Projekt-Nr. P21-016

Vorgangs-Nr. 566308

Datum: 04.11.2022

Rückmeldung zur Datenabfrage der THM über die geplante Vergärungsanlage am Kompostwerk Rabenau

Vorbemerkung: Alle Angaben beziehen sich auf eine Auslegungsgröße der Anlage von 42.000 $t_{Bioabfall.}$ Zum jetzigen Zeitpunkt liegt die Behandlungsmenge unterhalb der Auslegungsgröße. Zudem unterliegt der Bio- und Grüngutanfall jahreszeitlichen Schwankungen. Bei allen Angaben sind Schwankungen in einer Größenordnung von bis zu 20 % zu berücksichtigen.

1 Qualifizierung der drei Stoffströme

1.1 Biogas

Nachfolgend ist der Jahresgang der Biogasproduktion (Abbildung 1) dargestellt. Datengrundlage der Anlagenberechnung ist eine Behandlungsmenge von 42.000 $t_{Bioabfall}$, die Anlieferungscharakteristik des Kompostwerks Rabenau des Jahres 2020 und eine angenommene Biogasausbeute von 110 Nm³/t. Die Gasproduktion schwankt über das Jahr zwischen 4.852 und 6.600 Nm³/d. Die durchschnittliche Gasproduktion beträgt 6.016 Nm³/d und in Summe entstehen über das Jahr 2.189.721 Nm³.

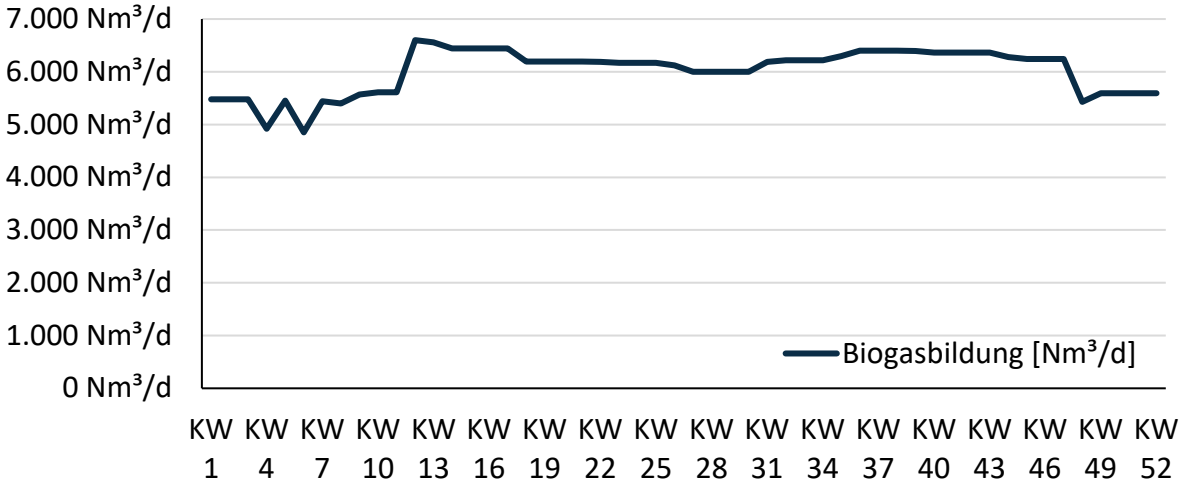


Abbildung 1: Biogasproduktion im jahreszeitlichen Verlauf

Der Methangehalt des produzierten Biogases schwankt. Biogas aus Bioabfall erzeugt in einem Pfropfenstromfermenter weist üblicherweise einen Methangehalt von 54 % bis 58 % auf. Maßgeblich ist neben der Betriebsweise das Gasbildungspotential des Inputmaterials.

Die durchschnittliche Biogaszusammensetzung nach Entschwefelung einer vergleichbaren Vergärungsanlage ist nachfolgend aufgeführt.

Tabelle 1: Ø-Biogaszusammensetzung nach Entschwefelung

Kohlenstoffdioxid	($CO_{2)}$	36,0%
Sauerstoff	(O_2)	0,9%
Stickstoff	($N_{2)}$	8,5%
Methan	(CH_4)	54,4%
Wasserstroff	(H_2)	0,3%
Summe		100%

