

15.50 Biogasanlage 51

15.50.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 51 befindet sich im mittleren Südwesten von Deutschland und ist in einen landwirtschaftlichen Betrieb mit eigenem Ackerbau integriert. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte im Jahr 2006 und die Vergütung erfolgt nach EEG 2009. Die Anlage ist 2-stufig aufgebaut, bestehend aus in Reihe geschalteten Fermenter und Nachgärer mit jeweils 1.000 m³ Arbeitsvolumen. Das vergorene Material wird in einem geschlossenen Gärrestlager mit 1.900 m³ Speichervolumen bis zur Ausbringung auf die eigenen Flächen gelagert (vgl. Abbildung 15-216).

Die Substratzufuhr erfolgt über einen Feststoffdosierer, welcher die Einsatzstoffe mittels Misch- und Stopfschnecken dem Fermenter zuführt. Der Transport des Gärmediums von Behälter zu Behälter erfolgt per Pumpe. Das Mischen der Einsatzstoffe erfolgt direkt im Fermenter. Hierfür sind zwei Langachs-Propellerrührwerk installiert. Der Nachgärbehälter ist mit einem Langachs-Propellerrührwerken sowie einem Tauchmotorrührwerk ausgestattet. Der Festmist wird vor der Fütterung aufbereitet in dem er mechanisch, mittels mobilen Schredders, zerkleinert wird.

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases ist das Gärrestlager mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das Gasspeichervolumen beträgt 1.000 m³. Das produzierte Biogas wird im Behälter biologisch, sowie durch die Zugabe von Eisenpräparaten chemisch entschwefelt. Auf dem Weg zur Gasverwertung wird das Gas entwässert, sowie durch einen AktivkohlfILTER weiter gereinigt. Die Gasverwertung erfolgt durch zwei Gas-Otto-BHKW, die am Anlagenstandort betrieben werden. Die Summe der installierten elektrischen Nennleistung beträgt 1.100 kW. Der Strom wird vollständig in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die produzierte Wärme wird neben der Beheizung der Gärbehälter zur Versorgung der Betriebsgebäude und der zusätzlichen Trocknung von Brennholz eingesetzt.

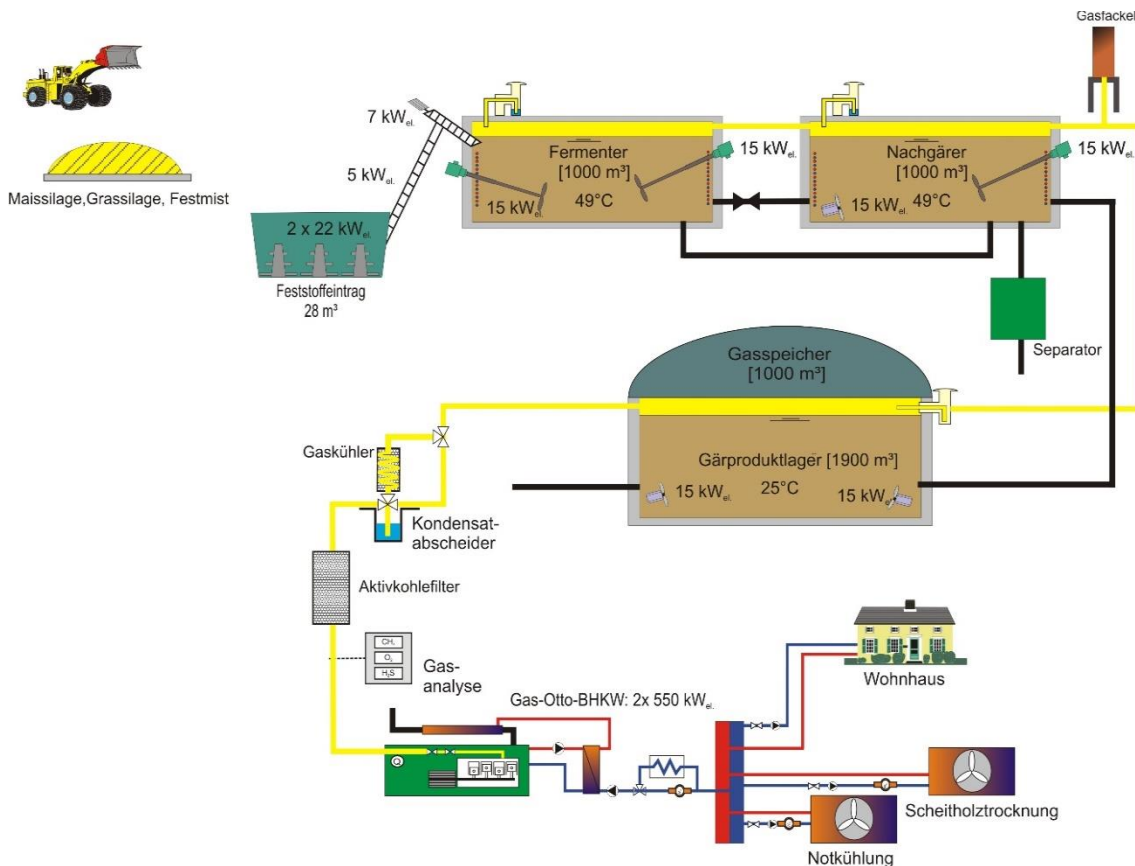


Abbildung 15-216: Anlagenschema BGA 51

15.50.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-142 aufgelistet. Die Erfassung der Einsatzstoffmenge erfolgt täglich. Ebenfalls täglich werden die Stromzähler am BHKW und der Eigenverbrauch notiert. Die Gasqualität wird per mobilen Messgerät alle 3 bis 4 Tage gemessen. Die Gasmenge wird nicht erfasst.

Tabelle 15-142: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 51

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag	Täglicher Aufschrieb der Einzelmengen
Flüssige Einsatzstoffe	keine	
Gasqualität	Mobiles Gasanalysegerät CH ₄ , O ₂ , H ₂ S	Messung regelmäßig Alle 3-4 Tage
Gaszähler	keine	
Stromzähler	Zähler am BHKW und am Einspeisetrafo	Tägliche Ablesung am BHKW Monatlich am Trafo
Eigenstromverbrauch	Erfassung des Verbrauches der Biogasanlage und eines BHKW	Monatliche Ablesung
Eigenwärmeverbrauch	per Zähler erfasst	Tägliche Ablesung

Um den biologischen Prozess beurteilen zu können, werden bedarfsweise Analysen des Fermenters auf pH-Wert, FOS, TAC, FOS/TAC, NH₄-N⁺ sowie des Säurespektrums durchgeführt.

Alle Proben wurden im Zwischenschacht der Behälter gezogen. Dafür wurde zunächst einige Zeit Gärsubstrat des zu beprobenden Behälters durch die Leitung gepumpt. Die Grassilage wurde mit Roggen-Ganzpflanzensilage siliert, die in BGA 52 gefüttert wurde. Die Probenahme der Grassilage erfolgte ohne Vermischung mit der Roggen-Ganzpflanzensilage.

15.50.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 51 wurde im Zeitraum von September 2017 bis Oktober 2018 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurde Rindermist (35 %), Mais-Ganzpflanzensilage (49 %) und Grassilage (16 %) (vgl. Abbildung 15-217) eingesetzt. Die mittlere tägliche Fütterungsmenge betrug 33,6 t/d. Es wurde in jeden Monat mehr als 30 % Wirtschaftsdünger gefüttert. Zudem wurden jeden Tag 20 kg eines Eisenpräparates und 10 kg Spurenelemente hinzugegeben.

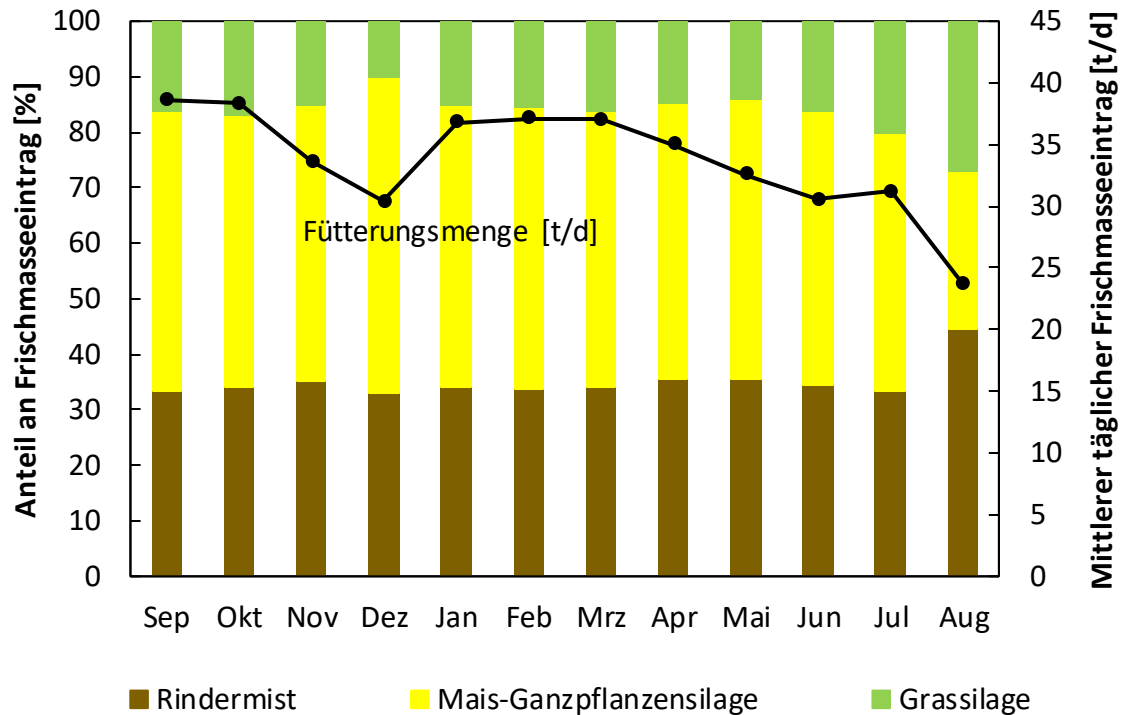


Abbildung 15-217: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Der FOS/TAC-Wert war über die ganze Messzeit knapp oberhalb von 0,3 (vgl. Abbildung 15-218). Allerdings ist der FOS/TAC-Wert über den Messzeitraum sehr konstant gewesen, sodass im Betrieb keine ungewöhnlichen Störungen in der Biologie zu vermuten sind.

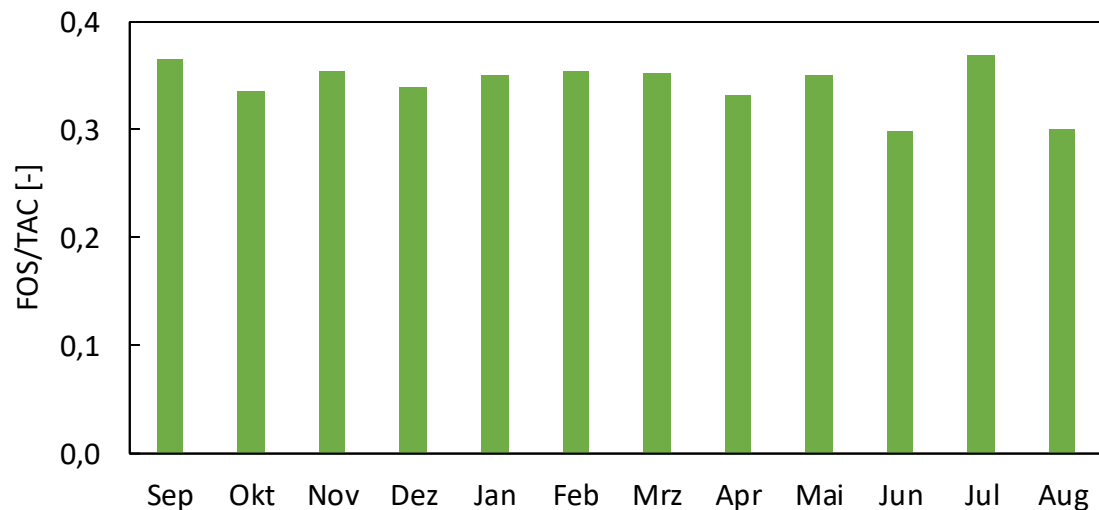


Abbildung 15-218: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter

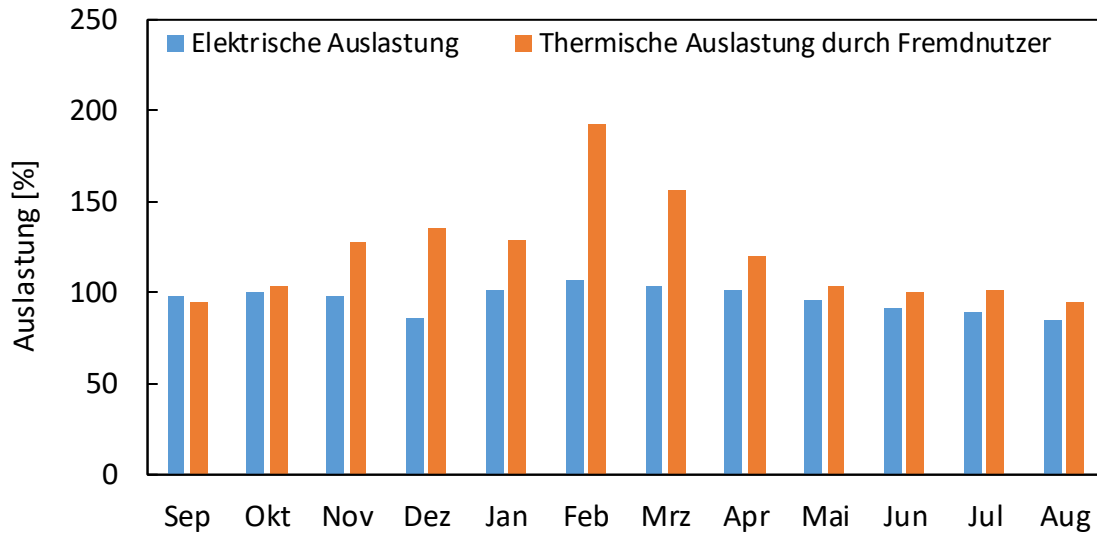


Abbildung 15-219: Elektrische Auslastung und thermische Auslastung durch Fremdnutzer bezogen auf die Höchstbemessungsleistung

Die elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung lag im Jahresdurchschnitt 97 % (vgl. Abbildung 15-219). Die thermische Auslastung durch Fremdnutzer lag im Jahresdurchschnitt bei 122 %. Im Winter stieg die Auslastung deutlich an. Der Wert über 100 % kommt zustande, da die Wärmeproduktion von BGA 51 und BGA 52 nicht klar zu trennen waren.

Die Biogasanlage wurde mit einer organischen Raumbelastung von $4,8 \text{ kg}_{\text{oTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ und einer Verweilzeit von 59 Tagen im Fermentersystem gefahren. Beide Werte sind im Vergleich zu den restlichen Anlagen kritisch einzustufen. Das relative Restgaspotential deutet allerdings trotzdem auf einen vollständigen Abbau des Substrates hin. Genauso ist ein deutlicher Abbau zwischen Fermenter und Nachgärer am FOS/TAC-Wert und an der Essigsäureäquivalent zu erkennen. Der oTS-Abbau ist mit 76 % eher unterdurchschnittlich. Ähnlich ist eine FoTS-Ausbeute von 99 % zu bewerten.

Tabelle 15-143: Datenblatt der Biogasanlage 51

BGA 51									
Allgemeine Angaben:									
installierte elektrische Leistung			1.100 kW						
Inbetriebnahme			2013						
Zeitraum der Messphase			09.2017 - 08.2018						
Einsatzstoffe			NawaRo, tierische Exkremente						
Gasverwertung			2 VOV-BHKW						
Erhalt Flexibilitätsprämie			nein						
Betriebsform			Einzelhofanlage, Anschluss an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Ackerbau						
Bauliche Anlagen:					Einsatzstoffe:				
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM				
Anzahl		1	1		Gesamt-Jahresmenge		12.277 [t/a]		
Reaktorvolumen	[m³]	1206	1206	2.412	Gesamt-Tagesmenge		33,6 [t/d]		
Arbeitsvolumen	[m³]	1.000	1.000	2.000	Grassilage		16,2 [%]		
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend		Mais-Ganzpflanzensilage		49,1 [%]		
Gasspeichervolumen	[m³]	0	0	0	Rindermist		34,9 [%]		
Betriebsparameter:					Einsatzstoffmix				
TS-Gehalt in FM	[%]	10,9	10,1		mittlerer TS-Gehalt in FM		31,3 [%]		
oTS-Gehalt in TS	[%]	74,5	72,9		mittlerer oTS-Gehalt in TS		90,3 [%]		
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			4,8FS	mittlerer FoTS-Gehalt in TS		67,7 [%]		
Verweilzeit	[d]			59FS					
oTS-Abbau	[%]			76GSY					
FoTS-Ausbeute	[%]			99GSY					
CH4-Produktivität	[m³/(m³ d)]			1,5FS					
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]			2,9FS	Gärrestlager:				
pH	[-]	7,1	7,2		Anzahl		1		
Temperatur	[°C]	50	50		Lagerkapazität gasdicht		1.900 [m³]		
NH4-N in FM	[g/kg]	2,9	3,3		Lagerkap. nicht gasdicht / offen		[m³]		
Nges-N in FM	[g/kg]	5,7	5,7		Gasspeichervolumen		1.000 [m³]		
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	410	250		relatives Restmethanpotentia		3,0 [%]		
FOS/TAC	[-]	0,31	0,23		TS-Gehalt im Gärrest in FM		8,3 [%]		
					oTS-Gehalt im Gärrest in TS		75,0 [%]		
Gasverwertung:					Gasproduktion:				
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	58			Messung		nach AKF		
		BHKW 1	BHKW 2		Gaszusammensetzung				
		GO	GO		[Vol.-%]		CH4	51,3	
Motortyp					[Vol.-%]		CO2	-	
elektr. Nennleistung	[kW]	550	550		[Vol.-%]		O2	0	
therm. Nennleistung	[kW]	569	569		[ppm]		H2S	9	
elektr. Wirkungsgrad	[%]	42,5	42,5		Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix				
therm. Wirkungsgrad	[%]	41,8	41,8				Biogas	Methan	
Betriebsweise BHKW	[-]	Start-Stopp	Start-Stopp		[m³/ t] in FM		172	88	
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	4.693	4.395		[m³/t] in oTS		609	313	
theor. Volllaststunden	[h/a]	3.920	3.713		Stromproduktion				
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	45	42		[kWh/d]		12.194		
					[kWh/t]		363		
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas									
Eigenstrombedarf:					Wärmeverwertung:				
	[kWh/a]				[kWh/a]				
BGA gesamt	433.093	10	[% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	178.339	4	[% der Wärmeproduktion]		
				Trocknung	2.567.711	59	[% der Wärmeproduktion]		
				Fernwärme	4.262.890	97	[% der Wärmeproduktion]		

Tabelle 15-144: Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 51 im Jahr 2017

BGA 51				
installierte elektrische Leistung	1.100	kW	eingespeiste Strommenge 2017	4.592.168 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	527	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	2.655.471 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	92,02	%	1.055.714	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	7,98	%	91.596	€/a
Sonstige Erlöse	0,00	%	-	€/a
Gesamterlöse	100	%	1.147.310	€/a
Kosten				
Substratkosten	44,38	%	343.440	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	37,10	€/t	255.100	€/a
Gras	25	€/t	54.500	€/a
Restliche NawaRo	-	€/t	-	€/a
Personalkosten	1,40	%	10.855	€/a
Instandhaltungskosten	10,77	%	83.357	€/a
Abschreibungen	23,46	%	181.544	€/a
Sonstige Betriebskosten	19,98	%	154.643	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug			101.745	€/a
Miete und Pacht			6.000	€/a
Maschinenmiete und Leasing			-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			-	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			11.233	€/a
Berufsgenossenschaft			588	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			8.725	€/a
Zinszahlungen ¹			20.326	€/a
Buchführung und Verwaltung			5.188	€/a
Sonstiges			839	€/a
Gesamtkosten	100	%	773.839	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			24,98	ct/kWh
Stromgestehungskosten			16,85	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			8,13	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			373.471	€/a

¹ Abschätzung der Zinszahlungen aus der Angabe von Kreditvolumen, Kreditlaufzeit und effektiven Jahreszins

15.51 Biogasanlage 52

15.51.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 52 befindet sich im mittleren Südwesten von Deutschland und ist in einen landwirtschaftlichen Betrieb mit eigenem Ackerbau integriert. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgt im Jahr 2013. Die Anlage ist 2-stufig aufgebaut, bestehend aus in Reihe geschalteten Fermenter mit 6.000 m³ und Nachgärer mit 6.238 m³ Arbeitsvolumen. Das vergorene Material wird separiert und in einem geschlossenen Gärrestlager gelagert (vgl. Abbildung 15-220 und Abbildung 15-221). In dem Gärrestlager wird ebenfalls separiertes Material von BGA 51 gelagert. Zur Beregnung vom Fermenter wird Material aus dem Nachgärer recirkuliert.

