung

Zur Berechnung der Jahresheizenergie des Faulturms und der Klärschlammheizung ist die Wärmebedarfsrechnung des Büros Börjes heranzuziehen. Demnach sind folgende Werte zu berücksichtigen:

- Auslegungs-Außentemperatur: -15 °C
- Faulturminnenraumtemperatur: 39 °C
- Wärmebedarf bei Auslegung: 1.400 kWh/d

Wie vorher beschrieben wird über den Belastungsgrad, auf Grundlage der Wetterdaten ein Heizlastprofil wie folgt erstellt:

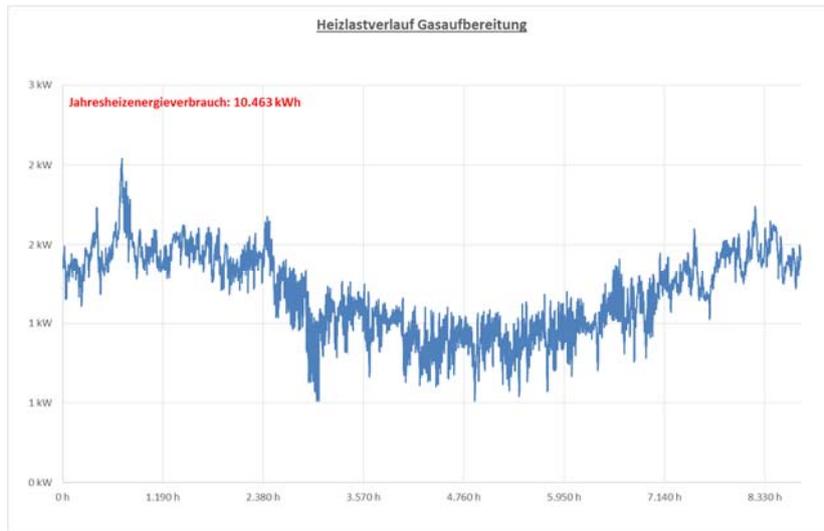


2.2.3. Gasaufbereitung

Zur Berechnung der Jahresheizenergie der Gasaufbereitung sind die Auslegungsdaten des Herstellers heranzuziehen. Demnach sind folgende Werte zu berücksichtigen:

Auslegungsleistung: 2 kW
 Gasaustrittstemperatur: 38 °C

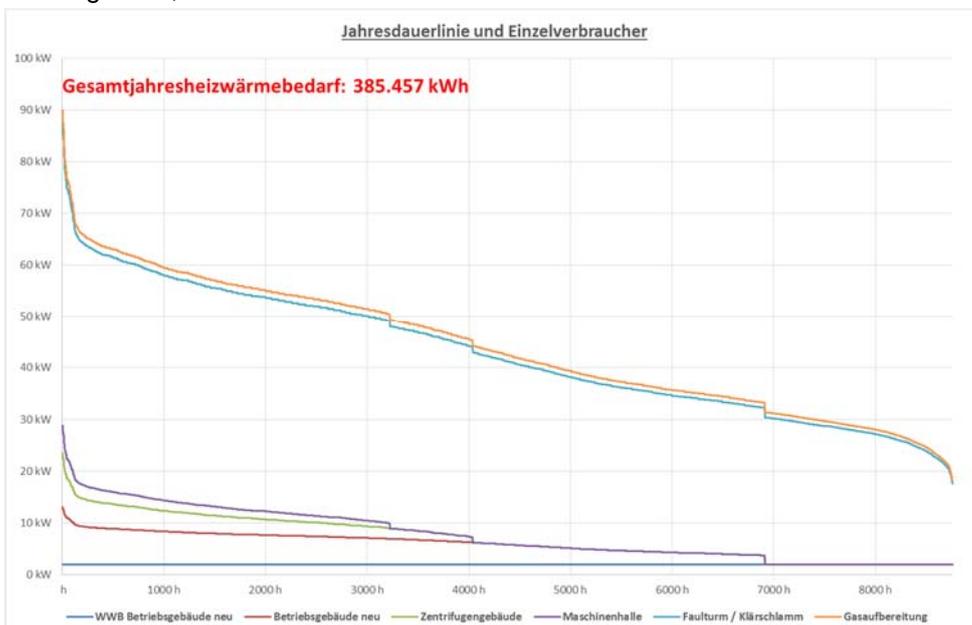
Wie vorher beschrieben wird über den Belastungsgrad, auf Grundlage der Wetterdaten und der ermittelten Tagesdauerleistung, ein Heizlastprofil wie folgt erstellt:



2.3. Jahresdauerlinie der thermischen Verbraucher

Zur Ermittlung des thermischen Deckungsbeitrages des Blockheizkraftwerkes sind die relevanten Heizenergieverbrauchszahlen aus Kapitel 2.1. und 2.2. in eine Jahresdauerlinie zu überführen.