Der Heizwert des Biogases ist abhängig vom Methangehalt und errechnet sich nach der folgenden Formel:

$$H_{Biogas} = x_{CH4} * H_{CH4} \; mit \; H_{CH4} = 36 \, {}^{MJ}/_{m^3}$$

Bei der Aufbereitung des Biogases zu Biomethan auf Erdgasqualität variiert der Methangehalt des Produktgases in Abhängigkeit zum gewählten Aufbereitungsverfahren. Die Aminwäsche, das Membranverfahren und die Druckwechseladsorption haben sich etabliert. Die wichtigsten Eigenschaften der Verfahren sind nachfolgend gegenübergestellt. Den größten Methananteil im Produktgas erreicht das Verfahren der Aminwäsche mit 98 , wobei 99,9 Prozent des im Rohgas enthaltenen Methans in das Produktgas überführt werden, sodass ein Methanschlupf von nur 0,1 % verbleibt. Das Membranverfahren und die Druckwechseladsorption weisen mit 0,5 % beziehungsweise bis zu 2 % einen größeren Methanschlupf auf. Durch den Verbleib des Restmethans im Schlechtgasstrom muss dieser thermisch nachbehandelt werden.

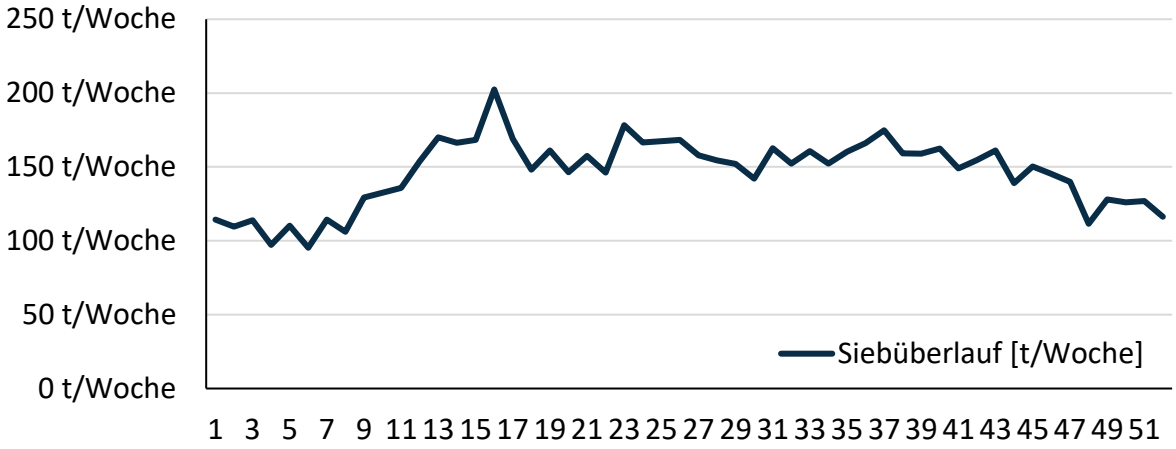
Tabelle 2: Übersicht Biomethanaufbereitung

Parameter	**Aminwäsche**	**Membranverfahren**	**Druckwechsel-adsorption**
Methananteil	97 – 98 %	97 %	95,4 %
Methanertrag	99,9 %	99,5 %	> 98 %
Methanschlupf	0,1 %	0,5 %	< 2%
Verbrauchsstoffe	Aktivkohle, Aminlösung	Aktivkohle	
Stromverbrauch	0,12 kWh/Nm³ Biogas	0,3 kWh/Nm³ Biogas	0,25 kWh/Nm³ Biogas
Wärmeverbrauch	0,6 kWh/Nm³ Biogas	0 kWh/Nm³ Biogas	0 kWh/Nm³ Biogas
Investitionskosten	Hoch	Mittel	Mittel

Sonstiges	-	RTO erforderlich	RTO erforderlich

1.2 Siebüberlauf

Im Zuge der Kompostfeinaufbereitung entsteht Siebüberlauf, der nicht als Kompost vermarktet werden kann. Gemäß Anlagenberechnung unter den bekannten Rahmenbedingungen (42.000 $t_{Bioabfall}$, Anlieferungscharakteristik 2020) fallen jährlich 7.593 t Siebüberlauf an. Die Kompostfeinaufbereitung erfolgt chargenweise immer mit dem Austrag eines Rottetunnels, sodass die Entstehung von Siebüberlauf mit der Auslastung der Kompostierung korreliert. Der Anfall von Siebüberlauf im jahreszeitlichen Verlauf ist nachfolgend dargestellt. Der wöchentliche Anfall von Siebüberlauf liegt zwischen 95 t und 202 t. Im Mittel entstehen 146 t/Woche.