Die Substratzufuhr erfolgt über einen Schachteintrag. Flüssige Einsatzstoffe werden über eine Güllepumpe direkt in den Fermenter eingebracht. Mittels einer Kreiselpumpe und einer Stopfpumpe erfolgt die Beregnung des Fermenters. Zusätzlich zu den Pumpen befinden sich keine Rührwerke in den Behältern. Das Mischen der Einsatzstoffe erfolgt bereits im Schachteintrag.



Abbildung 15-220: Pumpenraum der BGA 52

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases sind alle drei Behälter mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das Gasspeichervolumen beträgt auf dem Fermenter 3.000 m³, auf dem Nachgärer 3.500 m³ und auf dem Gärrestlager 1.500 m³. Das produzierte Biogas wird durch behälterinterne, biologische Prozesse entschwefelt und auf dem Weg zur Gasverwertung entwässert, sowie durch einen Aktivkohlfiler weiter gereinigt. Die Gasverwertung erfolgt durch drei BHKW, die am Anlagenstandort betrieben werden. Die Summe der installierten elektrischen Nennleistung beträgt 1.650 kW. Der Strom wird vollständig in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die produzierte Wärme wird, neben der Beheizung der Gärbehälter von BGA 51 und 52, zur Versorgung der Betriebsgebäude und der zusätzlichen Trocknung von Scheitholz genutzt. Des Weiteren befindet sich eine neue Wärmeleitung im Bau, welche zusätzliche Haushalte mit Wärme versorgen soll.



Tabelle 15-145: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 52

646

Um den biologischen Prozess beurteilen zu können, werden bedarfsweise Analysen des Fermenters auf pH-Wert, FOS, TAC, FOS/TAC, $\text{NH}_4\text{-N}^+$ sowie des Säurespektrums durchgeführt.

Die Probenahme erfolgte jeweils an der Zwischenleitung der Pumpen. Es wurden sowohl Gärsubstrat von einer oberen Schicht als auch Gärsubstrat von einer unteren Schicht des Fermenters, bzw. Nachgärers gezogen. Ganzpflanzensilage und Grassilage wurden gemeinsam siliert. Die Probenahme erfolgte separat. Ebenfalls wurde die Inputmassen im Fütterungstagebuch separat erfasst.

15.51.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 52 wurde im Zeitraum von September 2017 bis August 2018 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurde ausschließlich Rindergülle (36 %), Grassilage (36 %) und Roggen-Ganzpflanzensilage (28 %) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-222). Die mittlere tägliche Fütterungsmenge betrug 53 t/d. Die Futtermenge und Substratzusammensetzung schwankten jeden Monat sehr stark.

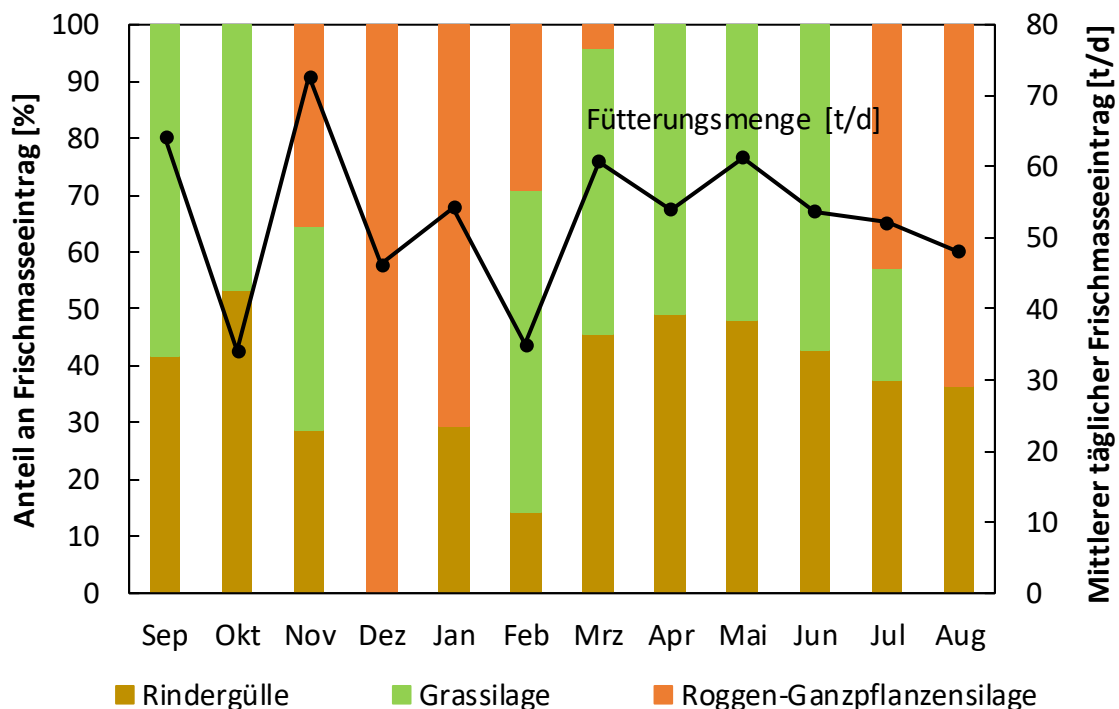


Abbildung 15-222: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Die Anlage ist aufgrund des speziellen Fermentersystems (Beregnung der Fermenteroberfläche) nicht komplett durchmischt. Dies erschwerte die Probenahme. Je nachdem, ob die Probe im oberen oder unteren Teil gezogen wurden, variieren eine Vielzahl an Parameter stark.

Der FOS/TAC-Wert der Probe, die im unteren Teil des Fermenters gezogen wurde, befindet sich fast im gesamten Messzeitraum recht konstant unterhalb von 0,3 (vgl. Abbildung 15-223). Ausreißer nach oben sind nur im März und April festzustellen gewesen. In diesen Monaten stieg die Fütterungsmenge im Vergleich zum März deutlich an und es war ebenfalls eine Verringerung der elektrischen Auslastung in diesen Monaten festzustellen (vgl. Abbildung 15-224). Eine Störung der Prozessbiologie könnte in den beiden Monaten vorgelegen haben. Im Mai sank allerdings der FOS/TAC-Wert ab und die elektrische Auslastung stieg wieder an.

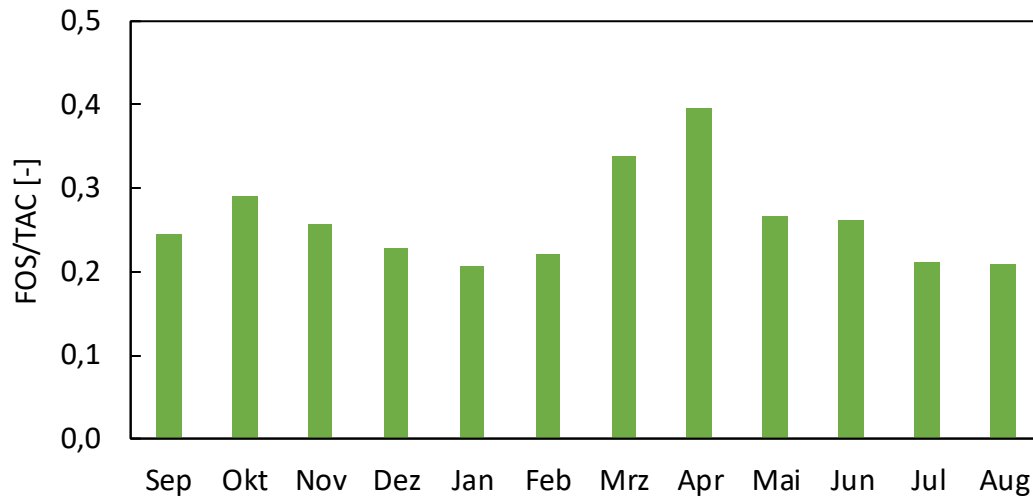


Abbildung 15-223: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter (unten)

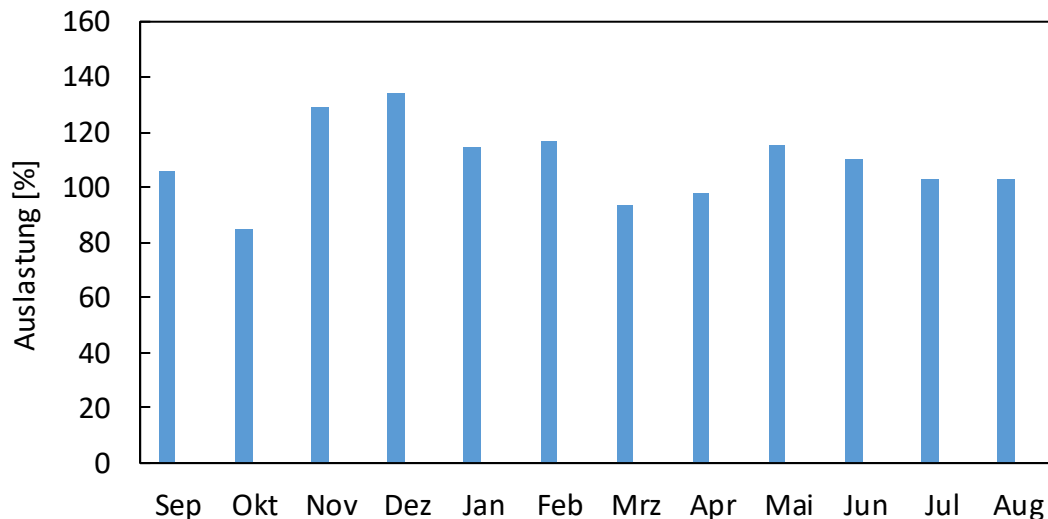


Abbildung 15-224: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung

Die elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung ist im Jahresdurchschnitt 109 %. Nur im Oktober, März und April 2018 sank die Auslastung unter 100 %, Der niedrige Wert im Oktober ist mit einer geringeren Fütterungsmenge und einen hohen Anteil an Rindergülle zu erklären. Eine thermische Ausnutzung durch Fremdnutzer lag direkt nicht vor. Allerdings wurde neben der Eigenwärme auch die Prozesswärme für BGA 51 zur Verfügung gestellt. Falls nötig, wurde zudem über ein Ventil Wärme in die Fernwärmeleitung von BGA 51 eingespeist.

Die Biogasanlage wurde mit einer sehr geringen organischen Raumbelastung von $1,0 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ und einer sehr hohen Verweilzeit von 231 Tagen im Fermentersystem gefahren. Diese Werte sind aufgrund des Berechnungssystem notwendig. Es ist ein deutlicher Abbau zwischen Fermenter und Nachgärer am FOS/TAC-Wert und an der Essigsäureäquivalent zu erkennen. Der oTS-Abbau ist mit 76 % eher unterdurchschnittlich. Ähnlich ist eine FoTS-Ausbeute von 100 % zu bewerten. Beide Werte sind nahezu identisch mit der Biogasanlage 51, die ebenfalls am Standort betrieben wird. Das rel. Restgaspotential ist als unkritisch anzusehen.

Tabelle 15-146: Datenblatt der Biogasanlage 52

BGA 52									
Allgemeine Angaben:									
installierte elektrische Leistung	1.650 kW								
Inbetriebnahme	2006								
Zeitraum der Messphase	09.2017 - 08.2018								
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente								
Gasverwertung	3 VOV-BHKW								
Erhalt Flexibilitätsprämie	ja								
Betriebsform	Einzelhofanlage, Anschluss an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Ackerbau								
Bauliche Anlagen:						Einsatzstoffe:			
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM			
Anzahl		1	1	1		Gesamt-Jahresmenge 19.339 [t/a]			
Reaktorvolumen	[m³]	6.107	6.805	6.805	12.912	Gesamt-Tagesmenge 53,0 [t/d]			
Arbeitsvolumen	[m³]	6.000	6.238	6.238	12.238	Grassilage 35,9 [%]			
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend	stehend		Rindergülle 36,4 [%]			
Gasspeichervolumen	[m³]	3.000	3.500	3.500	6.500	Roggen-Ganzpflanzensilage 27,9 [%]			
Betriebsparameter:						Einsatzstoffmix mittlerer TS-Gehalt in FM 26,1 [%] mittlerer oTS-Gehalt in TS 87,1 [%] mittlerer FoTS-Gehalt in TS 50,4 [%]			
TS-Gehalt in FM	[%]	8,2	7,8	7,8					
oTS-Gehalt in TS	[%]	67,8	66,2	66,2					
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]				1,0 _{IS}				
Verweilzeit	[d]				231 _{IS}				
oTS-Abbau	[%]				76 _{GSV}				
FoTS-Ausbeute	[%]				100 _{GSV}				
CH ₄ -Produktivität	[m³ / (m³ d)]				0,2 _{IS}				
BG-Produktivität	[m³ / (m³ d)]				0,5 _{IS}				
pH	[-]	7,9	8,0	8,0		Gärrestlager: Anzahl 1 Lagerkapazität gasdicht 2.356 [m³] Lagerkap. nicht gasdicht / offen 0 [m³] Gaspeichervolumen 1.500 [m³] relatives Restmethanpotential 4,1 [%] TS-Gehalt im Gärrest in FM 4,9 [%] oTS-Gehalt im Gärrest in TS 63,8 [%]			
Temperatur	[°C]	38							
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	4,0	4,2	4,2					
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	5,5	5,9	5,9					
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	1.013	149	149					
FOS/TAC	[-]	0,26	0,19	0,19					
Gasverwertung:						Gasproduktion:			
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	58				Messung	vor AKF		
		BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3		Gaszusammensetzung			
Motortyp		GO	GO	GO		[Vol.-%]	CH ₄	51,5	
elektr. Nennleistung	[kW]	550	550	550		[Vol.-%]	CO ₂	44,5	
therm. Nennleistung	[kW]	543	543	543		[Vol.-%]	O ₂	1	
elektr. Wirkungsgrad	[%]	42,5	42,5	42,5		[ppm]	H ₂ S	-	
therm. Wirkungsgrad	[%]	41,8	41,8	41,8		Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix			
Betriebsweise BHKW	[-]	Start-Stopp	Start-Stopp	Start-Stopp			Biogas	Methan	
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	4.715	3.620	-		[m³/ t] in FM	151	78	
theor. Volllaststunden	[h/a]	4.198	3.445	2.824		[m³/t] in oTS	663	342	
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	48	39	32		Stromproduktion			
						[kWh/d]	16.104		
						[kWh/t]	304		
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas									
Eigenstrombedarf:						Wärmeverwertung:			
	[kWh/a]					[kWh/a]			
BGA gesamt	555.338	9	[% der Stromproduktion]		Eigenbedarf BGA	1.646.620	28	[% der Wärmeproduktion]	
					BGA 51 Wärme	178.339	3	[% der Wärmeproduktion]	

Tabelle 15-147: Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 52 im Jahr 2017

BGA 52					
installierte elektrische Leistung	1.650	kW	eingespeiste Strommenge 2017	5.385.966	kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	615	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	2.530.000	€
Leistungen					
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	97,30	%		1.185.678	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	0,00	%		-	€/a
Sonstige Erlöse	2,70	%		32.963	€/a
Gesamterlöse	100	%		1.218.641	€/a
Kosten					
Substratkosten	24,74	%		251.084	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>					
Mais	-	€/t		-	€/a
Gras	20	€/t		242.381	€/a
Restliche NawaRo	-	€/t		-	€/a
Personalkosten	2,88	%		29.247	€/a
Instandhaltungskosten	8,40	%		85.248	€/a
Abschreibungen	28,92	%		293.500	€/a
Sonstige Betriebskosten	35,05	%		355.727	€/a
<i>davon</i>					
Zündöl				-	€/a
Strombezug				78.600	€/a
Miete und Pacht				-	€/a
Maschinenmiete und Leasing				62.247	€/a
Prozessbetreuung und Beratung				1.550	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben				28.268	€/a
Berufsgenossenschaft				-	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel				1.194	€/a
Zinszahlungen				61.184	€/a
Buchführung und Verwaltung				6.121	€/a
Sonstiges				116.563	€/a
Gesamtkosten	100	%		1.014.806	€/a
Bilanz					
Gesamterlöse				22,63	ct/kWh
Stromgestehungskosten				18,84	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				3,78	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				203.836	€/a

15.52 Biogasanlage 53

15.52.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 53 befindet sich im mittleren Südwesten von Deutschland und wird in Kooperation von mehreren Landwirten betrieben. Die Biomethanaufbereitung wird von einem Netzbetreiber betrieben. Ein Landwirt ist für das operative Geschäft verantwortlich und angestellt. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte im Frühjahr 2012. Die Anlage ist 2-stufig aufgebaut, bestehend aus zwei parallel geschalteten Fermentern und einen Nachgärer. Es gibt zwei Fermenter mit jeweils 4.300 m³ und einen Nachgärer mit 3.600 m³ Brutto-Arbeitsvolumen. Anschließend wird der Gärrest in drei gasdichten Gärrestlagern bis zur Ausbringung gelagert (vgl. Abbildung 15-225). Zudem wird vergorenes Material anschließend separiert.