Die Jahresdauerlinie stellt Heizteillasten der Größe nach geordnet dar. Die Kurve beginnt mit der größten und endet mit der kleinsten Heizlast. Die Warmwasserbereitung wird mit einer Dauerleistung als Sockelbetrag über das ganze Jahr dargestellt. Zur Gesamtbewertung, der auf dem Klärwerksgelände verbrauchten Heizenergie, sind die Einzelleistungen aus den Kapiteln 2.1. und 2.2., wie im folgenden Diagramm dargestellt, zu addieren:



3. Analyse der Energieerzeugung

3.1. Klärgasgewinnung

Bei Inbetriebnahme der Faulurmanlage sind folgende, energetisch relevante Werte für die Bewertung der Klärgasgewinnung zu berücksichtigen:

Angeschlossene Einwohnerwerte: 21.000
 Gasanfall gemittelt: 450 m³/d
 Heizwert: 6,5 kWh/m³

3.2. Betrieb Blockheizkraftwerk

Um einen stabilen und möglichst effizienten Betrieb des Blockheizkraftwerkes zu erzielen, sind Stillstandzeiten des Moduls zu vermeiden. Somit ist die Modulleistung auf die Klärgasproduktion abzustimmen, um einen durchgängigen Betrieb zu erreichen. Dies führt unter Berücksichtigung der unter Punkt 3.1. beschriebene Klärgasproduktion zu folgender Tagesdauerleistung:

$$\begin{aligned}
 (\text{Gasanfall} \times \text{Heizwert}) / 24 \text{ Stunden} &= \text{Tagesdauerleistung} \\
 (450 \text{ m}^3/\text{d} \times 6,5 \text{ kWh/m}^3) / 24 \text{ h} &= 122 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Es sind folgende Werte aus dem technischen Datenblatt des Blockheizkraftwerkes zu berücksichtigen:

Gesamtwirkungsgrad: 85,5 %
 Elektrischer Wirkungsgrad: 31,4 %
 Thermischer Wirkungsgrad: 54,1 %

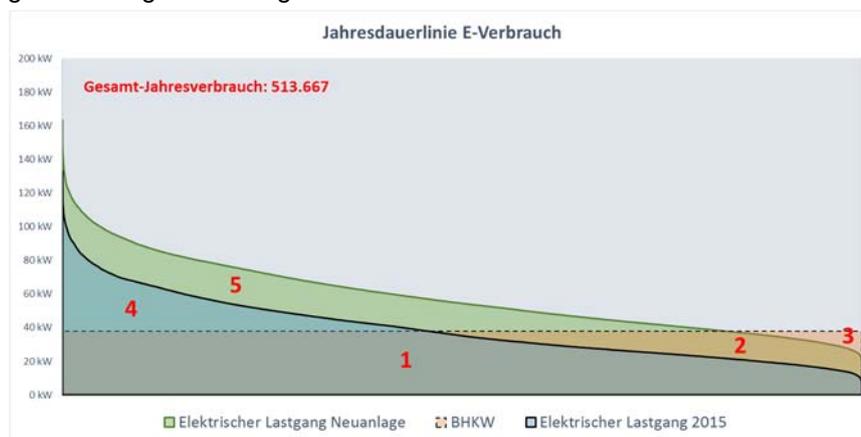
Hieraus ergeben sich folgende, zu erwartende Leistungen:

$$\begin{aligned}
 \text{Thermische Dauerleistung} &= 122 \text{ kW} \times 0,541 = 66 \text{ kW}_{\text{th}} \\
 \text{Elektrische Dauerleistung} &= 122 \text{ kW} \times 0,314 = 38 \text{ kW}_{\text{el}}
 \end{aligned}$$

4. Analyse der Energieströme

4.1. Eigennutzung und Netzbezug von elektrischer Energie

Zur Ermittlung der eigengenutzten und der aus dem Stromnetz bezogenen sowie in das Stromnetz eingespeisten, elektrischen Energiemengen ist die in Kapitel 3.2. ermittelte elektrische Dauerleistung des Blockheizkraftwerkes als Sockelleistung über die in Kapitel 1.3. aufgestellte Jahresdauerlinie zu legen. Es ergibt sich folgendes Diagramm:



Zur Auswertung des Diagramms sind die Schnittmengen der Grafen zu bewerten. Somit ergeben sich folgende Einzelenergiemengen:

Fläche 1 - 3	Erzeugte elektrische Energie durch den Betrieb des BHKWs	332.870 kWh
Fläche 1, 2, 4, 5	Zukünftiger Gesamt-Jahresverbrauch	513.667 kWh
Fläche 1, 4	Gesamt-Jahresverbrauch 2015	345.444 kWh
Fläche 2, 5	Gesamt-Jahresverbrauch Neuanlage	168.223 kWh
Fläche 1, 2	Zukünftiger BHKW-Eigennutzungsanteil	325.081 kWh
Fläche 3	Zukünftige Einspeisung in das öffentliche Netz	7.789 kWh
Fläche 4, 5	Zukünftiger Energiebezug aus dem öffentlichen Netz	188.586 kWh

4.2. Deckungsbeitrag thermische Energie und Gasverbrauch

Zur Ermittlung des thermischen Deckungsbeitrages des Blockheizkraftwerkes ist die in Kapitel 3.2. ermittelte thermische Dauerleistung des Blockheizkraftwerkes als Sockelleistung über die in Kapitel 2.3. aufgestellte Jahresdauerlinie zu legen.

Bei der Auswertung sind folgende Anlagenteile zu berücksichtigen:

- **Heizwärme aus BHKW (BHKW-Nutzwärme)**
Hierbei handelt es sich um die Wärmemenge, die bei Betrieb des Blockheizkraftwerkes zur Beheizung der angeschlossenen Heizungsverbraucher genutzt werden kann.
- **Rückkühler (ungenutzte Abwärme)**
Auf Grund des Dauerbetriebes des Blockheizkraftwerkes zur Klärgasverbrennung, wird auch Wärmeenergie außerhalb der Heizperiode erzeugt. Diese ist zur Motorkühlung des Blockheizkraftwerkes über einen Rückkühler an die Außenluft abzuführen.
- **Heizwärme aus Gas-Kessel (Spitzenlastkessel)**
Spitzenheizlasten, die bei sehr tiefen Außentemperaturen in den angeschlossenen thermischen Verbrauchern entstehen, haben eine Anlagengesamtleistung zur Folge, die oberhalb der durch das Blockheizkraftwerk erzeugten Heizleistung liegt. Aus diesem Grund ist das Heizleistungsdefizit durch einen Spitzenlastkessel bereitzustellen.



5. Bewertung der Energieströme

5.1. Primärenergiebewertung

Klärgas

Der Primärenergiefaktor von 0,0 für Klärgas ergibt sich aus der spezifischen Betrachtung thermischer Abfallbehandlungsanlagen. Die aus diesen Anlagen erzeugten erneuerbaren Brennstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass keine energetischen Ressourcen aufgebraucht werden. Deshalb kann das Klärgas den erneuerbaren Brennstoffen, der Tabelle A.1 aus der DIN V 18599-1: 2011-12, gleichgesetzt werden. Erzeugte Brennstoffe aus thermischen Abfallverwertungsanlagen dürfen mit dem Primärenergiefaktor 0,0 bilanziert werden.

Somit ist die durch das Blockheizkraftwerk erzeugte elektrische wie auch thermische Energie mit einem Primärenergiefaktor von 0,0 zu bewerten.

Strombezug

Ab den 01.01.2016 ist nach ENEV 2014 der aus dem öffentlichen Netz bezogene Strom mit einem Primärenergiefaktor von 1,8 zu bewerten. Hierbei wird der Strommix im öffentlichen Netz aus regenerativ und konventionell erzeugter Energie berücksichtigt.

Eine positivere Bewertung durch einen Bezug von rein regenerativ erzeugtem Strom kann nur erfolgen, wenn die Erzeugung dieser Energie in einen direkten örtlichen Zusammenhang mit dem Verbrauch gebracht werden kann. Dies ist bei der durch das Klärwerk in Rastede aus dem öffentlichen Netz bezogenen Energie nicht möglich und hat zur Folge, dass mit dem Faktor des öffentlichen Netzes zu rechnen ist.

Verdrängungsstrom

Die elektrische Energie, die auf dem Klärwerksgelände nicht direkt verbraucht werden kann, wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Diese Energiemenge trägt somit zur öffentlichen Stromversorgung bei und wird bei der konventionellen Energieerzeugung eingespart. In diesem Zusammenhang wird von einem Verdrängungsstrom gesprochen, der nach einer Primärenergiebewertung mit dem Faktor von 2,8 nach ENEV 2014 als Gutschrift abgezogen werden kann.

Erdgasbezug

Nach ENEV 2014 ist der Erdgasverbrauch mit einem Primärenergiefaktor von 1,1 zu bewerten. Hierbei werden Transportverluste zur Bereitstellung des Gases bis zum Verbrauchsort energetisch berücksichtigt. Dieser Wert ist ein brennwertbezogener Faktor. Aus diesem Grund ist dieser für den Bezug auf den Heizwert nach DIN V 18599-1 umzurechnen.