Die Kompostfeinaufbereitung dient der Einhaltung der Qualitätsanforderungen an den Kompost. Darüber hinaus wird durch den Einsatz von Sortiertechnik der Siebüberlauf von Störstoffen entfrachtet, sodass dieser als Strukturmaterial wieder in der Rotte eingesetzt werden kann. Wie oft das Material erneut eingesetzt wird hängt davon ab, inwiefern sich Störstoffe im Kreislaufmaterial anreichern. Durch die Nutzung der aufbereiteten Siebüberläufe als Kreislaufmaterial kann die Verfügbarkeit für eine andere Nutzung nur abgeschätzt werden.

Nutzvolumen Rottetunnel:	$390\ m^3$
Volumenanteil Strukturmaterial:	$30\ \%$
Strukturmaterial je Tunnelfüllung:	$390\ m^3 * 30\% = 117\ \mathrm{m}^3$
Dichte Strukturmaterial:	$0{,}4\ {}^{t}/_{m^3}$
Menge Strukturmaterial je Tunnel	$117\ m^3 * 0{,}4\ {}^{t}/_{m^3} = 46{,}8\ \mathrm{t}$
Anzahl Tunnel:	16
Erforderliche Menge Strukturmaterial	$16 * 46{,}8\ \mathrm{t} = 748{,}5\ \mathrm{t}$
Jahresmenge Siebüberlauf	$7.593\ t$

Restmenge Sieüberlauf $7.593\ \text{t} - 748{,}5\ \text{t} = 6.844{,}5\ \text{t}$

Bei zeitgleicher Belegung aller 16 Rottetunnel beträgt die gesamte erforderliche Menge Strukturmaterial 748,5 t. Unter Annahme eines jährlichen Austauschzyklus des Kreislaufmaterials verbleiben 6.844,5 t Siebüberlauf. Die Entscheidung über das Austauschintervall muss betriebsseitig getroffen werden, sodass eine Verschlechterung der Kompostqualität durch die Anreicherung von Störstoffen ausgeschlossen wird. Mit jedem Austausch des Strukturmaterials reduziert sich die verbleibende Menge Siebüberlauf.

Tabelle 3: Qualität Siebüberlauf aus der Kompostaufbereitung

Parameter	**Erwartetes Parameterspektrum**
Wassergehalt	25 bis 50 %
Heizwert$_{roh}$	5.000 bis 8000 J/g
Aschegehalt	15 – 30 %
Chlor	0,2 bis 0,5 %
Schwefel	0,2 bis 0,5 %

1.3 Grünschnitt

Die Jahresmenge Grünschnitt beträgt 4.000 t bis 6.000 t. Nachfolgend ist eine für Grünschnitt typische Anlieferungscharakteristik dargestellt, skaliert auf die Mindestjahresmenge von 4.000 t/a.

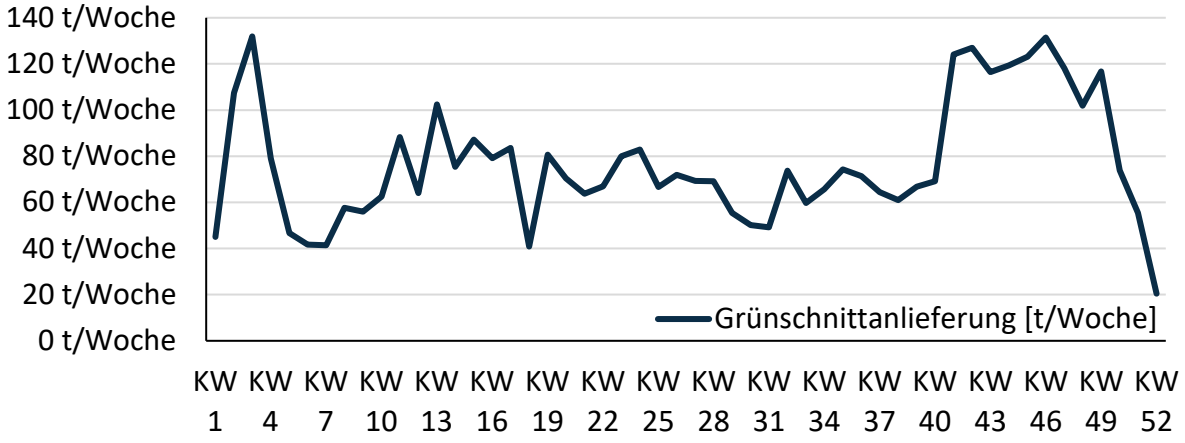


Abbildung 2: Beispielhafte Anlieferungscharakteristik Grünschnitt 4.000 t/a

Die Abschätzung der Qualität des Grünschnitts in Bezug auf Wassergehalt und Heizwert erfolgt anhand von Analyseergebnissen aus vergleichbaren Projekten.