Die Substratzufuhr erfolgt über zwei Feststoffdosierer, welche die Einsatzstoffe mittels Abschieber und über Stopfschnecken den Fermentern zuführen. Der Transport des Gärmediums von Behälter zu Behälter erfolgt mit Pumpen und kann mit Hilfe dieser flexibel gesteuert werden. Das Mischen der Einsatzstoffe erfolgt direkt im Fermenter. In jedem Fermenter sind jeweils fünf Tauchmotorrührwerke installiert. Wobei die Rührwerke mit unterschiedlichen Drehzahlen betrieben werden. Der Nachgärbehälter ist ebenfalls mit zwei langsamen und zwei schnell drehenden Rührwerken ausgestattet. In den Gärrestlagern sind jeweils drei schnell drehende Rührwerke zum Durchmischen verbaut. Zusätzlich besitzt das Gärrestlager 3 ein weiteres Tauchmotorrührwerk.

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases sind die Fermenter, der Nachgärer und die Gärrestlager mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das Gasspeichervolumen auf den Behälter beträgt insgesamt 34.500 m³. Das produzierte Biogas wird biologisch mit Zugabe von reinem Sauerstoff entschwefelt, um eine Verdünnung des Biogases mit Stickstoffgas aus der Luft zu vermeiden. Auf dem Weg zur Gasverwertung wird es entwässert, sowie durch einen Aktivkohlfiter weiter gereinigt. Das produzierte Biogas wird direkt am Standort aufbereitet und vollständig eingespeist.

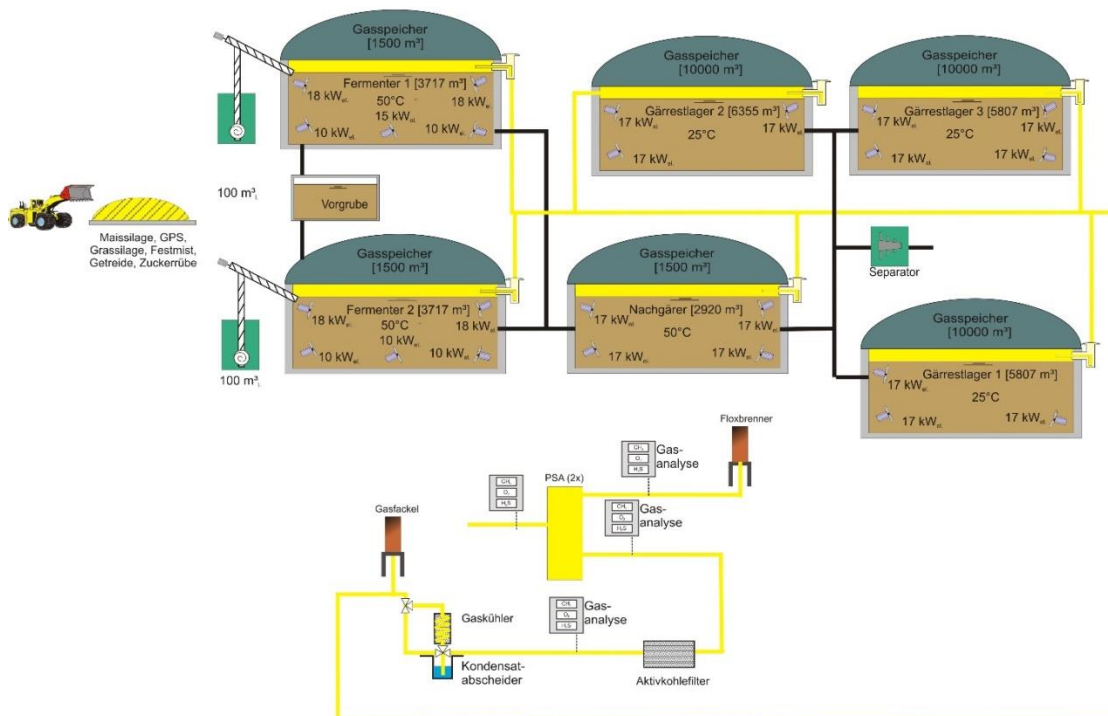


Abbildung 15-225: Anlagenschema BGA 53, Gasaufbereitung erfolgt mittels pressure swing adsorption (PSA)

15.52.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-148 aufgelistet. Die Einsatzstoffe und die Gasmenge/-qualität werden kontinuierlich auf der Seite der Gasaufbereitung erfasst. Der Eigenwärmeverbrauch wird nicht erfasst. Der Eigenstromverbrauch wird monatlich abgelesen.

Tabelle 15-148: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 53

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Wiegevorrichtung an jeden Feststoffeintrag	wird automatisch geloggt
Flüssige Einsatzstoffe	Durchflussmengenähler	Ablesung täglich
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Ablesung täglich
Gaszähler	ein Volumenstromzähler vor und nach Aufbereitung; zusätzlich Temperatur und Druckerfassung	Tagessumme der Gasmenge einmal täglich übernommen;
Stromzähler	kein Strom produziert	
Eigenstromverbrauch	wird über Netzbetreiber erfasst	monatlich abgelesen
Eigenwärmeverbrauch	wird nicht gemessen	

Die Probennahme erfolgte für alle Behälter mittels Probenahmehahn am jeweiligen Behälter. Mais-Ganzpflanzen- und Grassilage wurden gemeinsam siliert. Es erfolgte eine getrennte Probenahme, da diese auch im Einsatzstofftagebuch getrennt aufgeführt sind.

15.52.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 53 wurde im Zeitraum von November 2017 bis Oktober 2018 begleitet. In diesem Zeitraum wurde vor allem Mais-Ganzpflanzensilage (46 %), Grassilage (26 %) und Roggen-Ganzpflanzensilage (20 %) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-226). Ergänzend wurden Getreideschrot (6 %) und Zuckerrübe (3 %) gefüttert. Es wurden außerdem Spurenelemente und Enzyme hinzugegeben. Des Weiteren wurden täglich 100 t Gärsubstrat rezirkuliert. Die mittlere tägliche Fütterungsmenge während der Messphase betrug 123 t/d.

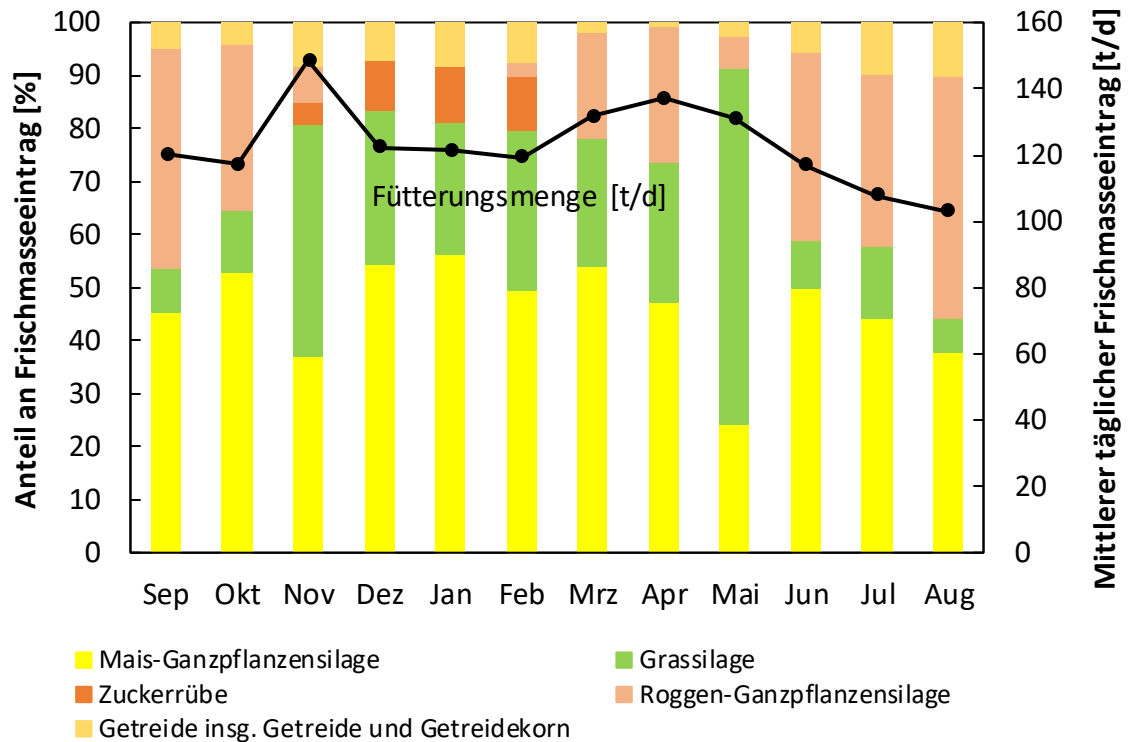


Abbildung 15-226: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Lediglich der Separator war ein paar Wochen kaputt, weshalb die Trockensubstanz des Gärsubstrats kurzfristig anstieg.

Der FOS/TAC-Wert von Fermenter 1 und 2 zeigte über die Messphase ein sehr konstantes Verhalten und lag in jeden Monat knapp unter 0,3 (vgl. Abbildung 15-227). Auf Basis der Daten ist keine Störung im biologischen Prozess feststellbar.

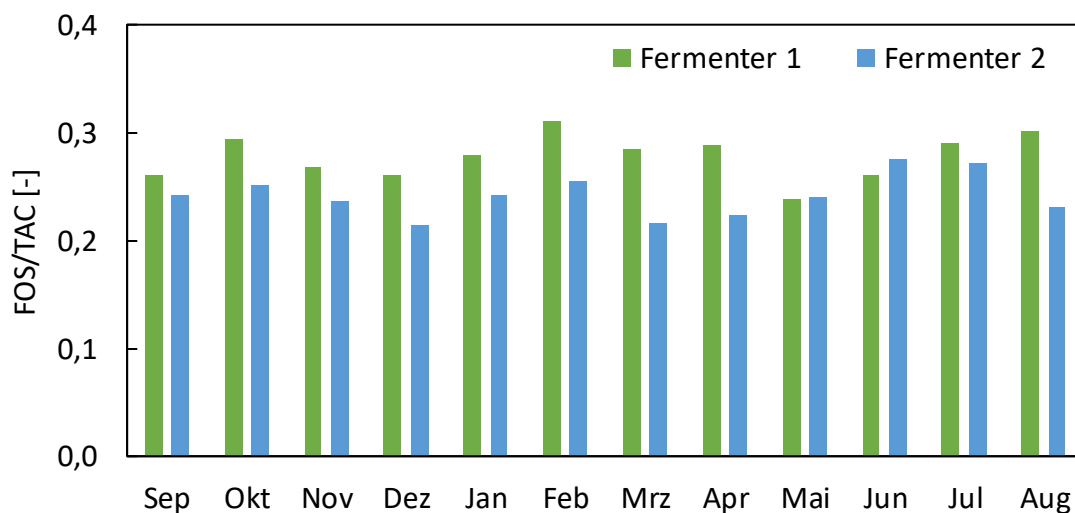


Abbildung 15-227: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter

Die Biogasanlage wurde mit einer hohen organischen Raumbelastung von 3,9 kg_{oTS}/(m³ d) und einer sehr Verweilzeit von 84 Tagen im Fermentersystem gefahren. Während der Fermenterkaskade baut sich der FOS/TAC-Wert und die Essigsäureäquivalent kaum ab. Die Ursache ist vermutlich die große Menge an rezirkuliertem Material. Der oTS-Abbau (85 %), die FoTS-Ausbeute (135 %) und das relative Restgaspotential (1,4 %) weisen deutlich auf einen hohen Abbaugrad hin.

Tabelle 15-149: Datenblatt der Biogasanlage 53

BGA 53									
Allgemeine Angaben:									
installierte elektrische Leistung	0 kW								
Inbetriebnahme	2011								
Zeitraum der Messphase	11.2017 - 10.2018								
Einsatzstoffe	NawaRo								
Gasverwertung	Gasaufbereitung zu Biomethan & Einspeisung ins Erdgasnetz								
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein								
Betriebsform	sonstige Anlage								
Bauliche Anlagen:						Einsatzstoffe:			
Benennung		Fermenter 1	Fermenter 2	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM			
Anzahl		1	1	1		Gesamt-Jahresmenge 44.765 [t/a]			
Reaktorvolumen	[m³]	4.300	4.300	3.186	11.786	Gesamt-Tagesmenge 122,6 [t/d]			
Arbeitsvolumen	[m³]	3.717	3.717	2.920	10.354	Getreide insg. Getreide und Getreidekorn 5,7 [%]			
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend	stehend		Grassilage 25,6 [%]			
Gasspeichervolumen	[m³]	4.601	4.601	4.601	13.803	Mais-Ganzpflanzensilage 46,1 [%]			
						Roggen-Ganzpflanzensilage 19,9 [%]			
						Zuckerrübe 2,9 [%]			
Betriebsparameter:						Einsatzstoffmix			
TS-Gehalt in FM	[%]	12,3	12,7	11,0		mittlerer TS-Gehalt in FM 35,5 [%]			
oTS-Gehalt in TS	[%]	76,1	75,6	74,1		mittlerer oTS-Gehalt in TS 93,1 [%]			
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]				3,9 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS 64,2 [%]			
Verweilzeit	[d]				84 _{FS}				
oTS-Abbau	[%]				85 _{GSV}				
FoTS-Ausbeute	[%]				135 _{GSV}				
CH ₄ -Produktivität	[m³ / (m³ d)]				1,5 _{FS}				
BG-Produktivität	[m³ / (m³ d)]				2,9 _{FS}				
pH	[-]	7,9	7,9	8,1					
Temperatur	[°C]	50	50	48					
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	4,2	4,1	4,6					
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	7,0	7,1	7,0					
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	378	378	166					
FOS/TAC	[-]	0,28	0,24	0,21					
Gasverwertung:						Gasproduktion:			
Biomethan-Einspeisung, keine Vor-Ort-Verstromung						Messung vor AKF			
						Gaszusammensetzung			
						[Vol.-%] CH ₄ 52,8			
						[Vol.-%] CO ₂ 46,6			
						[Vol.-%] O ₂ 1			
						[ppm] H ₂ S 23			
						Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix			
						Biogas Methan			
						[m³/ t] in FM 243 128			
						[m³/t] in oTS 734 388			
						Biogasaufbereitung			
						[kWh/d] 62.662			
						[m³/h] 1.240			
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas									
Eigenstrombedarf:									
	[kWh/a]								
BGA gesamt	4.704.852								
davon Aufbereitung	3.718.761								
davon BGA	986.091								

Tabelle 15-150: Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 53 im Jahr 2017

BGA 53				
installierte elektrische Leistung	-	kW	eingespeiste Strommenge 2017/18 ¹	22.451.314 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	-	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	6.373.000 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	0,00	%	-	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	0,00	%	-	€/a
Sonstige Erlöse (Rohbiogas) ²	100,00	%	3.576.616	€/a
Gesamterlöse	100	%	3.576.616	€/a
Kosten				
Substratkosten ³	61,64	%	1.995.800	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
<i>Mais</i>	-	€/t	-	€/a
<i>Gras</i>	-	€/t	-	€/a
<i>Restliche NawaRo</i>	-	€/t	-	€/a
Personalkosten	4,78	%	154.900	€/a
Instandhaltungskosten	4,47	%	144.800	€/a
Abschreibungen	12,09	%	391.533	€/a
Sonstige Betriebskosten	17,01	%	550.693	€/a
<i>davon</i>				
<i>Zündöl</i>			-	€/a
<i>Strombezug</i>			199.100	€/a
<i>Miete und Pacht</i>			-	€/a
<i>Maschinenmiete und Leasing</i>			31.000	€/a
<i>Prozessbetreuung und Beratung</i>			58.400	€/a
<i>Versicherungen, Beiträge und Abgaben</i>			36.000	€/a
<i>Berufsgenossenschaft</i>			-	€/a
<i>Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel</i>			2.000	€/a
<i>Zinszahlungen</i> ⁴			168.393	€/a
<i>Buchführung und Verwaltung</i>			-	€/a
<i>Sonstiges</i>			55.800	€/a
Gesamtkosten	100	%	3.237.726	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			15,93	ct/kWh
Stromgestehungskosten			14,42	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			1,51	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			338.890	€/a

¹ rechnerisch ermittelter Wert aus dem Verkauf von 10.664.364 m³ Rohbiogas² Annahme Rohbiogasverkaufspreis (ohne Aufbereitung) i. H. v. 5,85 ct/kWh_{HS} (dena, 2019) (eMikroBGAA, 2019)³ keine Differenzierung nach einzelnen Substratchargen möglich⁴ Abschätzung der Zinszahlungen aus der Angabe von Kreditvolumen, Kreditlaufzeit und effektiven Jahreszins

15.53 Biogasanlage 54

15.53.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 54 befindet sich in Niederbayern, südlich von Landshut und wurde von Fa. Cowatec errichtet. Die seit Mitte des Jahres 2006 in einem Betrieb mit Bullenmast betriebene Anlage verfügt über eine installierte elektrische Leistung von 549 kW.

Die festen Einsatzstoffe bestehen aus Grassilage, Mais- und Roggen-Ganzpflanzensilage, Zuckerrüben (nur im Winter) und Rindermist aus den eigenen Ställen. Sie werden aus einem 60 m³ fassenden Vorlagebehälter mit Kratzboden einer Trogsschnecke zugeführt, die das Material an eine senkrechte Steigschnecke übergibt. Mit einer Stopfschnecke am oberen Ende der Steigschnecke wird schließlich ein liegender Pfpfenstromfermenter (Arbeitsvolumen: 600 m³) beschickt. Die eingesetzte Bullengülle gelangt durch Öffnen eines Schiebers zunächst vom Stall in eine Vorgrube (Arbeitsvolumen: 400 m³) und wird von dort über die zentrale Pumpe in den Fermenter gefördert.