Die erdgasbezogene Heizwärmebereitstellung für die Gebäude des Klärwerks Rastede erfolgt zum Einen durch die Heizwerttherme des „Betriebsgebäudes alt“ und zum Anderen durch den Brennkessel der Heizzentrale. Somit sind für die weiteren Berechnungen folgende Primärenergiefaktoren zu beachten:

Heizwertkessel: Heizwertbezogener Primärenergiefaktor =
(Betriebsgebäude alt) Pri.-Faktor ENEV 2014 / Umrechnungsfaktor Erdgas = $1,1 / 1,11 = \underline{0,99}$

Brennwertkessel: Pri.-Faktor ENEV 2014 = 1,1
(Heizzentrale)

Zur Ermittlung des Gesamtprimärenergieverbrauchs sind die Verbrauchszahlen des Klärwerks in folgender Weise zu bewerten:

Verbrauch	Kapitel- Querverweis	Wert	Faktor	Primärenergie- Verbrauch
<u>2015</u>				
Strom-Netzbezug	4.1	345.444 kWh	1,8	621.799 kWh
Erdgasverbrauch	2.1	61.761 kWh	0,99	61.143,39 kWh
			Summe:	<u>682.942 kWh</u>
<u>Zukünftig</u>				
Stromnetzbezug	4.1	188.586 kWh	1,8	339.454 kWh
Netzeinspeisung	4.1	7.789 kWh	- 2,8	-21.809 kWh
Erdgasverbrauch (Bestand)	2.1	13.689 kWh	0,99	13.552 kWh
Erdgasverbrauch (Neuanlage)	4.2	1.381 kWh	1,1	1.519 kWh
			Summe:	<u>332.716 kWh</u>

5.2. CO₂-Bilanzierung

Bei der CO₂-Bilanzierung werden die Verbräuche mit dem CO₂-Äquivalent bewertet. Dieser gibt die Masse des bei der Verbrennung eines Stoffes frei werdenden Kohlendioxids an. Bei der Stromgewinnung sind daher die Stromanteile der einzelnen Energieerzeugungsarten, die in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden, zu beachten, um dann das Gesamt-CO₂-Äquivalent für den Strommix berechnen zu können.

Hieraus ergeben sich für weitere Berechnungen folgende, relevante Kennwerte:

Strommix:	595 g/kWh
Erdgas:	202 g/kWh

Die Verbrauchswerte des Klärwerks zur CO₂-Bilanzierung sind in folgender Weise zu bewerten:

Verbrauch	Kapitel- Querverweis	Wert	Faktor g/kWh	CO ₂ - Emission
<u>2015</u>				
Strom-Netzbezug	4.1	345.444 kWh	595 g/kWh	205 t
Erdgasverbrauch	2.1	61.761 kWh	202 g/kWh	12 t
			Summe:	<u>217 t</u>
<u>Zukünftig</u>				
Stromnetzbezug	4.1	188.586 kWh	595 g/kWh	112 t
Netzeinspeisung	4.1	7.789 kWh	-595 g/kWh	4 t
Erdgasverbrauch	2.1	15.070 kWh	202 g/kWh	3 t
			Summe:	<u>119 t</u>

6. Anmerkungen zu den Berechnungen

Den Berechnungen zu thermischen Verbräuchen liegen gemittelte Verbrauchswerte und Wetterdaten des Deutschen-Wetter-Dienstes zu Grunde. Dabei handelt es sich um über 30 Jahre gemittelte Außentemperaturen eines Referenzjahres. Der tatsächliche Betrieb kann deshalb bei abweichenden Wetterlagen zu höheren oder niedrigeren Verbrauchswerten führen.

Die elektrischen Energieverbräuche zum Betrieb der Faulturmanlage beruhen auf Schätzwerten und Annahmen. Somit können die Verbrauchswerte des tatsächlichen Betriebes abweichen.

Weiterhin wurde zur Berechnungen der Energieerzeugung durch das BHKW ein Brennwert für das Klärgas angenommen. Im tatsächlichen Betrieb kann es zu Schwankungen bei der Zusammensetzung des Gases kommen. Somit ist auch bei den zu erwartenden Energieliefermengen aus dem BHKW-Betrieb mit Abweichungen zu rechnen. Diese Abweichungen haben dann einen direkten Einfluss auf den Energiebezugswert aus dem öffentlichen Stromnetz.

7. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Berechnungen und Verbrauchsanalysen zeigen, dass durch die Erweiterung der Kläranlagentechnik durch den Bau der Faulturmanlage und den Betrieb des BHKWs, eine jährliche CO₂-Einsparung von 98 t theoretisch realisierbar ist. Das Ergebnis aus dem tatsächlichen Betrieb kann jedoch abweichen, da die Berechnungen auf Mittelwerten und witterungsbereinigten Verbrauchszahlen basieren.

Aufgestellt: Bremen, den 17. Mai 2016

v+w ingenieurplanung

i. A. Björn Tadken