Tabelle 4: Qualität des Grünschnitts

Parameter	**Erwartetes Parameterspektrum**

Wassergehalt	30 bis 40 %
Heizwert	9.000 bis 12.000 J/g
Aschegehalt	5 bis 10 %
Chlor	0,1 bis 0,2 %
Schwefel	0,1 bis 0,2 %

Zur Vorkonditionierung des Grünabfalls wird üblicherweise eine Zerkleinerung mit nachgeschalter Siebung des Materials vorgenommen. Durch die Wahl des passenden Siebschnitts wird der Grünabfall in eine holzige und eine krautige Fraktion geteilt. Erfahrungsgemäß liegt der holzige Anteil bei ca. 20 % des Siebinputs. Die krautige Fraktion eignet sich für die Kompostierung und die holzige Fraktion aufgrund des erhöhten Heizwerts für eine thermische Verwertung. Durch die Lagerung des holzigen Materials wird eine Trocknung bewirkt und der Heizwert weiter gesteigert.

2 Eigenverbräuche der Kompostierungs- und Vergärungsanlage

In den nachfolgenden Kapiteln ist der elektrische und der Wärmeenergiebedarf der zukünftigen Anlage aufgeführt. Die Ansätze stammen aus vergleichbaren Anlagen und wurden auf die bisherige Anlage übertragen. Die dargestellten Daten und Verbräuche sind daher als Anhaltswerte zu sehen und spiegeln nicht die tatsächlichen Werte der zukünftigen Anlage wieder.

Bei der Ermittlung der verfügbaren elektrischen Energie und der Wärmeenergie wurde davon ausgegangen, dass das innerhalb einer Woche produzierte Biogas in derselben Woche verstromt bzw. zu Wärme umgewandelt wird. Weitere Rahmenbedingungen wie beispielsweise die Möglichkeit Gas in einem Gasspeicher zwischenzuspeichern, die Verstromung an den Lastgang und Verbrauch der Anlage anzupassen, eine mögliche Stromproduktion mittels einer PV-Anlage, eine Verstromung zu Zeiten mit hoher Vergütung wurden nicht berücksichtigt sowie die Möglichkeit einer sekundären Wärmequelle. Ebenfalls wurde nicht berücksichtigt, dass zeitweise mehr Strom oder mehr Wärme benötigt wird und zeitweise mehr elektrische Energie bzw. Wärme erzeugt wird, als abgenommen werden kann.

2.1 Elektrische Energie

Die Ermittlung des Stromverbrauchs erfolgt anhand der Bilanzierung einer Anlage mit vergleichbarem Standortkonzept. Als Bezugsgröße für die Skalierung der ermittelten Werte wurde die Behandlungskapazität gewählt.
Der Gesamtstromverbrauch der Anlage über den Zeitraum eines Jahres beträgt 2.412,9 MWh. Der Verbrauch schwankt zwischen 161,4 MWh und 244 MWh je Monat und liegt im Mittel bei 201,1 MWh.

Tabelle 5: Stromverbrauch der Gesamtanlage ohne Berücksichtigung erzeugter Energie

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Verbrauch [MWh]	213,3	161,4	198	204,1	236,1	244	212,6	193,3	183,3	177,3	165,6	223,9
Ø-Verbrauch je Tag [MWh]	6,9	5,8	6,4	6,8	7,6	8,1	6,9	6,2	6,1	5,7	5,5	7,2

Nachfolgend ist der Lastgang eines Tages (Abbildung 3) bzw. einer Woche (Abbildung 4) des Spitzenmonats Juni dargestellt. Die minimale Lastabnahme über den abgebildeten Zeitraum beträgt 117 kW und die maximale 468 kW. Weiter wurde der wochenscharfe Stromverbrauch über den Verlauf eines Jahres ermittelt (Abbildung 5).