Aus dem Fermenter gelangt das Gärgemisch durch eine separate Pumpe in den Nachgärer (Arbeitsvolumen: 2.200 m³), der mit zwei Stabmixern ausgerüstet ist. Von dort wird der Gärrest wiederum mittels der zentralen Pumpstation in die beiden Gärrestlager (Kapazität: je 2.200 m³; eines mit und eines ohne Gaserfassung) gefördert, die jeweils mit einem Tauchmotorrührwerk durchmischt werden. Die Gärbehälter werden hydraulisch mittels eines externen Wärmetauschers auf 42°C temperiert. Alternativ kann auch der Weg über eine elektrokinetische Desintegrationseinheit gewählt werden, mit deren Hilfe schwer abbaubare Substratbestandteile aufgeschlossen werden sollen, um so die Gasausbeute zu erhöhen und die Fließfähigkeit der Gärsuspension zu verbessern. Prinzipiell kann die zentrale Pumpe allen an der Anlage vorhandenen Behältern, inklusive der Vorgrube, Material entziehen, um es einem beliebig wählbaren Behälter zuzuführen. Auch die Fassfüllstation wird über diese Pumpe versorgt.

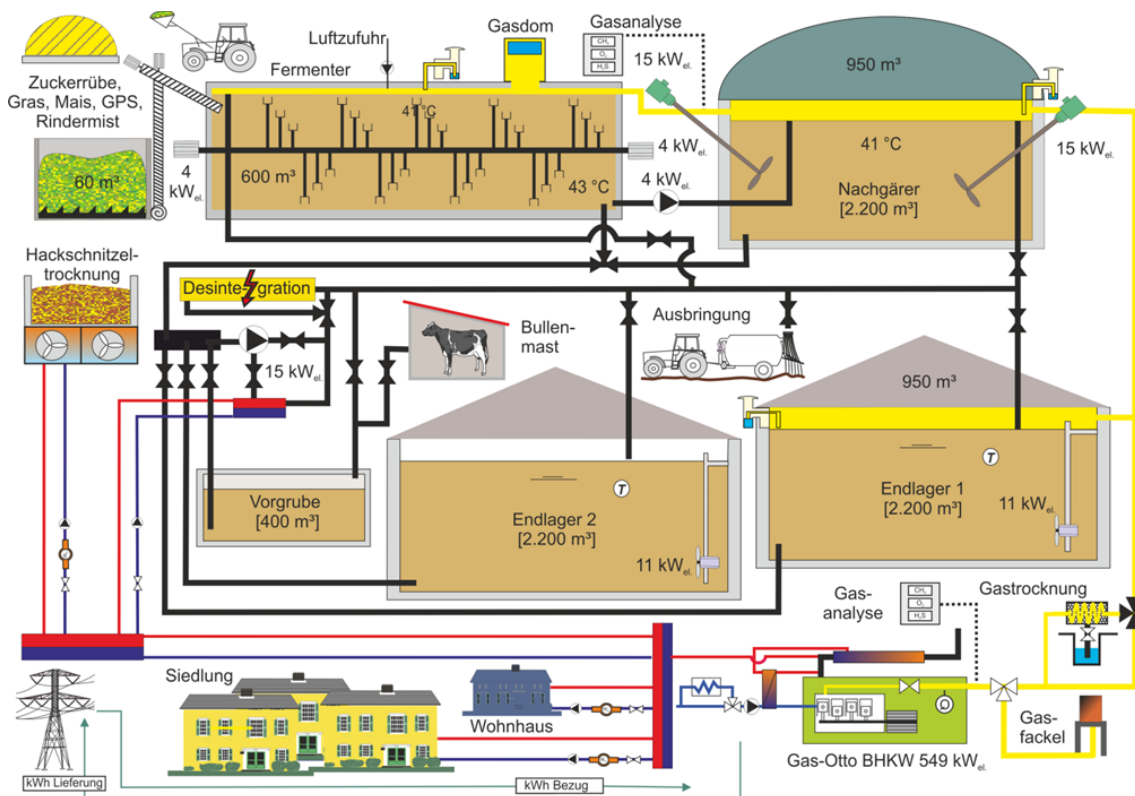


Abbildung 15-228: Fließschema der Biogasanlage 54

Durch eine entsprechend lange Leitung wird das Gas gekühlt und entwässert. Das erzeugte Biogas wird durch ein Gas-BHKW mit einer elektrischen Leistung von 549 kW verarbeitet. Neben der Versorgung der Gärbehälter dient die anfallende BHKW-Abwärme zur Beheizung des Wohnhauses und 92 weiterer Häuser, die über ein Nahwärmenetz an die Biogasanlage angeschlossen sind. Außerdem wird die betriebseigene Trocknungsanlage für Hackschnitzel mit Wärme versorgt. Funktionsprinzip und Stoffströme von Biogasanlage 54 sind schematisch in Abbildung 15-228 dargestellt.

15.53.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung ist sehr gut. Mit Ausnahme der flüssigen Einsatzstoffe können alle wichtigen am Prozess beteiligten Größen gemessen werden. Die wichtigsten Messgeräte sind in Tabelle 15-151 dargestellt.

Tabelle 15-151: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 54

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Menge der festen Einsatzstoffe	Wägezellen am Feststoffeintrag	Tägliche Dokumentation im BTB
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	Kombination von Pumpenlaufzeit und Nenndurchfluss der Pumpe	Ungenau
Gaszusammensetzung	Gasanalysegerät mit Sensoren für: CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Tägliche Dokumentation im BTB
Gasmenge	Volumenstromzähler am BHKW	Normvolumen nicht berechenbar (keine Gasdruck- und Temperaturmessung)
Stromerzeugung	Zähler am BHKW und am Einspeisetransformator	Tägliche Dokumentation des BHKW; Monatliche Dokumentation am Trafo
Eigenstrombedarf	Zähler des Stromversorgers	Monatliche Dokumentation des Strombezugs (Volleinspeisung)
Eigenwärmebedarf	Wärmemengenzähler an der Fermenterheizung	Tägliche Dokumentation

15.53.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Der Betrieb von Anlage 54 war durch eine ausgewogene Futtermischung gekennzeichnet. Insgesamt wurden sieben verschiedene Substrate eingesetzt wobei der Schwerpunkt bei Rindergülle, Mais- und Grünroggen-Ganzpflanzensilage lag. Durchschnittlich wurden täglich rund 42 t Frischmasse eingetragen. Die in Abbildung 15-229 erkennbaren leichten Schwankungen der verabreichten Futtermenge dürfte auf den zeitweisen Einsatz von Zuckerrüben zurückzuführen sein. Deren hoher Wasseranteil wurde durch leicht höhere Frischmassegaben kompensiert. Der Trockensubstanzgehalt der Futtermischung betrug durchschnittlich rund 25 %.

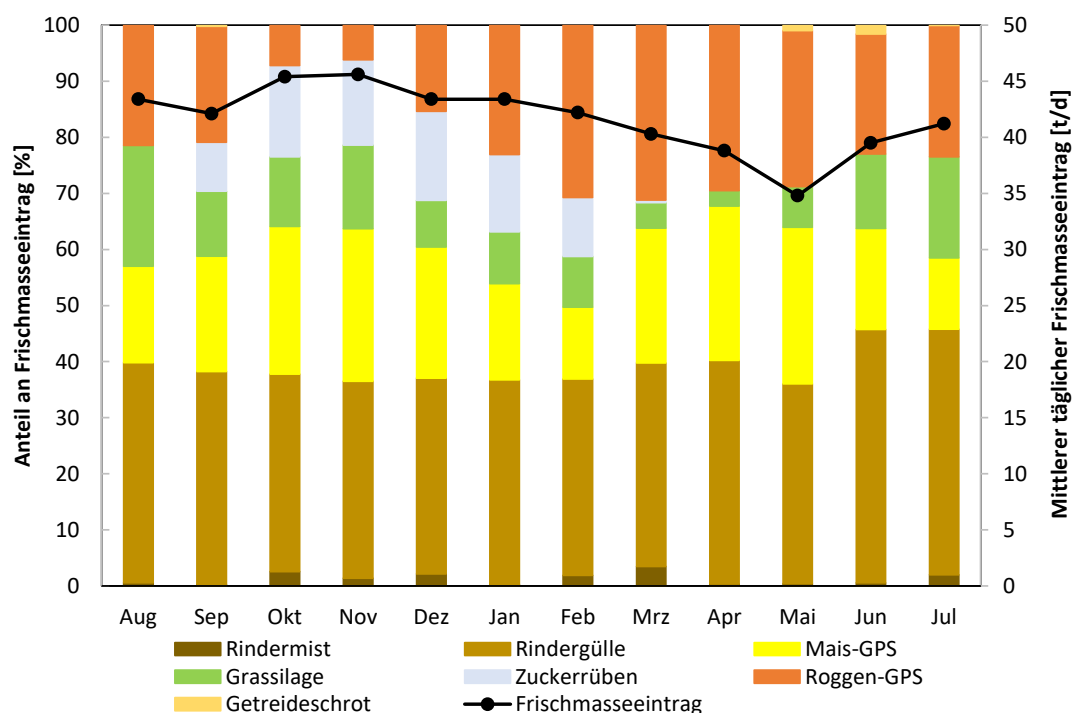


Abbildung 15-229: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung

Der in Abbildung 15-230 dargestellte FOS/TAC-Wert in Proben aus der ersten Vergärungsstufe lag durchgängig auf niedrigem Niveau. Im Jahresdurchschnitt wurde ein Wert von 0,26 ermittelt. In Proben aus dem Nachgärbehälter wurde allerdings im letzten Drittel der Untersuchung ein stark erhöhter FOS/TAC-Wert bestimmt, in Verbindung mit einer ebenfalls erhöhten Konzentration an Essigsäure. Die Ursache kann anhand der Datenlage nicht geklärt werden, möglicherweise spielte die Futterumstellung im Februar und März eine Rolle.

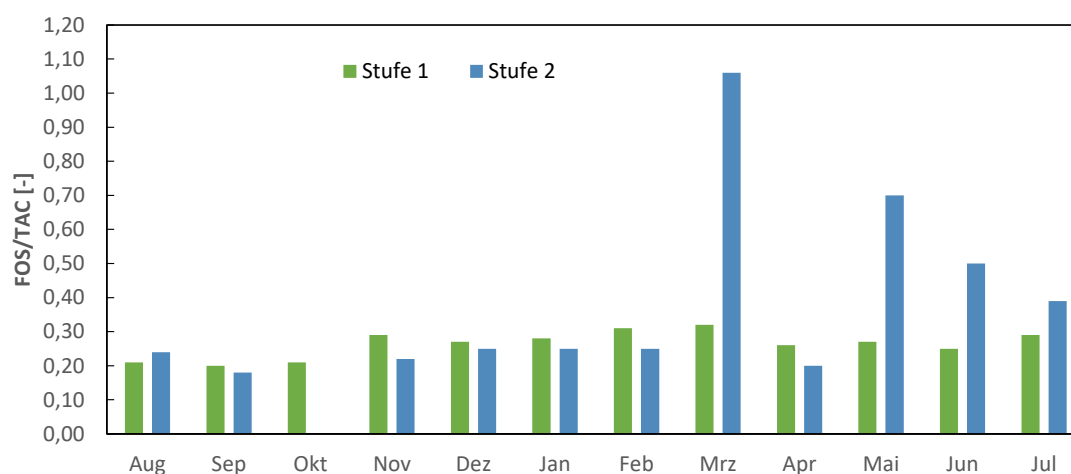


Abbildung 15-230: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe

Die elektrische Kapazität der Anlage konnte im Durchschnitt zu 93 % ausgelastet werden. Der Verlauf des elektrischen Auslastungsgrades wies dabei nur geringfügige Schwankungen auf (vgl. Abbildung 15-231).

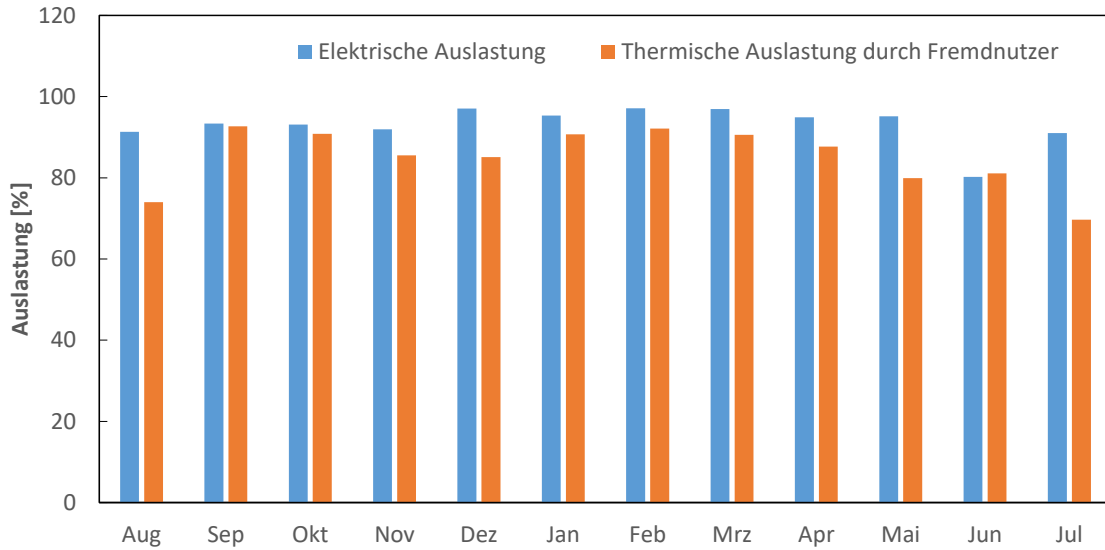


Abbildung 15-231: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie

Im betrachteten Untersuchungsjahr wurden insgesamt etwas mehr als 4.000 MWh thermische Energie für die Versorgung einer Trocknungsanlage und eines Nahwärmenetzes genutzt. Dies entspricht einem hervorragenden thermischen Nutzungsgrad von 86 %. Durch den ganzjährig möglichen Betrieb einer Trocknung waren die jahreszeitlich bedingten Schwankungen bei der externen thermischen Auslastung wenig ausgeprägt.

Aus einer Tonne der Einsatzstoffe wurden rund 80 m³ Methan gewonnen: unter Berücksichtigung des hohen Anteils an wasserreichen Einsatzstoffen (Gülle, Zuckerrüben) ein gutes Ergebnis. Verdeutlicht wird dies durch die oTS-bezogene Ausbeute von 346 m³ Methan (vgl. Tabelle 15-152). Der Abbaugrad der Organik betrug lediglich 68 %, was auf den hohen Wirtschaftsdüngeranteil zurückzuführen ist. Die Auslastung der elektrischen Kapazität kann kaum mehr gesteigert werden, insbesondere da nur ein BHKW betrieben wird. Die im Beobachtungsjahr ermittelten Laufzeiten können auch wegen der regelmäßigen Wartungsarbeiten kaum noch übertroffen werden. Ebenso kann der außerordentlich hohe Wärmenutzungsgrad praktisch nicht mehr verbessert werden.

Tabelle 15-152: Datenblatt BGA 54

BGA 54									
Allgemeine Angaben:									
installierte elektrische Leistung	549 kW								
Inbetriebnahme	2006								
Zeitraum der Messphase	08.2017 - 07.2018								
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente								
Gasverwertung	1 VOV-BHKW								
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein								
Betriebsform	Einzelhofanlage, angeschlossener landwirtschaftlicher Betrieb mit Tierhaltung								
Bauliche Anlagen:									
Benennung		Fermenter	Nachgärer		Fermentersystem	Einsatzstoffe:			
Anzahl		1	1			Mengenangaben in FM			
Reaktorvolumen	[m³]	600	2.281		2.881	Gesamt-Jahresmenge 15.213 [t/a]			
Arbeitsvolumen	[m³]	600	2.200		2.800	Gesamt-Tagesmenge 41,7 [t/d]			
stehend / liegend	[-]	liegend (Quader)	stehend			Grassilage 11,3 [%]			
Gasspeichervolumen	[m³]	0	950		950	Mais-Ganzpflanzensilage 21,3 [%]			
Betriebsparameter:									
TS-Gehalt in FM	[%]	11,2	9,0			Rindergülle 37,9 [%]			
oTS-Gehalt in TS	[%]	79,7	75,9			Rindermist 1,4 [%]			
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]				3,5 _{FS}	Roggen-Ganzpflanzensilage 21,1 [%]			
Verweilzeit	[d]				67 _{FS}	Zuckerrüben 7,1 [%]			
oTS-Abbau	[%]				68 _{GSV}	Getreideschrot 0,2 [%]			
FoTS-Ausbeute	[%]				94 _{GSV}	Einsatzstoffmix			
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]				1,2 _{FS}	mittlerer TS-Gehalt in FM 25,1 [%]			
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]				2,3 _{FS}	mittlerer oTS-Gehalt in TS 93,2 [%]			
pH	[-]	7,8	7,6			mittlerer FoTS-Gehalt in TS 75,6 [%]			
Temperatur	[°C]	43	41			Gärrestlager:			
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,0				Anzahl 2			
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	5,1				Lagerkapazität gasdicht 2.200 [m³]			
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	319	1.666			Lagerkap. nicht gasdicht / offen 2.200 [m³]			
FOS/TAC	[-]	0,26	0,39			Gasspeichervolumen 950 [m³]			
Gasverwertung:									
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	74				relatives Restmethanpotential 5,7* [%]			
		BHKW 1				TS-Gehalt im Gärrest in FM 8,2 [%]			
Motorotyp		GO				oTS-Gehalt im Gärrest in TS 72,8 [%]			
elektr. Nennleistung	[kW]	549				*Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter			
therm. Nennleistung	[kW]	580				Gasproduktion:			
elektr. Wirkungsgrad	[%]	40,4				Messung am BHKW			
therm. Wirkungsgrad	[%]	42,9				Gaszusammensetzung			
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast				[Vol-%] CH ₄ 51,6			
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	8.616				[Vol-%] CO ₂ -			
theor. Volllaststunden	[h/a]	8.156				[Vol-%] O ₂ 0,5			
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	93				[ppm] H ₂ S 41			
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas									
Eigenstrombedarf:									
	[kWh/a]				Wärmeverwertung:				
BGA gesamt	307.130	6,9	[% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA		[kWh/a]			
davon BHKW				externe Wärmemenge		175.781	4	[% der Wärmeproduktion]	
davon BGA				Wärmenetz		4.006.160	86	[% der Wärmeproduktion]	
				Trocknung		2.478.614	53	[% der Wärmeproduktion]	
				Wohnhaus, Werkstatt		1.362.292	29	[% der Wärmeproduktion]	
						165.254	4	[% der Wärmeproduktion]	

Tabelle 15-153: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 54 im Jahr 2017

BGA 54				
installierte elektrische Leistung	549	kW	eingespeiste Strommenge 2017	4.505.749 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	522	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	3.778.864 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	78,83	%	898.104	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	21,10	%	240.383	€/a
Sonstige Erlöse	0,07	%	800	€/a
Gesamterlöse	100	%	1.139.287	€/a
Kosten				
Substratkosten	44,80	%	394.064	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	41,00	€/t	150.347	€/a
Gras	43	€/t	104.232	€/a
Restliche NawaRo	40,32	€/t	133.062	€/a
Personalkosten	3,91	%	34.378	€/a
Instandhaltungskosten	12,59	%	110.758	€/a
Abschreibungen	23,23	%	204.287	€/a
Sonstige Betriebskosten	15,47	%	136.612	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug			48.840	€/a
Miete und Pacht			-	€/a
Maschinenmiete und Leasing			-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			5.060	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			35.129	€/a
Berufsgenossenschaft			600	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			3.500	€/a
Zinszahlungen			20.383	€/a
Buchführung und Verwaltung			-	€/a
Sonstiges			23.100	€/a
Gesamtkosten	100	%	880.100	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			25,29	ct/kWh
Stromgestehungskosten			19,53	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			5,75	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			259.187	€/a

15.54 Biogasanlage 55

15.54.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 55 befindet sich im nördlichen Oberbayern und ist in einen landwirtschaftlichen Betrieb mit eigenem Feldebau und Tierhaltung integriert. Die 2-stufige Anlage wurde Ende 2005 in Betrieb genommen und wird ausschließlich mit nachwachsenden Rohstoffen betrieben. Mit einer Leistung von ca. 1,4 MW gehört sie regional zu den größeren Betrieben und ist die einzige, von der LfL betreute Anlage, die produziertes Biogas in ein Mikrogasnetz einspeist. Gleichzeitig werden in zwei BHKW etwas mehr als 40 % des Gases zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt.