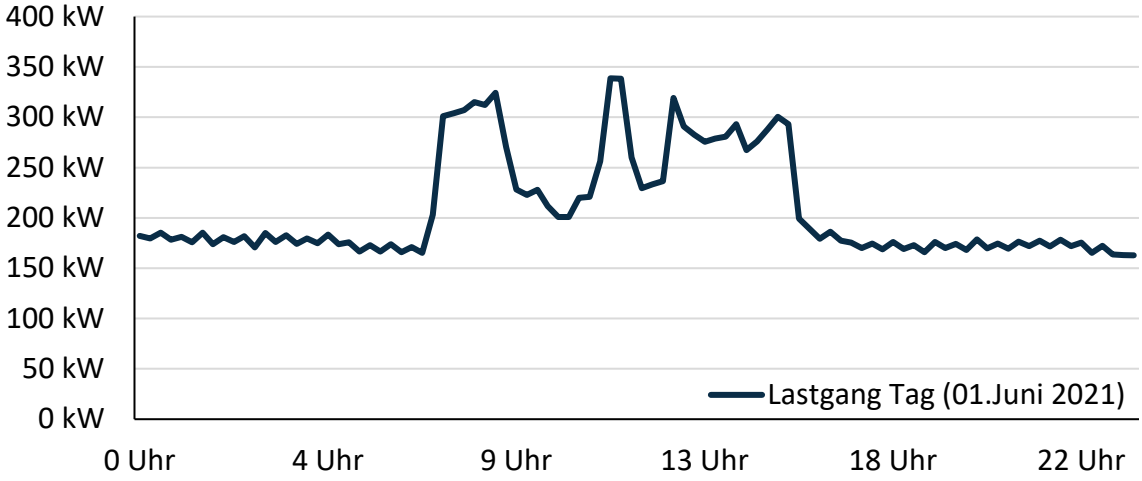


Abbildung 3: Lastgang der Kompostierungs- und Vergärungsanlage über den Zeitraum eines Tages im Spitzenmonat Juni

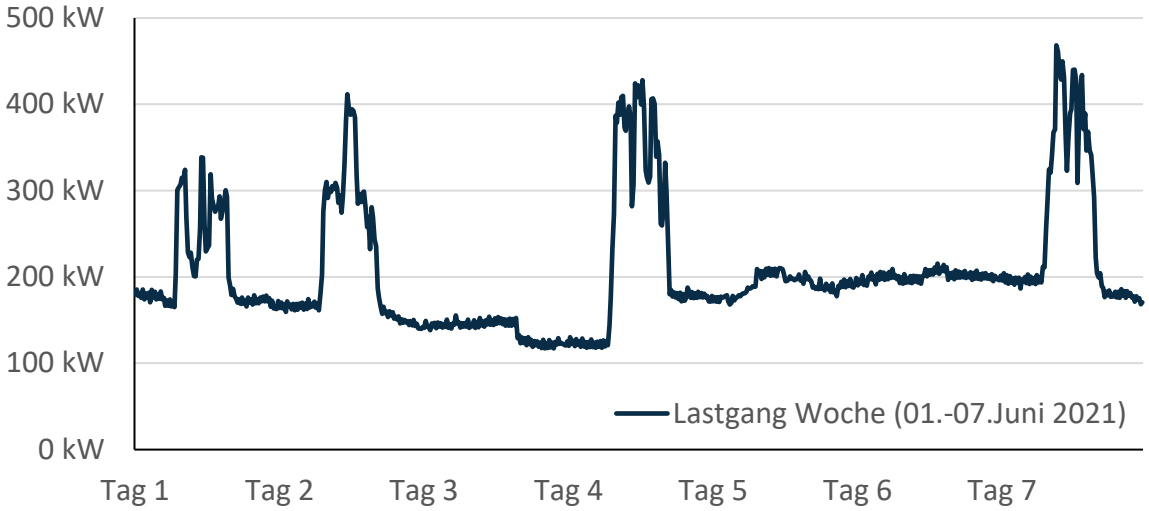


Abbildung 4: Lastgang der Kompostierungs- und Vergärungsanlage über den Zeitraum einer Woche im Spitzenmonat Juni