Die Anlage besteht aus zwei parallel geschalteten Fermentern mit einem Arbeitsvolumen von je 1.450 m³. Diese werden zu gleichen Teilen beschickt, indem Substrat durch ein Schubbodensystem in Richtung einer Stirnseite des Vorlagebehälters (65 m³) transportiert wird. Dort wird es durch Fräsrollen einer Austragsschnecke zugeführt, die es dann an ein Förderband übergibt, durch das der Höhenunterschied zu den zwei Stopfschnecken überwunden wird, von denen je eine einen Fermenter versorgt. Mehr als 96 % der eingesetzten Rohstoffe bestehen aus Mais Ganzpflanzensilage und Grassilage. Aus diesem Grund dürfte auch eine mit 930 m³ Arbeitsvolumen vergleichsweise große Vorgrube vorhanden sein. Denn durch die einseitige Ernährung ggf. hervorgerufene biologische Störungen, können durch die Zufuhr von frischem Impfmateriell über die Vorgrube beseitigt werden. Der Nachgärer hat ein Arbeitsvolumen von 2.200 m³ und im Gärrestlager können 5.500 m³ Gärreststände gelagert werden. In den Fermentern beträgt die Gärtemperatur 46°C, im Nachgärer 45°C. Alle Gärbehälter sind mit Betondecken versehen und werden durch Wandheizungen mit Kunststoffrohren mit Wärme versorgt. Das Gärrestlager ist mit einer Tragluftfolie ausgestattet, die gleichzeitig als Gasspeicher mit einem Lagervolumen von 1.400 m³ dient. Zur Durchmischung ist jeder Gärbehälter mit drei, das Endlager mit zwei und die Vorgrube mit einem höhen- und richtungsverstellbaren Tauchrührwerk ausgestattet. Von den insgesamt 12 Rührgeräten werden sechs durch externe Hydraulikmotoren angetrieben, bei den übrigen handelt es sich um Tauchmotorantriebe. Welche Antriebe in den jeweiligen Gärbehältern im Einsatz sind, ist in Abbildung 15-232 ersichtlich.

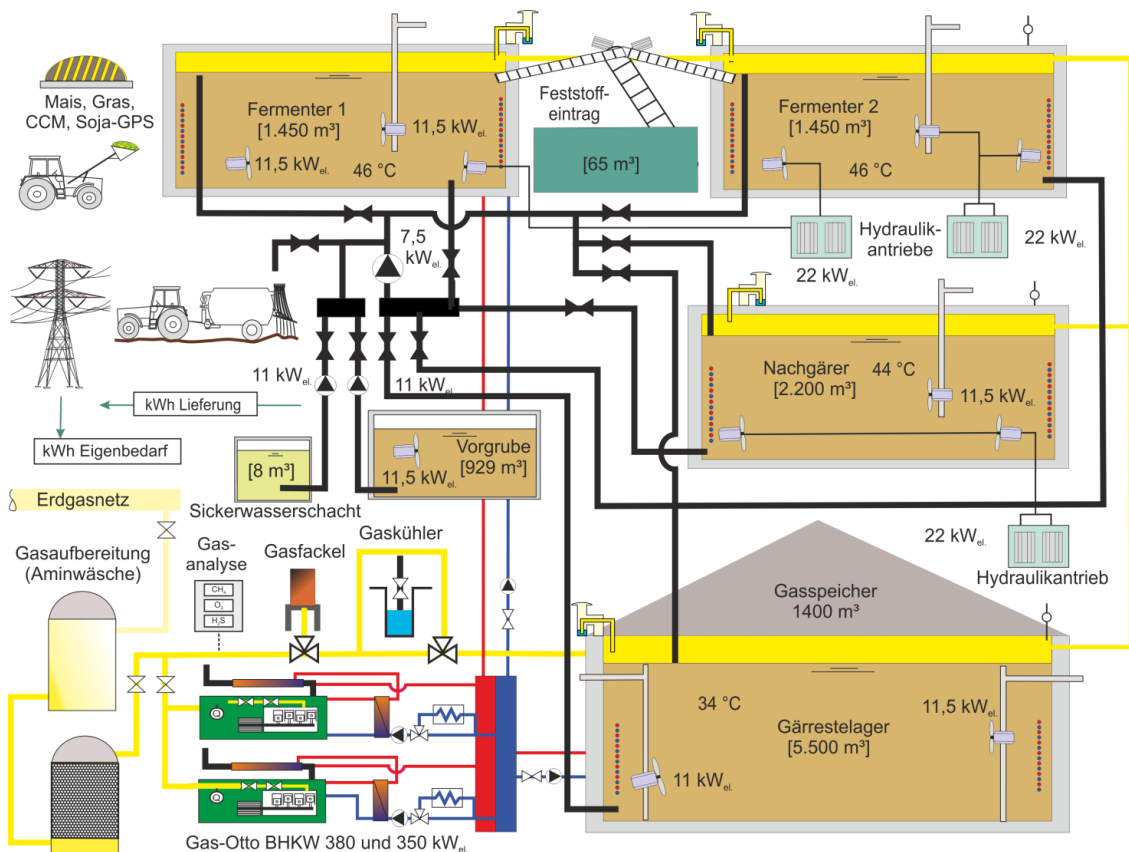


Abbildung 15-232: Fließschema der Biogasanlage 55

Wenn Impfmateriel über die Vorgrube in die Fermenter eingetragen werden muss, geschieht dies über eine separate Pumpe. Gleiches gilt für den Eintrag von Sickersäften, die in einem zusätzlichen Schacht (8 m³) aufgefangen werden. Mit einer dritten Pumpe werden die Gärsubstrate von einer Stufe zur nächsten transportiert. Dabei sind die Gülleleitungen so angeordnet, dass durch das Betätigen der entsprechenden Schieber, mit der gleichen Pumpe aus allen am Gärprozess beteiligten Behältern Gärsubstrat entnommen und einem beliebigen Behälter wieder zugeführt werden kann. Auch die Fassfüllstation wird so versorgt. Ausgenommen hiervon ist die Vorgrube.

Durch eine aktive Gaskühlung wird das Biogas entwässert. Zur Verstromung und zur Wärmeversorgung der Gärbehälter werden zwei BHKW mit einer elektrischen Gesamtleistung von 730 kW betrieben. Rund 60 % des produzierten Gases werden jedoch einem kommunalen Mikrogasnetz zugeführt. Das einzuspeisende Gas muss einer Trennung und Reinigung unterzogen werden. Die Anlage hierfür befindet sich zwar vor Ort, ist aber nicht Teil der Biogasanlage, sondern befindet sich im Besitz der Kommune, die auch das Gasnetz betreibt. Im Falle eines Ausfalls der Gasaufbereitungsanlage sind die beiden insgesamt nur zu 60 % ausgelasteten BHKW vorteilhaft, da durch sie überschüssiges Biogas verwertet werden kann und nicht über die Gasfackel vernichtet werden muss.

15.54.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Bei einer Gaseinspeiseanlage ist eine gute messtechnische Ausstattung Voraussetzung für die Abrechnung mit dem Gasabnehmer. Allerdings konnten für die Abrechnung der Gaseinspeisung weniger wichtige Größen, wie z. B. der Gasverbrauch der BHKW oder der Wärmeverbrauch der Fermenter, nicht gemessen werden. Die wichtigsten installierten Messgeräte sind in Tabelle 15-154 dargestellt.

Tabelle 15-154: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 55

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Menge der festen Einsatzstoffe	Wägezellen an den Feststoffeintragssystemen	Tägliche Dokumentation
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	-	Keine flüssigen Substrate
Gaszusammensetzung	Gasanalysegerät mit Sensoren für: CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Tägliche Dokumentation
Gasmenge	Keine Messung an BHKW; Gaszähler nur für geliefertes Gas	Gesamtgasmenge berechnet (nach BMP III Methode)
Stromerzeugung	Stromzähler	Tägliche Dokumentation (BHKW); Stromlieferung monatlich (Stromabrechnung)
Eigenstrombedarf	Stromzähler	Volleinspeisung – Monatliche Dokumentation des Strombezugs
Eigenwärmebedarf	-	Keine Wärmemengenzähler vorhanden

15.54.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Diese Anlage wurde nahezu ausschließlich mit Mais-Ganzpflanzensilage und Grassilage betrieben. Andere Einsatzstoffe wurden nur unregelmäßig eingesetzt und spielten mit einem mittleren Anteil von zusammen 3 % praktisch keine Rolle im Substratmix (vgl. Abbildung 15-233). Täglich wurden hier durchschnittlich rund 61 t Material eingetragen, wobei die Futtermenge nur geringfügig schwankte. Das Fehlen von flüssigen Wirtschaftsdüngern war Ursache dafür, dass die Substratmischung einen TS-Gehalt von nahezu 40 % aufwies.

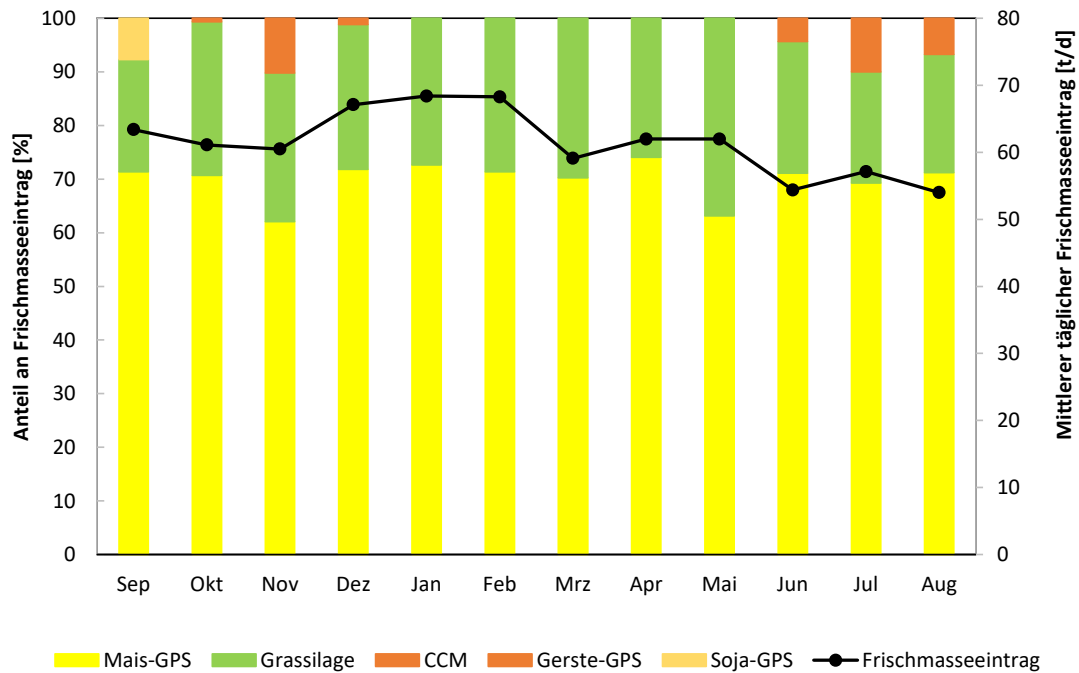


Abbildung 15-233: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung

Trotz der einseitigen Futterzusammensetzung und einer vergleichsweise hohen Gesamtraumbelastung wurden keine FOS/TAC-Werte ermittelt, die auf eine Beeinträchtigung der biologischen Verhältnisse hingewiesen hätten. Darüber hinaus wurden zu keiner Zeit erhöhte Konzentrationen an flüchtigen Fettsäuren in Proben aus den Gärbehältern ermittelt. Die Daten weisen auf einen gleichmäßigen und stabilen Anlagenbetrieb hin (vgl. Abbildung 15-234).

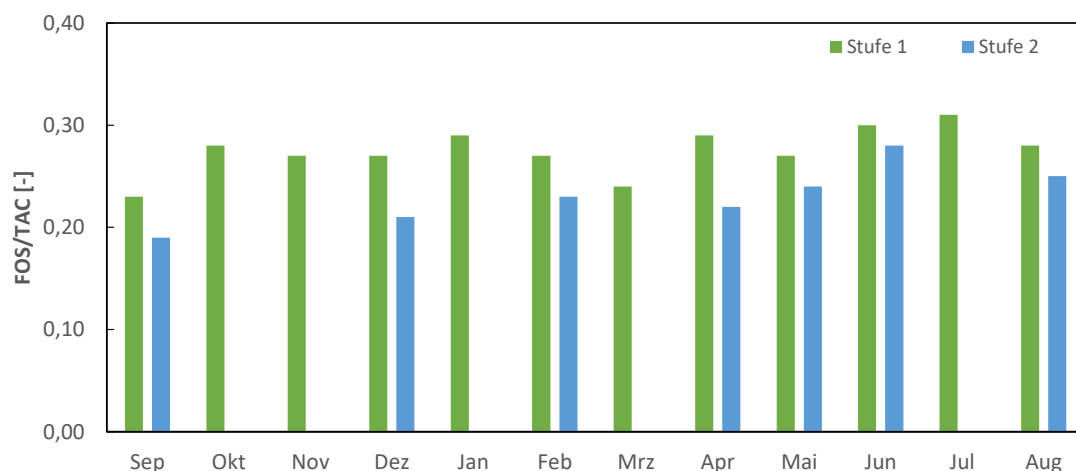


Abbildung 15-234: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe

Die Gesamtleistung der beiden an der Biogasanlage betriebenen BHKW konnte zu rund 60 % ausgelastet werden. Allerdings liegt hier die Priorität auch nicht bei der Strom- sondern bei der Gaseinspeisung in ein Mikrogasnetz der Stadtwerke München. An dieses wurden täglich durchschnittlich 8.400 m³ Biogas geliefert. Dies entspräche einer mittleren elektrischen Leistung von ca. 715 kW, wenn der Brennstoff in einem BHKW verwertet würde. Die überschüssige vor Ort erzeugte BHKW-Wärme wird leider nicht verwertet (vgl. Abbildung 15-235).

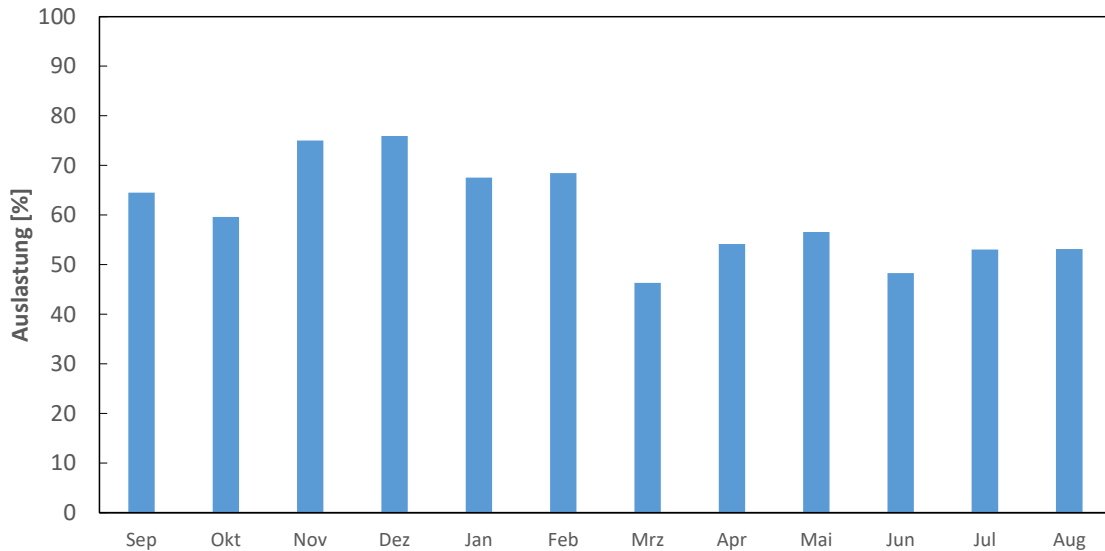


Abbildung 15-235: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW

Aus einer Tonne des Substratmix wurden rund 120 m³ Methan gewonnen: unter Berücksichtigung der relativ einseitigen Futtermischung ein gutes Ergebnis. Gleichzeitig wurden zu keiner Zeit Anzeichen von biologischer Instabilität festgestellt, die sich in erhöhten FOS/TAC-Werten oder Essigsäureäquivalenten widerspiegeln würden. Mit 88 % lag hier der Abbaugrad der zugeführten organischen Substanz entsprechend hoch. Die vor Ort installierte BHKW-Leistung wurde nur zu 60 % ausgelastet. Unter Berücksichtigung der täglich gelieferten 43 MWh Energie in Form von eingespeistem Biomethan erreichte die Biogasanlage eine Gesamtleistung von 1,16 MW. Insgesamt wirkt sich hier die Fokussierung auf die Biomethaneinspeisung nachteilig auf die Gesamteffizienz der Anlage aus.