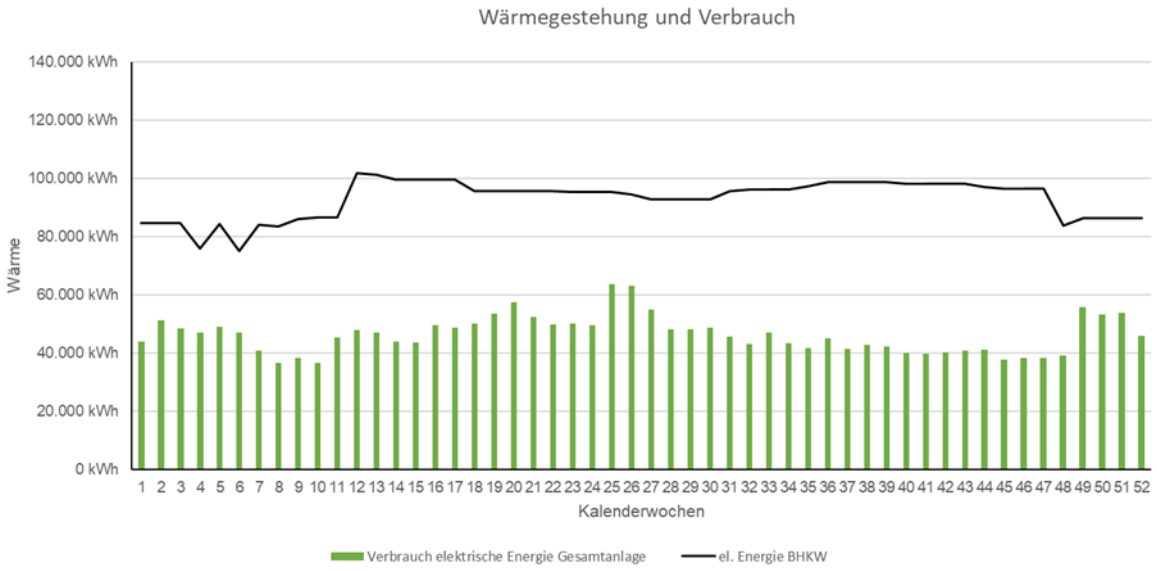


Abbildung 5: Stromverbrauch der Kompostierungs- und Vergärungsanlage über den Zeitraum eines Jahres (wochenscharf)

2.2 Wärmeenergie

Die Ermittlung des Wärmeverbrauchs erfolgt auf Grundlage von ermittelten Daten einer anderen Vergärungsanlage mit gleichem Vergärungsverfahren. Als Bezugsgröße für die Skalierung der ermittelten Werte wurde die Behandlungskapazität und Baugröße einzelner Anlagenteile gewählt. Die dargestellten Daten geben eine Abschätzung des zukünftigen Wärmeverbrauchs wieder. Grundsätzlich unterliegt der Wärmebedarf multiplen Einflussgrößen wie beispielsweise der Beschaffenheit des Inputmaterials und dem Jahreswetter.

Absehbar wird am Standort Wärme zur Beheizung des Fermenters und zur Unterstützung des Rotteprozesses, zur Beheizung des Betriebsgebäudes und zur Biogasvoraufbereitung benötigt werden.

Der Gesamtwärmebedarf der Anlage beläuft sich über den Zeitraum eines Jahres auf 2.405 MWh.

Unter der Annahme, dass das gesamte produzierte Biogas wochenscharf verstromt wird und die Abwärme vollständig genutzt werden kann stehen ca. 4.951 MWh Wärmeenergie zur Verfügung. Der kalenderwochenscharfe Verlauf ist in Abbildung 6 dargestellt.

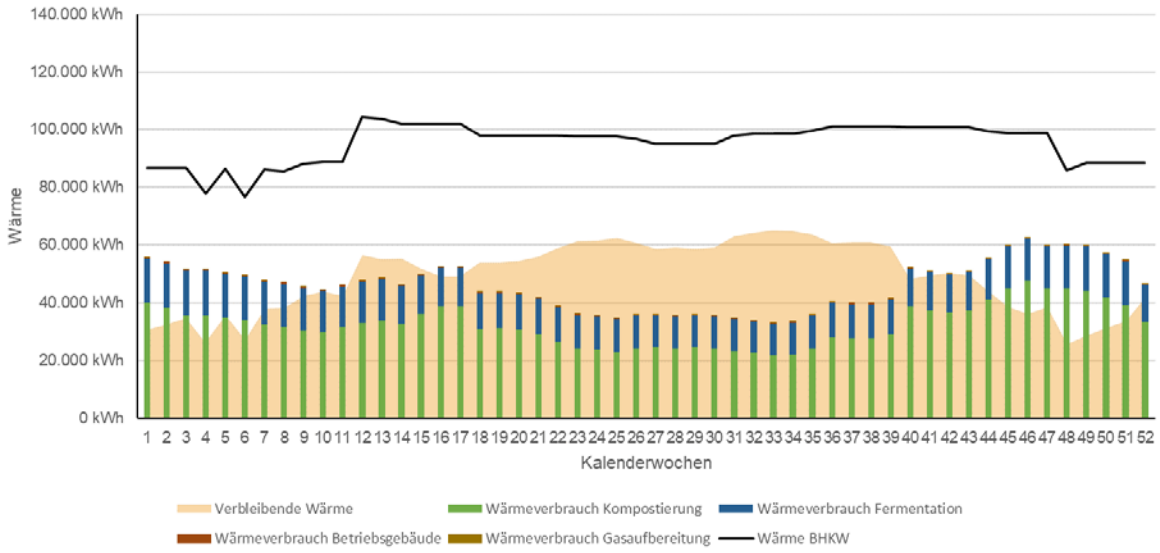


Abbildung 6: Wärmeverbrauch der Kompostierungs- und Vergärungsanlage über den Zeitraum eines Jahres (wochenscharf)

3 Alternative Möglichkeiten zur Eigenbedarfsdeckung

Als alternative Möglichkeiten den Eigenbedarf des Kompostwerks Rabenau zu decken können eine Biomassekleinfeuerungsanlage zur Bereitstellung der Wärmeenergie und Photovoltaikanlagen zur bilanziellen Deckung des Verbrauchs elektrischer Energie errichtet werden. Es gilt zu beachten, dass die Biomassekleinfeuerungsanlage biogene Inputmaterialien benötigt. Als Input dienen kann beispielsweise eine Mischung aus den holzigen Bestandteilen des Grünschnitts und weiter konditioniertem Siebüberlauf aus der Kompostfeinaufbereitung. Ob die vorhandenen Biomassepotentiale ausreichen um den Wärmebedarf des Kompostwerks zu decken ohne den Zukauf weiter Brennstoffe (z.B. Holzpellets) wird im Zuge der Entwurfsplanung geprüft. Mit Blick auf die Errichtung von Photovoltaikanlagen ist im Zuge der Entwurfsplanung zu prüfen, ob die vorhandenen statisch ausreichend belastbaren Dachflächen für die Stromversorgung des Standorts ausreichen.

4 Biogasüberschuss für Geilshausen

Zur Abschätzung des Biogasüberschusses erfolgt eine separate Betrachtung des Biogasüberschusses nach Deckung des Eigenverbrauchs elektrischer Energie (Abbildung 7) bzw. des Biogasüberschusses nach Deckung des Eigenbedarfs an Wärmeenergie (Abbildung 8). Die Wirkungsgrade des BHKW wurden mit 41 % elektrisch und 42 % thermisch angenommen. In Summe verbleibt ein Biogasüberschuss von 1.096.588 Nm³ nach Deckung des Strombedarfs bzw. ein Biogasüberschuss von 1.126.077 Nm³ nach Deckung des Wärmebedarfs. Es gilt zu beachten, dass der Wärme- und Strombedarf nicht deckungsgleich sind, sodass bei vollständiger Deckung der eigenen Verbräuche der verbleibende Biogasüberschuss geringer ausfallen wird.

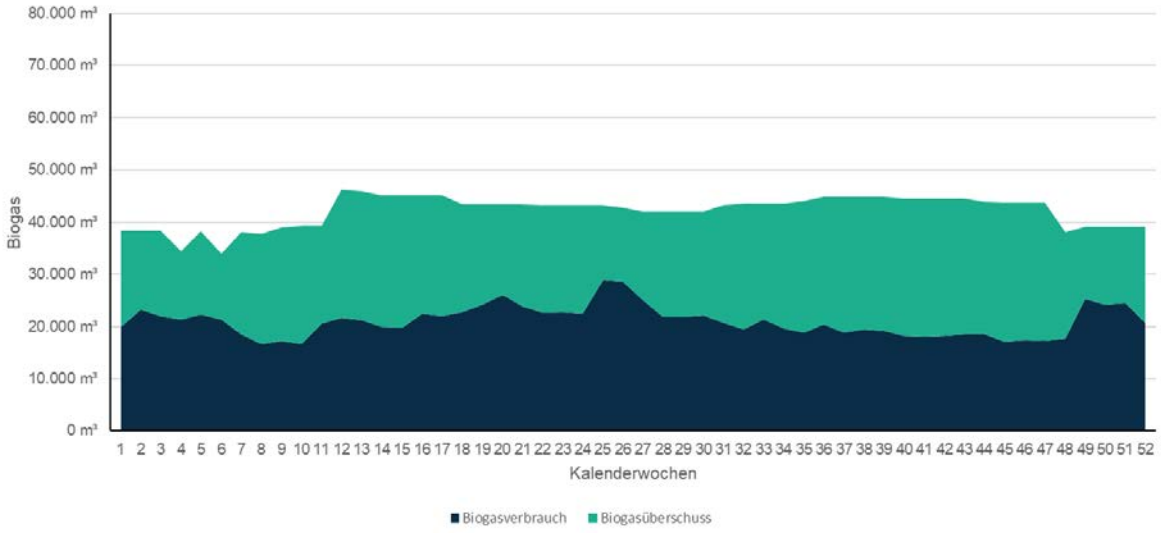


Abbildung 7: Biogasverbrauch und -überschuss nach Deckung des Eigenbedarfs el. Energie