Tabelle 15-155: Datenblatt der Anlage 55

BGA 55															
Allgemeine Angaben:															
installierte elektrische Leistung	730 kW														
Inbetriebnahme	2005														
Zeitraum der Messphase	09.2017 - 08.2018														
Einsatzstoffe	NawaRo														
Gasverwertung	2 VOV-BHKW, Gasaufbereitung zu Biomethan & Einspeisung in ein Mikrogasnetz														
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein														
Betriebsform	Einzelhofanlage, angeschlossener landwirtschaftlicher Betrieb mit Tierhaltung														
Bauliche Anlagen:						Einsatzstoffe:									
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem		Mengenangaben in FM									
Anzahl		2	1			Gesamt-Jahresmenge	22.411 [t/a]								
Reaktorvolumen	[m³]	3.050	2.281	5.331		Gesamt-Tagesmenge	61,4 [t/d]								
Arbeitsvolumen	[m³]	2.900	2.200	5.100		Grassilage	26,8 [%]								
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend			Mais-Ganzpflanzensilage	69,9 [%]								
Gasspeichervolumen	[m³]	0	0	0		Maiskornsilage	1,0 [%]								
Betriebsparameter:						Soja-Ganzpflanzensilage	0,7 [%]								
						Gerste-Ganzpflanzensilage	1,6 [%]								
							[%]								
							[%]								
						Einsatzstoffmix									
						mittlerer TS-Gehalt in FM	39,9 [%]								
						mittlerer oTS-Gehalt in TS	95,4 [%]								
						mittlerer FoTS-Gehalt in TS	81,4 [%]								
						Gärrestlager:									
												Anzahl	1		
Lagerkapazität gasdicht	5.500 [m³]														
Lagerkap. nicht gasdicht / offen	[m³]														
Gaspeichervolumen	1.400 [m³]														
relatives Restmethanpotential	0,7* [%]														
TS-Gehalt im Gärrest in FM	8,5 [%]														
oTS-Gehalt im Gärrest in TS	73,6 [%]														
*Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter															
Gasverwertung:												Gasproduktion:			
						Messung	am BHKW								
						Gaszusammensetzung									
						[Vol.-%]	CH ₄	51,3							
						[Vol.-%]	CO ₂	-							
						[Vol.-%]	O ₂	-							
						[ppm]	H ₂ S	63							
						Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix									
							Biogas	Methan							
						[m³/ t] in FM	233	119							
						[m³/t] in oTS	611	314							
Stromproduktion															
	[kWh/d]	10.538													
	[kWh/t]	-													
Biogasaufbereitung															
	[kWh/d]	43.130													
	[m³/h]	350													
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas															
Eigenstrombedarf:						Wärmeverwertung:									
	[kWh/a]					[kWh/a]									
BGA gesamt	604.843	15,7	[% der Stromproduktion]		Eigenbedarf BGA		[% der Wärmeproduktion]								
davon BHKW	76.927	2,0	[% der Stromproduktion]												
davon BGA	527.916	13,7	[% der Stromproduktion]												

15.55 Biogasanlage 56

15.55.1 Anlagenbeschreibung

Anlage 56, die im niederbayerischen Landkreis Dingolfing-Landau gelegen ist, wurde 2004 in Betrieb genommen. Der landwirtschaftliche Betrieb mit 2.000 Mastschweinen, wird durch die Biogasanlage ergänzt. Es handelt sich um eine Co-Vergärungsanlage, bei welcher der Substratmix zu 35 – 40 % aus Schweinegülle (Masthaltung) besteht. Die Bemessungsleistung liegt bei 703 kW. Durch stetige Erweiterungsmaßnahmen ist inzwischen eine installierte elektrische Gesamtleistung von 1,3 MW installiert. Abbildung 15-236 verdeutlicht den Anlagenaufbau.

Aus dem Mastschweinestall gelangt die Gülle in eine Vorgrube (90 m³), die mit einem Tauchmotorrührwerk ausgestattet ist. Fermenter 1 wird über einen Feststoffeintrag (Fassungsvermögen: 50 m³, Schubboden, Steigschnecke) beschickt, Fermenter 2 über eine Flüssigfütterung (Fassungsvermögen: 20 m³), die wiederum per Abschiebeeinrichtung mit festen Zuschlagsstoffen versorgt wird. Eine Exzentrerschneckenpumpe dosiert Gülle hinzu und fördert das Gemisch in den zweiten Fermenter. Beide Gärbehälter haben ein Nutzvolumen von 1.400 m³ und werden mit je zwei Stabmixern durchmischt. Die Gärtemperatur beträgt 48°C.

Von den Fermentern wird das Gärgemisch in die beiden Nachgärer (Arbeitsvolumen: je 1.800 m³) gepumpt. Die Einfachmembrandach-Abdeckung der beiden Behälter fasst jeweils ca. 600 m³ Biogas. Durch einen freien Überlauf gelangt der Gärrest in den Lagerbehälter mit Gaserfassung (Kapazität: 4.500 m³). Nachgärer und Gärrestlager sind jeweils mit zwei Tauchmotorrührwerken ausgestattet. Bei Bedarf kann durch einen mobilen Separator Gärrest abgepresst werden. Im Mai 2018 wurde für die Gärbehälter eine Beregnungsanlage nachgerüstet, welche Substrat auf der Oberfläche des Gärgemisches verteilt.

Durch eine aktive Gaskühlung wird das Biogas entwässert. Zur Verstromung stehen drei BHKW an der Anlage bereit, von denen nur das größte betrieben wird. Zwei Satelliten BHKW versorgen 17 Wohnhäuser und eine Schreinerei mit Wärme. Auf dem Hof werden drei Häuser, der Schweinestall und eine Mais- bzw. Hackschnitzeltrocknung mit Wärme versorgt. Durch die Vielzahl der Motoren kann eine flexible Fahrweise realisiert werden. Das nahende Ende der festen EEG-Vergütungsfrist hätte bei einer Verlängerung eine Vergütung nach EEG 2017 zur Folge.

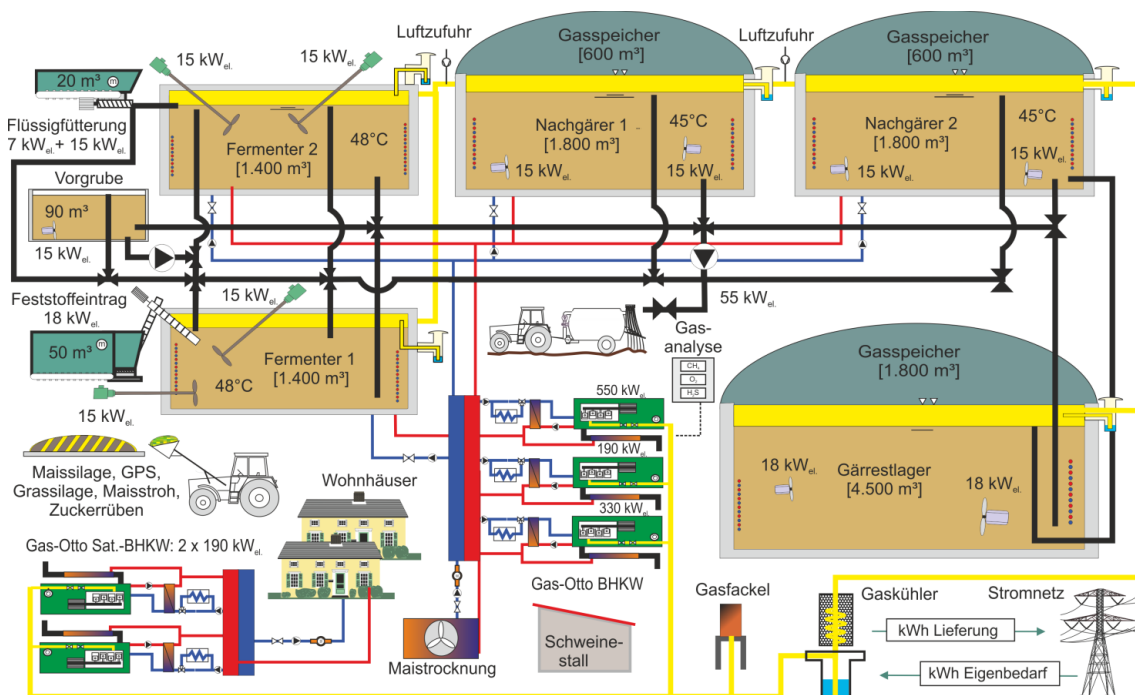


Abbildung 15-236: Fließschema der Biogasanlage 56

15.55.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Auf BGA56 konnten einige Messaufgaben nicht zufriedenstellend gelöst werden, wie es Tabelle 15-156 zusammenfasst.

Tabelle 15-156: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 56

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Menge der festen Einsatzstoffe	Wägezellen an den Feststoffeintragsystemen	Tägliche Dokumentation
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	Kombination von Pumpenlaufzeit und Nenndurchfluss der Pumpe	Ungenau
Gaszusammensetzung	Gasanalysator mit Sensoren für: CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Separate Messung für Vor-Ort- und Satelliten-BHKW
Gasmenge	Kein Zähler vorhanden	Berechnet (nach BMP III Methode)
Stromerzeugung	Zähler am BHKW und am Einspeisetransformator	Tägliche Dokumentation (BHKW) Monatliche Dokumentation (Trafo)
Eigenstrombedarf	= Produktion - Einspeisung + Zukaufstrom	Monatliche Dokumentation für 2017
Eigenwärmebedarf	-	Keine Wärmemengenzähler vorhanden

15.55.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Der Betrieb von Anlage 56 war durch eine vielseitige Futtermischung gekennzeichnet. Insgesamt wurden neun verschiedene Substrate eingesetzt, wobei der Schwerpunkt bei Schweinegülle und Mais-Ganzpflanzensilage lag. Durchschnittlich wurden täglich rund 42 t Frischmasse eingetragen. Die in Abbildung 15-237 erkennbaren leichten Schwankungen der verabreichten Futtermenge hingen vom Anteil energiereicherer Rohstoffe ab. Bei steigendem Maisanteil etwa sank die Zugabe von Frischmasse gegen Ende des Beobachtungszeitraums leicht ab. Der Trockensubstanzgehalt der Futtermischung betrug durchschnittlich rund 22 %.

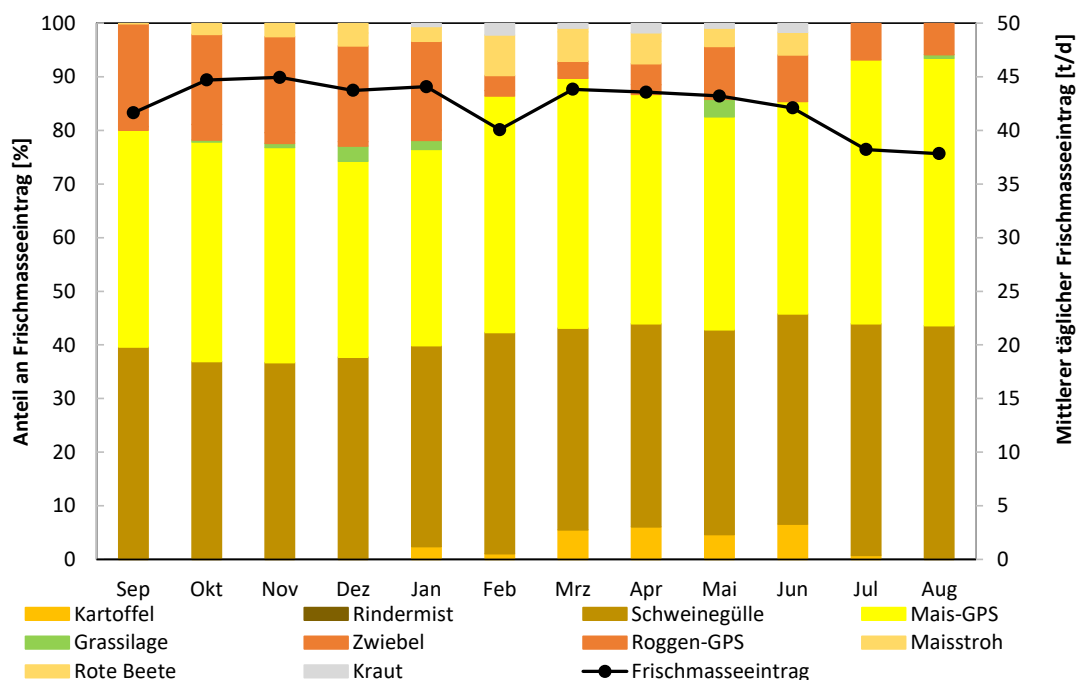


Abbildung 15-237: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung

Auf Basis der ermittelten FOS/TAC-Werte und der Gehalte an flüchtigen Fettsäuren in Proben aus dem ersten Fermenterlässt sich auf eine gering belastete und sehr stabile Gärbiologie schließen, was vermutlich der ausgewogenen Futtermischung geschuldet ist (vgl. Abbildung 15-238).

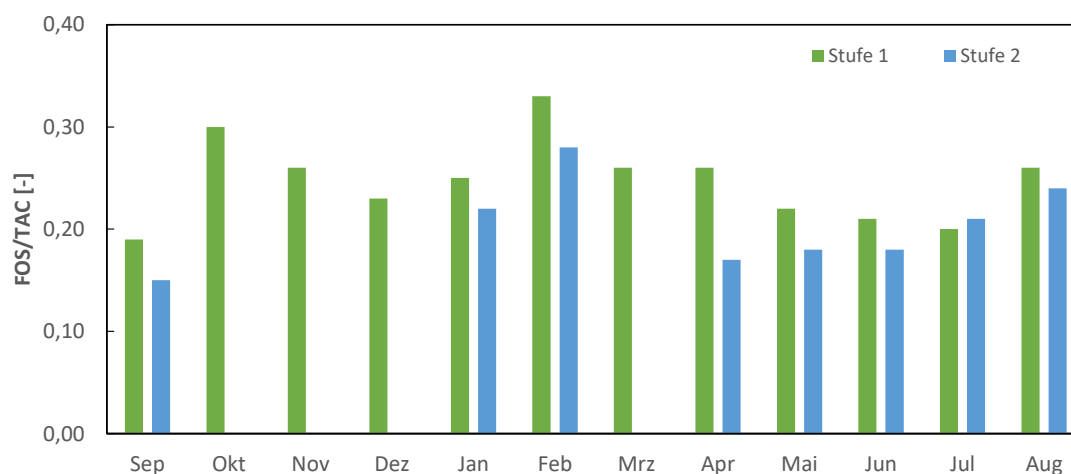


Abbildung 15-238: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe

Die installierte elektrische Leistung des einzigen an der Biogasanlage betriebenen BHKW wurde zu rund 73 % ausgelastet. Bezogen auf die Höchstbemessungsleistung (440 KW) wurde die Maschine zu rund 91 % ausgelastet. Die beiden anderen Aggregate an der Anlage wurden nicht betrieben. Die zwei Satelliten-BHKW wurden im Wechsel gefahren: Das erste produzierte bis Dezember 2017 Strom und wurde dann vom zweiten BHKW mit der gleichen Leistung abgelöst. Dennoch wurden für die Höchstbemessungsleistung beide BHKW berücksichtigt, woraus sich für die Gesamtanlage ein mittlere Auslastungsgrad von knapp unter 60 % ergab (vgl. Abbildung 15-239).

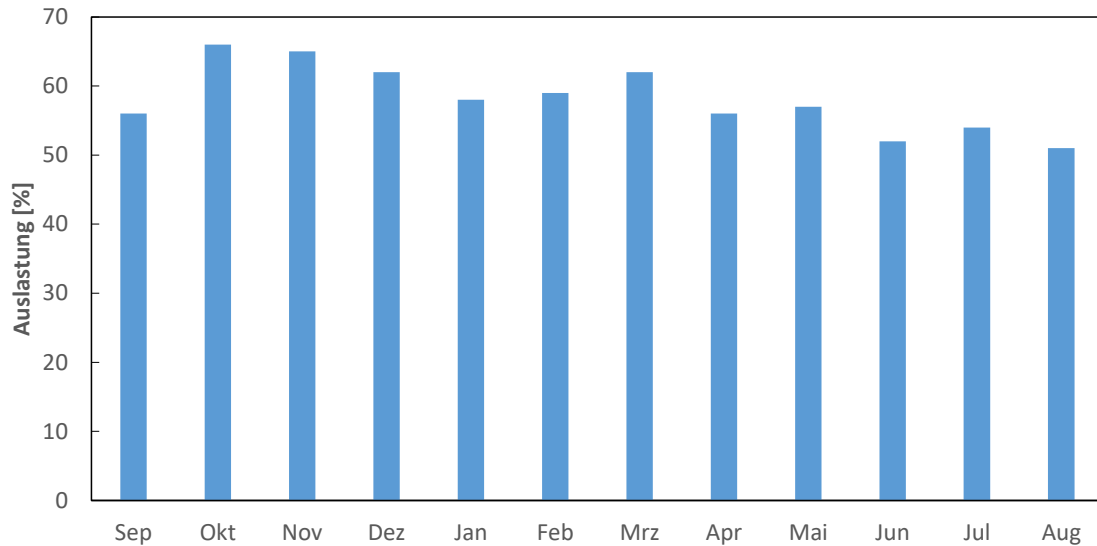


Abbildung 15-239: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW

Die extern genutzten Wärmemengen konnten hier nicht detailliert aufgezeichnet werden. Die genutzte Gesamtwärmemenge ist jedoch bekannt und betrug im Beobachtungszeitraum rund 3.200 MWh. Dies entspricht einem guten Wärmenutzungsgrad von 64 %.

Aus einer Tonne des Substratmix wurden rund 80 m³ Methan gewonnen, was unter Berücksichtigung des Gülleanteils als gute Ausbeute betrachtet werden kann. Gleiches gilt für den Abbaugrad der zugeführten Organik der mit 84 %. Die installierte BHKW-Leistung könnte deutlich besser ausgelastet werden, insbesondere in Bezug auf die Satelliten-BHKW. Bezüglich der Wärmenutzung war unter den gegebenen Betriebsbedingungen an dieser Anlage keine Verbesserung zu erreichen, da inklusive der für den Anlagenbetrieb erforderlichen thermischen Energie deutlich mehr als 90 % der Abwärme verwertet wurden. Die ermittelten Betriebsdaten sind in Tabelle 15-157 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 15-157: Datenblatt der Anlage 56

BGA 56									
Allgemeine Angaben:									
installierte elektrische Leistung	930 kW								
Inbetriebnahme	2004								
Zeitraum der Messphase	09.2017 - 08. 2018								
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente und Reststoffe								
Gasverwertung	3 VOV-BHKW, 2 Satelliten-BHKW								
Erhalt Flexibilitätsprämie	ja								
Betriebsform	Einzelhofanlage, angeschlossener landwirtschaftlicher Betrieb mit Tierhaltung								
Bauliche Anlagen:						Einsatzstoffe:			
Benennung		Fermenter	Nachgärer		Fermentersystem	Mengenangaben in FM			
Anzahl		2	2			Gesamt-Jahresmenge	15.449 [t/a]		
Reaktorvolumen	[m³]	3.000	3.800		6.800	Gesamt-Tagesmenge	42,3 [t/d]		
Arbeitsvolumen	[m³]	2.800	3.600		6.400	Grassilage	0,8 [%]		
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend			Mais-Ganzpflanzensilage	44,8 [%]		
Gasspeichervolumen	[m³]	0	1.200		1.200	Roggen-Ganzpflanzensilage	10,7 [%]		
						Schweinegülle	39,0 [%]		
Betriebsparameter:						Zwiebel	2,0 [%]		
TS-Gehalt in FM	[%]	7,1	5,5			Kartoffel	2,3 [%]		
oTS-Gehalt in TS	[%]	78,6	73,1			Rote Beete	0,4 [%]		
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]				1,3 _{FS}	Einsatzstoffmix			
Verweilzeit	[d]				151 _{FS}	mittlerer TS-Gehalt in FM	21,8 [%]		
oTS-Abbau	[%]				84 _{GSV}	mittlerer oTS-Gehalt in TS	91,0 [%]		
FoTS-Ausbeute	[%]				108 _{GSV}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	76,9 [%]		
CH ₄ -Produktivität	[m³ /(m³ d)]				0,5 _{FS}				
BG-Produktivität	[m³ /(m³ d)]				1,1 _{FS}				
pH	[-]	7,8	7,9			Gärrestlager:			
Temperatur	[°C]	48	45			Anzahl	1		
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,7	3,0			Lagerkapazität gasdicht	4.500 [m³]		
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	4,6	4,4			Lagerkap. nicht gasdicht / offen	0 [m³]		
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	261	118			Gasspeichervolumen	1.800 [m³]		
FOS/TAC	[-]	0,25	0,21			relatives Restmethanpotential	2,1* [%]		
						TS-Gehalt im Gärrest in FM	5,5 [%]		
						oTS-Gehalt im Gärrest in TS	73,1 [%]		
						*Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter			
Gasverwertung:						Gasproduktion:			
						Messung	am BHKW		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	63				Gaszusammensetzung			
		BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3		[Vol-%]	CH ₄	49,2	
Motortyp		GO	GO	GO		[Vol-%]	CO ₂	44,6	
elektr. Nennleistung	[kW]	550	190	190		[Vol-%]	O ₂	0,3	
therm. Nennleistung	[kW]	570	240	240		[ppm]	H ₂ S	24	
elektr. Wirkungsgrad	[%]	42,5	39,9	39,9		Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix			
therm. Wirkungsgrad	[%]	44,0	50,5	50,5			Biogas	Methan	
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast	Teillast	Teillast		[m³/ t] in FM	162	80	
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	8.002	2.441	5.440		[m³/t] in oTS	817	402	
theor. Volllaststunden	[h/a]	6.391	1.778	4.694		Stromproduktion			
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	73	20	54		[kWh/d]	12.998		
						[kWh/t]	307		
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas									
Eigenstrombedarf:					Wärmeverwertung:				
	[kWh/a]					[kWh/a]			
BGA gesamt	412.720	8,7	[% der Stromproduktion]		Eigenbedarf BGA	1.508.736	30	[% der Wärmeproduktion]	
					externe Wärmemenge	3.194.324	64	[% der Wärmeproduktion]	
					davon Nahwärmenetz	571.429	11	[% der Wärmeproduktion]	
					davon Trocknung, Stallheizung	2.622.895	53	[% der Wärmeproduktion]	

Tabelle 15-158: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 56 im Jahr 2017

BGA 56					
installierte elektrische Leistung	930	kW	eingespeiste Strommenge 2017	5.042.200	kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	703	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	1.980.000	€
Leistungen					
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	87,57	%		1.123.914	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	11,26	%		144.583	€/a
Sonstige Erlöse	1,17	%		15.000	€/a
Gesamterlöse	100	%		1.283.498	€/a
Kosten					
Substratkosten	53,60	%		373.589	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>					
Mais	40,00	€/t		255.576	€/a
Gras	35	€/t		1.862	€/a
Restliche NawaRo	42,79	€/t		112.603	€/a
Personalkosten	4,97	%		34.650	€/a
Instandhaltungskosten	2,87	%		20.000	€/a
Abschreibungen	20,22	%		140.967	€/a
Sonstige Betriebskosten	18,34	%		127.824	€/a
<i>davon</i>					
Zündöl				-	€/a
Strombezug				89.433	€/a
Miete und Pacht				-	€/a
Maschinenmiete und Leasing				-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung				6.000	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben				5.000	€/a
Berufsgenossenschaft				2.000	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel				5.000	€/a
Zinszahlungen ¹				16.391	€/a
Buchführung und Verwaltung				-	€/a
Sonstiges				4.000	€/a
Gesamtkosten	100	%		697.030	€/a
Bilanz					
Gesamterlöse				25,46	ct/kWh
Stromgestehungskosten				13,82	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				11,63	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				586.468	€/a

¹ Abschätzung der Zinszahlungen aus der Angabe von Kreditvolumen, Kreditlaufzeit und effektiven Jahreszins

15.56 Biogasanlage 57

15.56.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 57 ist als Gülleanlage in einen ökologischen wirtschaftenden Betrieb eingegliedert und markiert bei einer installierten elektrischen Leistung von 75 kW das untere Ende der Leistungsspanne der gemessenen Biogasanlagen. Der Großteil der Gasproduktion stammt aus tierischen Exkrementen (Rindermist und Schweinegülle) mit einem Massenanteil im Gesamteintrag von ca. 81 %. Als weitere Substrate kommen Kleegrassilage (17 %) und geringe Mengen an Getreideschrot zum Einsatz. Die Anlage ist seit Januar 2016 in Betrieb.

Da sich der Feststoffeintrag mit einem Fassungsvermögen von 12 m³ auf dem Höhnenniveau der befahrbaren Betondecke des Fermenters (Arbeitsvolumen: 850 m³) befindet, sind für die Zugabe von festen Substraten lediglich zwei Zuführwalzen und eine Stopfschnecke erforderlich (vgl. Abbildung 15-240).



Abbildung 15-240: Ansicht der BGA57 mit Feststoffeintrag und Fermenter mit Rührgeräten (im Vordergrund) und Nachgärer mit Gasspeicherhaube (rechts im Hintergrund)

Die dünnflüssige Schweinegülle wird zunächst in einer Vorgrube gesammelt (Lagerkapazität: 300 m³) und mittels Tauchpumpe in den Fermenter gefördert. Der Fermenter mit Massivdecke wird auf 44°C temperiert und durch eine Kombination aus Langachsrührwerk und vertikal angeordnetem, langsam laufenden Paddelrührwerk durchmischt. Der oberste Rotor des Paddelrührwerks ist schwimmend gelagert, so dass er sich an den schwankenden Füllstand im Gärbehälter anpasst. Über einen freien Überlauf fließt das Gärmedium in den Nachgärbehälter (Arbeitsvolumen: 1.400 m³) mit Einfachfolienhaube (Gaslagerkapazität: 450 m³). Dieser Behälter wird durch ein Tauchmotorrührwerk durchmischt und auf 38°C temperiert.

Für den Fall einer Verstopfung des Überlaufs kann das Gärgemisch auch aktiv über die Pumpstation in den Nachgärer gefördert werden. Mit dieser kann bei Bedarf Gärgemisch zwischen den Gärbehältern und dem Gärrestlager hin und her gepumpt sowie die Fassfüllstation bedient werden. Das Gärrestlager mit einem Fassungsvermögen von 1.800 m³ ist offen ausgeführt und wird ausschließlich über die Pumpenstation befüllt.

Mit der überschüssigen BHKW-Wärme werden die Werkstatt, die Betriebsgebäude und vier Wohnungen versorgt. Funktionsprinzip und Stoffströme von BGA 57 sind schematisch in Abbildung 15-241 dargestellt.

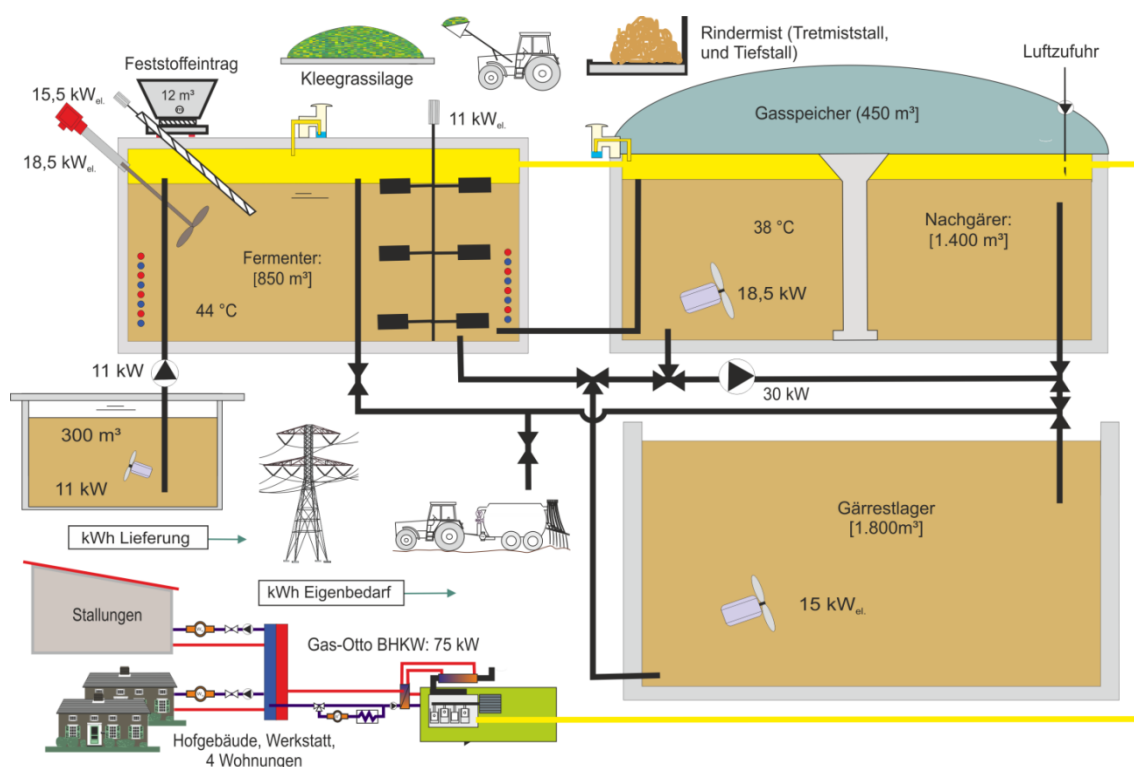


Abbildung 15-241: Fließschema der Biogasanlage 57

15.56.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Für die vergleichsweise kleine Anlage sind Investitionen in teure Messtechnik wirtschaftlich schwierig zu vermitteln und auch nicht unbedingt notwendig, da durch den hohen Wirtschaftsdüngeranteil in der Regel ein stabiler Betrieb gewährleistet ist. Die Messaufgaben konnten deshalb nur eingeschränkt erfüllt werden (vgl. Tabelle 15-159).

Tabelle 15-159: Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA 57

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Menge der festen Einsatzstoffe	Strichprobenweise Auswägung und Zählung von Schaufelladungen	Ungenau
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	Berechnung aus Pumpenlaufzeit und Nenndurchfluss	Ungenau
Gaszusammensetzung	Monatliche Messung mittels mobilem Gasanalysator (mit Sensoren für CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S) durch Projektbearbeiter	Kein stationäres Messgerät vorhanden
Gasmenge	Keine Messung möglich	Berechnet
Stromerzeugung	Zähler am BHKW und am Einspeisetransformator	Tägliche Dokumentation (BHKW), monatlich am Trafo
Eigenstromverbrauch	Nicht gemessen, Berechnung über andere Zähler	= BHKW-Strom - Einspeisung + Zukaufstrom
Eigenwärmeverbrauch	- Keine Messung möglich	Keine Wärmezähler vorhanden

15.56.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die in einen ökologisch wirtschaftenden Betrieb integrierte Biogasanlage wird gemäß den Vorgaben des EEG als sogenannte „75 kW Gülleanlage“ betrieben. Um Anspruch auf die hierdurch erhöhten Vergütungssätze zu erhalten, müssen mehrere Bedingungen erfüllt werden: der Strom muss am Standort der Biogasanlage produziert werden und der Wirtschaftsdüngeranteil mindestens 80 % betragen (bezogen auf die eingetragene Frischmasse); gleichzeitig darf im Jahresdurchschnitt eine elektrische Leistung von 75 kW nicht überschritten werden. Während des einjährigen Beobachtungszeitraums betrug der Wirtschaftsdüngeranteil als Summe aus Schweinegülle und Rindermist anteilig rund 82 %. Der Klee grasanteil am Substratmix lag bei rund 17 %, der Rest entfiel auf Getreide. Im Mittel wurden der Anlage täglich etwas mehr als 15 t Frischmasse gefüttert, wobei die im Monatsdurchschnitt zugeführten Mengen nur wenig schwankten (vgl. Abbildung 15-242). Der Trockensubstanzgehalt der zugegebenen Mischung betrug im Mittel gut 20 %.

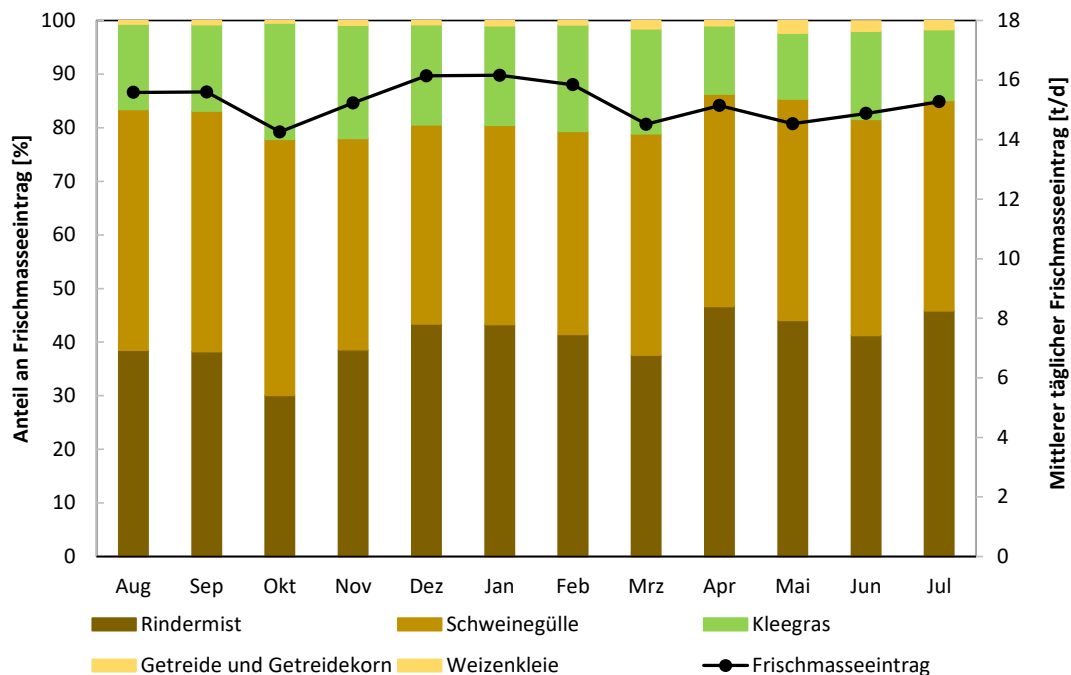


Abbildung 15-242: Zeitlicher Verlauf der der zugeführten Substratmenge und deren Zusammensetzung

Offensichtlich wies das Gärgemisch aufgrund des hohen Wirtschaftsdüngeranteils eine große Pufferkapazität und damit ein hohes Maß an biologischer Stabilität auf. Darauf deuten die gemessenen FOS/TAC-Werte hin, die sich über das ganze Jahr hinweg auf einem Niveau deutlich unterhalb von 0,3 befanden. Nur in einem Fall wurde ein Wert von 0,25 überschritten und insgesamt kann aufgrund des Verlaufs der in Abbildung 15-243 dargestellten Werte geschlussfolgert werden, dass zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung biologische Probleme aufgetreten sind. Im Mittel betrug der FOS/TAC im Fermenter 0,21 und im Nachgärer 0,19. Insgesamt deutete sich anhand dieses Prozessindikators zu keiner Zeit eine Instabilität des Gärprozesses an.