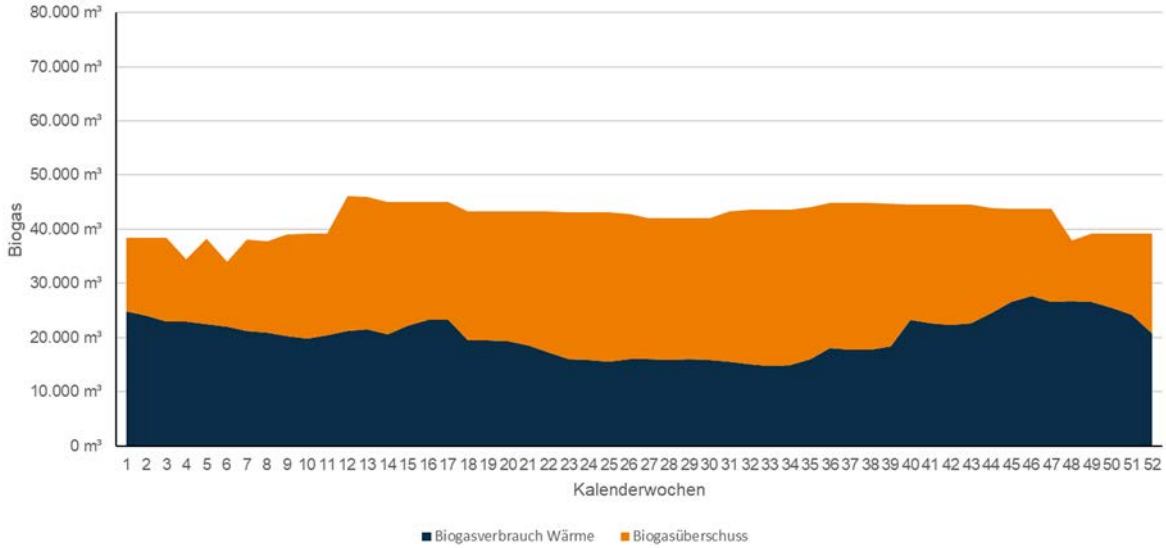


Abbildung 8: Biogasverbrauch- und -überschuss nach Deckung des Eigenbedarfs Wärmeenergie

5 Investitionskosten für die Biomethanaufbereitung (Gesamt/Überschuss)

Die Kosten für die Biomethanaufbereitung und –einspeisung werden erst im Rahmen der Entwurfsplanung ermittelt. Die Fertigstellung der Kostenberechnung ist für Mitte 2023 terminiert.

Die angegebenen Investitionskosten zur Errichtung eines Netzanschlusses (Gasleitung zum nächstgelegenen Einspeisepunkt) entstammen der Machbarkeitsuntersuchung der AVR Energie GmbH und bilden den Kostenstand 2018 ab.

6 Rückmeldung zu grundlegenden Überlegungen

6.1 Überschuss nach Versorgung Geilshausen:

Vorschlag 1: Methanaufbereitung des Überschusses und Einspeisung in das Erdgasnetz

Sollte ein Überschuss verbleiben so ist die Höhe sowie der Umgang mit diesem zu prüfen. Eine Methanaufbereitung bedeutet zusätzlich zu einem BHKW einen hohen Invest. Wird der Invest nur für den Überschuss getätigt ist der Divisor sehr klein, sodass eine wirtschaftliche Umsetzbarkeit fraglich ist.

Vorschlag 2: Nutzung des Überschusses im BHKW nur im Strombetrieb

Ein Betrieb des BHKW ohne Nutzung der Abwärme führt zu einem schlechten Energienutzungsgrad. Ob die Energieverluste in Kauf genommen werden müssen ist zu prüfen. Grundsätzlich kann die Kompostierung mehr Wärme, als in Kapitel 2.2 dargestellt, aufnehmen.

Vorschlag 3: Gasspeicherung

Die Auslegung der Gasspeicher erfolgt auf wenige Stunden Biogasproduktion, in der Regel ist keine langfristige Speicherung vorgesehen.

6.2 Gasaufbereitung auf Erdgasqualität und Kompletteinspeisung

Die Aufbereitung des gesamten erzeugten Biogases auf Erdgasqualität und Einspeisung stellt den alternativen Ansatz zur BHKW-Lösung dar, der im Zuge der Entwurfsplanung geprüft wird. Ggf. wird das Aufbereitungskonzept an eine Biomassefeuerungsanlage gekoppelt, um die fehlende Wärmequelle zu ersetzen.

aufgestellt durch: pbo Ingenieurgesellschaft mbH
Alfonsstraße 44
52070 Aachen

Aachen, 04.11.2022 gez. Wohlgemuth/Raguse