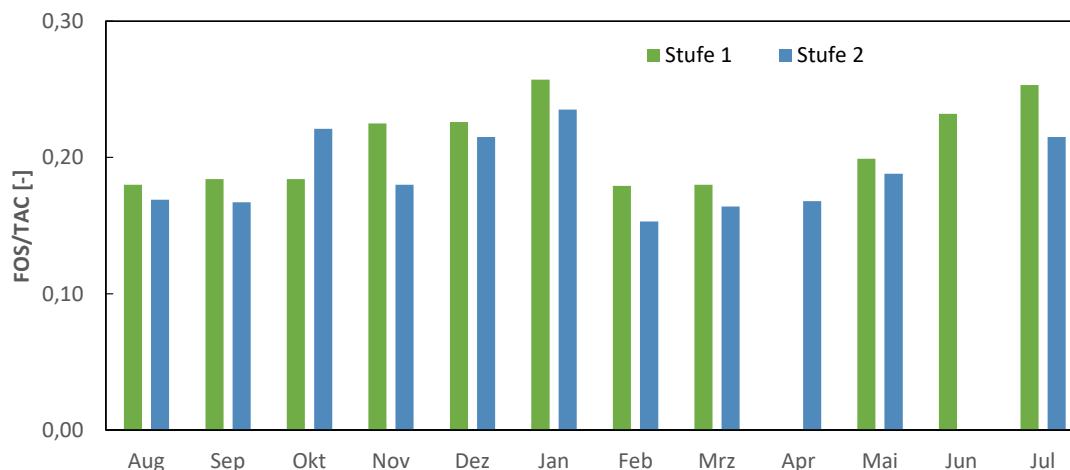


Abbildung 15-243: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe

Das an der Anlage zur Verstromung bereitstehende BHKW konnte über den Untersuchungszeitraum hinweg durchschnittlich zu 99 % ausgelastet werden. Das entspricht einer Jahresvolllaststundenanzahl von deutlich mehr als 8.600. Entsprechend gleichmäßig stellt sich der in Abbildung 15-244 abgebildete monatliche Verlauf der elektrischen Auslastung dar, was insgesamt als sehr positives Ergebnis gewertet werden kann. Die genutzten Wärmemengen zur Versorgung von vier Wohnhäusern, einer Werkstatt und Betriebsgebäuden wurden nicht monatlich erfasst, weshalb nur der Nutzungsgrad über den gesamten Beobachtungszeitraum berechnet werden konnte. Zu diesem Zweck wurden die in 2016 und 2017 vergüteten KWK-Wärmemengen, die nur um 3 % voneinander abwichen, gemittelt. Hinzu kamen noch die Wärmemengen, durch die in beiden Jahren jeweils Brennstoffe im Wert von 2.000 Euro eingespart werden konnten. Für den Untersuchungszeitraum ergab sich somit eine genutzte Wärmemenge von 185 MWh, was einem Anteil von rund 22 % der theoretisch zur Verfügung stehenden BHKW-Wärme entspricht (vgl. Tabelle 15-160).

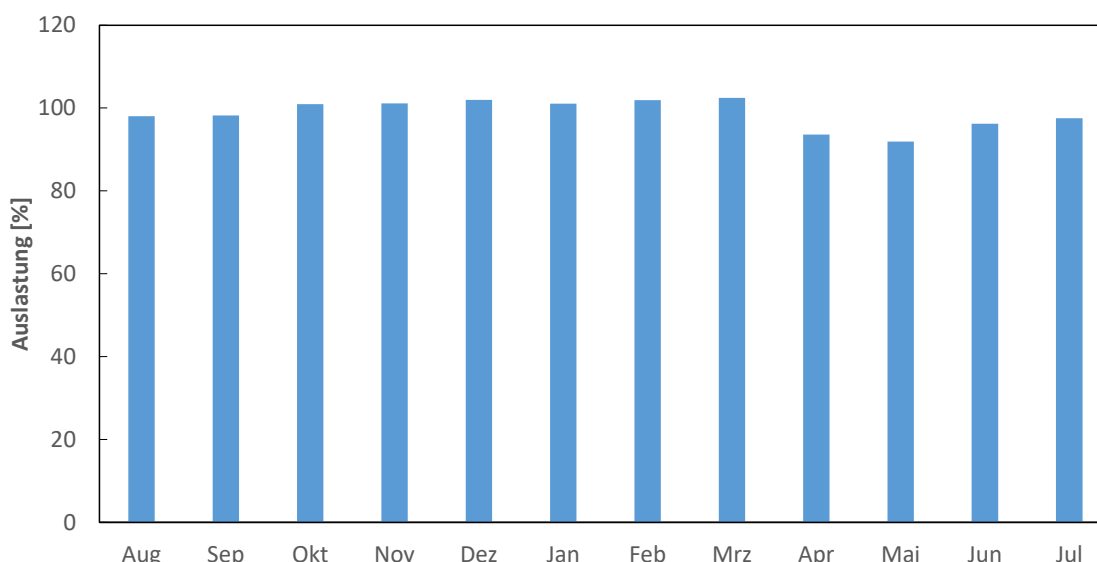


Abbildung 15-244: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW

Tabelle 15-160: Datenblatt der Biogasanlage 57

BGA 57									
Allgemeine Angaben:									
installierte elektrische Leistung	75 kW								
Inbetriebnahme	01.2016								
Zeitraum der Messphase	08.2017 - 07.2018								
Einsatzstoffe	tierische Exkremente, Klee gras, Getreide								
Gasverwertung	1 VOV-BHKW								
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein								
Betriebsform	Einzelhofanlage, Anschluss an einen landwirtschaftlichen Ökobetrieb mit Tierhaltung								
Bauliche Anlagen:						Einsatzstoffe:			
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem		Mengenangaben in FM			
Anzahl		1	1			Gesamtmenge	5.554	[t/a]	
Reaktorvolumen	[m³]	925	1.525	2.450		Gesamtmenge	15,2	[t/d]	
Arbeitsvolumen	[m³]	850	1.400	2.250		Rindermist	40,9	[%]	
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend			Schweinegülle	41,0	[%]	
Gasspeichervolumen	[m³]	0	450	450		Getreide und Getreidekorn	1,2	[%]	
						Kleegras	17,2	[%]	
Betriebsparameter:						Einsatzstoffmix			
TS-Gehalt in FM	[%]	11,0	8,9			mittlerer TS-Gehalt in FM	20,4	[%]	
oTS-Gehalt in TS	[%]	71,4	68,9			mittlerer oTS-Gehalt in TS	81,0	[%]	
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			1,1 _{FS}		mittlerer FoTS-Gehalt in TS	56,0	[%]	
Verweilzeit	[d]			148 _{FS}		Gärrestlager:			
oTS-Abbau	[%]			64 _{GSV}		Anzahl	1		
FoTS-Ausbeute	[%]			77 _{GSV}		Lagerkapazität gasdicht		[m³]	
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]			0,2 _{FS}		Lagerkap. nicht gasdicht / offen	1.800	[m³]	
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]			0,4 _{FS}		Gaspeichervolumen	0	[m³]	
pH	[-]	8,0	7,9			relatives Restmethanpotential	4,8*	[%]	
Temperatur	[°C]	44	38			TS-Gehalt im Gärrest in FM	9,0	[%]	
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,7	2,5			oTS-Gehalt im Gärrest in TS	63,7	[%]	
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	5,1				*Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter			
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	138	38			Gasproduktion:			
FOS/TAC	[-]	0,21	0,19			Messung	am BHKW		
Gasverwertung:						Gaszusammensetzung			
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	40				[Vol-%]	CH ₄	55,3	
		BHKW 1				[Vol-%]	CO ₂	45,6	
Motortyp		GO				[Vol-%]	O ₂	0,3	
elektr. Nennleistung	[kW]	75				[ppm]	H ₂ S	101	
therm. Nennleistung	[kW]	90,0				Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix			
elektr. Wirkungsgrad	[%]	37,1					Biogas	Methan	
therm. Wirkungsgrad	[%]	49,0				[m³/t] in FM	62	34	
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast				[m³/t] in oTS	377	209	
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	8.715				Stromproduktion			
theor. Volllaststunden	[h/a]	8.650				[kWh/d]	1.782		
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	99				[kWh/t]	117		
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas									
Eigenstrombedarf:						Wärmeverwertung:			
BGA gesamt	[kWh/a]	64.510	9,9	[% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	[kWh/a]	162.500	19	[% der Wärmeproduktion]
davon BHKW und Trafoverluste		25.731	3,9	[% der Stromproduktion]	Werkstatt,		185.251	22	[% der Wärmeproduktion]
davon BGA		38.779	6,0	[% der Stromproduktion]	vier Wohngebäude und Hofgebäude				

Tabelle 15-161: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 57 im Jahr 2017

BGA 57				
installierte elektrische Leistung	75	kW	eingespeiste Strommenge 2017	627.846 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	71	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	550.823 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	87,22	%	146.979	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	1,87	%	3.156	€/a
Sonstige Erlöse	10,90	%	18.371	€/a
Gesamterlöse	100	%	168.506	€/a
Kosten				
Substratkosten	23,04	%	25.500	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	-	€/t	-	€/a
Gras	20	€/t	19.000	€/a
Restliche NawaRo	130,00	€/t	6.500	€/a
Personalkosten	5,72	%	6.334	€/a
Instandhaltungskosten	10,73	%	11.872	€/a
Abschreibungen	40,29	%	44.596	€/a
Sonstige Betriebskosten	20,22	%	22.378	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug			12.800	€/a
Miete und Pacht			-	€/a
Maschinenmiete und Leasing			-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			500	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			1.957	€/a
Berufsgenossenschaft			-	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			1.125	€/a
Zinszahlungen			2.496	€/a
Buchführung und Verwaltung			2.000	€/a
Sonstiges			1.500	€/a
Gesamtkosten	100	%	110.680	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			26,84	ct/kWh
Stromgestehungskosten			17,63	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			9,21	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			57.826	€/a

15.57 Biogasanlage 58 (siehe auch BGA 26)

Bei dieser Anlage handelt es sich um die gleiche Anlage, die bereits in Kapitel 15.25 beschrieben wurde. Da jedoch gegen Ende des ersten Beobachtungszeitraums eine Repowering-Maßnahme in Form einer Verdoppelung der installierten elektrischen Leistung durchgeführt wurde, sah man sich dazu veranlasst die Untersuchung zu verlängern, um die durch die Erweiterung verursachten Effekte erheben und beurteilen zu können.

15.57.1 Anlagenbeschreibung

Die von der Firma Niederlöhner und Quirrenbach (NQ) geplante und mit einem großen Anteil an Eigenleistung errichtete Biogasanlage befindet sich in der Holledau und ist seit Ende 2007 in Betrieb. Trotz der Integration in einen Hähnchenmastbetrieb, werden überwiegend nachwachsende Rohstoffe eingesetzt. Es besteht Anspruch auf den Trockenfermentationsbonus gemäß EEG 2004.

Die Anlage verfügt über zwei parallel geschaltete Fermenter (je 1.800 m³), denen zwei hintereinandergeschaltete Nachgärer (je 1.800 m³) folgen. Alle Gärbehälter sind baugleich und verfügen über eine Betondecke, sind rundum wärmedämmend und werden mithilfe von Kunststoffrohr-Wandheizungen beheizt. Die Wärmedämmung der Betondecken wurde an der Innenseite angebracht und fungiert damit gleichzeitig als Betonschutz und Besiedelungsfläche für Schwefelbakterien. Die beiden Fermenter sind jeweils mit einem stehenden, langsam drehenden Paddelrührwerk und einem schnell drehenden Stabmixer ausgestattet. Zur Verringerung des Rühraufwands werden sie bei 46°C betrieben, da sich so die Viskosität herabsetzen lässt. Feste Einsatzstoffe werden aus einem 60 m³ fassenden Schubbodencontainer mittels Fräswalzen in eine seelenlose lange Trogschnecke dosiert, die über eine zentrale Steigschnecke und zwei Stopfschnecken die beiden Fermenter beschickt. Zur Vermeidung witterungsbedingter Korrosionsprozesse ist der gesamte Feststoffvorlagebehälter mit Wiegeeinrichtung eingehaust. Mit der zentral installierten, leistungsstarken Drehkolbenpumpe kann das Gärgemisch von einem Gärbehälter zu einem beliebigen anderen, aber auch in denselben Gärbehälter rezirkuliert werden. Der Drehkolbenpumpe ist ein sogenannter Hacker vorgeschaltet, in welchem zwei gegenläufige Messerwellen die Substratpartikel zerreißen, so dass die Durchmischung der Gärsuspension erleichtert wird.

Die Gärtemperatur im Nachgärer 1 wird mit knapp 40°C niedriger gehalten als in den Hauptfermentern. Hier homogenisiert ein stehendes Paddelrührwerk in Kombination mit einem Stabmixer. Das Gärrestlager weist mit durchschnittlich ca. 34°C die niedrigste Gärtemperatur auf und wird mit einem Paddelrührwerk durchmischt. Alle Paddelrührwerke verfügen über ein fixiertes und ein schwimmendes Paddel, so dass schwankende Behälterfüllstände abgefangen werden können. Die in der Vorgrube (ca. 150 m³) gesammelten Sickersäfte sowie der Oberflächenabfluss von der Fahrsiloanlage werden erst im Endlager dem Gärprozess zugeführt. Da alle Gärbehälter mit einer Betondecke versehen sind, erfolgt die Gaslagerung in einem separaten Betonbehälter mit integriertem Gasspeichersack (Lagervolumen: ca. 600 m³). Die Kühlung und Entfeuchtung des erzeugten Gases wird mithilfe einer aktiven Gaskühlung mit Klimagerät realisiert. Besonderheit des Klimageräts ist, dass es so groß dimensioniert wurde, dass damit im Falle einer Selbsterwärmung der Gärbehälter über eine Bypass-Leitung in den Behälterwandheizungen auch deren Kühlung möglich ist.

Das in der Anlage erzeugte Biogas wurde bis Ende 2017 mit zwei baugleichen Gas-Otto-Motoren mit einer elektrischen Nennleistung von 400 kW in Strom und Wärme umgewandelt. Dann wurde zusätzlich eine Maschine mit 901 kW angeschafft. Die Bemessungsleistung der Anlage stieg daraufhin von 710 auf 750 kW an, wobei die alten Maschinen nur noch sporadisch betrieben wurden. Trotz des ausgelagerten Standorts der Anlage kann ein hoher Anteil der BHKW-Wärme effektiv genutzt werden. Mit Wärme versorgt werden die ebenfalls ausgelagerten Hähnchenmastställe, ein Nahwärmenetz in der Ortschaft sowie eine benachbarte Hopfentrocknungsanlage. Während der Hopfenerntekampagne ist der Wärmebedarf so hoch, dass die Abwärme aus der Biogasanlage nicht ausreicht. Funktionsprinzip und Stoffströme von Biogasanlage 58 sind schematisch in Abbildung 15-245 dargestellt.

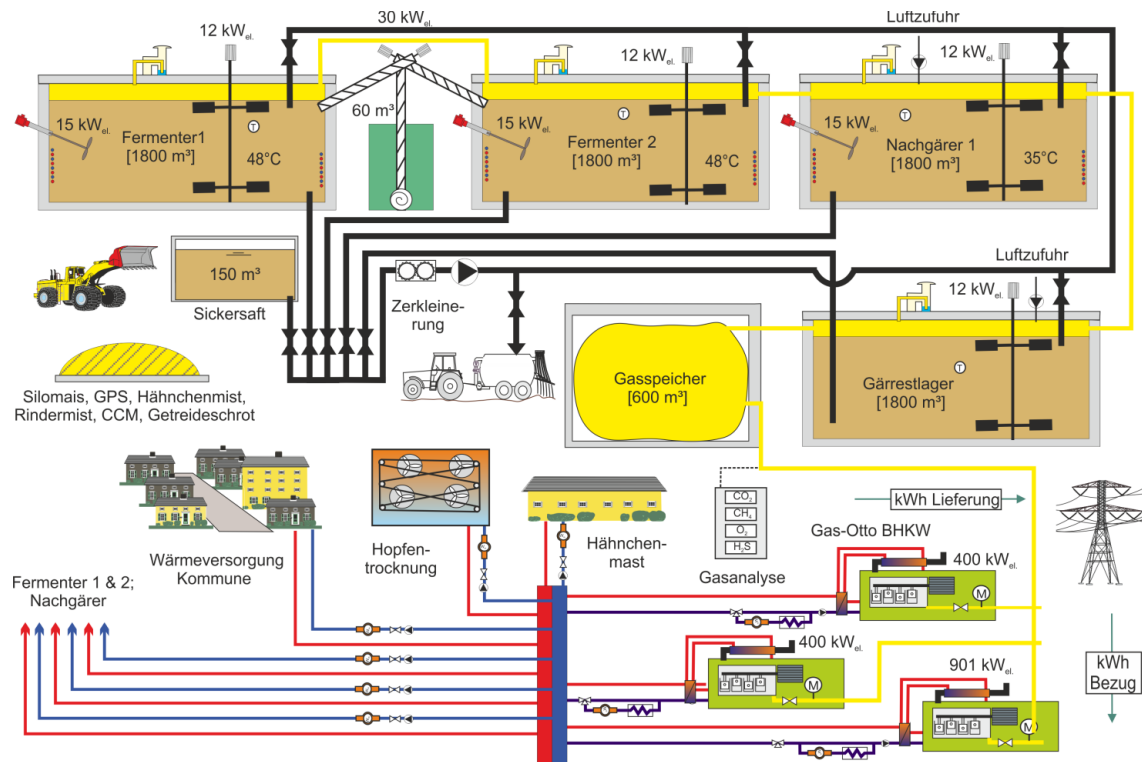


Abbildung 15-245: Fließschema von Biogasanlage 26 bzw. 58

15.57.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die Anlage verfügt über ein automatisches Steuerungs- und Fernüberwachungssystem, woraus sich viele Anlagendaten exportieren lassen. Die messtechnische Ausstattung dieser Anlage ist auf einem außerordentlich hohen Niveau. Durch eine Umstellung der Server beim Anlagenbetreiber haben sich technische Probleme ergeben, wodurch die per Datalogger aufgezeichneten Daten zum Wärme- und Gasverbrauch ab dem 1.1.2017 leider nicht mehr verfügbar waren. Die in Anlage 58 installierten Messgeräte sind in Tabelle 15-162 dargestellt.

Tabelle 15-162: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 58

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffmengen	Messung durch Wägezellen,	Tägliche Dokumentation durch elektronische Aufzeichnung
Flüssige Einsatzstoffmengen	Nicht erforderlich	Keine flüssigen Einsatzstoffe
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Messung automatisch; tägliche Dokumentation
Gasmengen	Volumenstromzähler an jedem BHKW; zusätzlich Temperatur und Druckerfassung	Tägliche Aufzeichnung der normierten Gasmengen
Strommengen	Zähler am BHKW und am Einspeisetransformator	Tägliche elektronische Aufzeichnung von Produktion und Einspeisung
Eigenstromverbrauch	Separate Zähler zur Erfassung des Verbrauches für Biogasanlage und BHKW	Tägliche elektronische Aufzeichnung des Verbrauchs
Eigenwärmeverbrauch	Wärmemengenmessung	Tägliche elektronische Aufzeichnung des Verbrauchs

15.57.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

In Biogasanlage 58 wurde vor allem Mais-Ganzpflanzensilage eingesetzt: Insgesamt betrug deren Anteil 74 %. Hinzu kamen ca. 6 % Wirtschaftsdünger in Form von Mist sowie ab Februar mit Inbetriebnahme des neuen BHKW vermehrt Roggen-Ganzpflanzensilage (vgl. Abbildung 15-246). Gegen Ende des Beobachtungszeitraums musste die Fütterung stark zurückgenommen werden, da eine biologische Störung die Gasproduktion beeinträchtigte. Die Störung konnte anhand von Prozessindikatoren nachgewiesen werden (siehe unten). Durchschnittlich wurden täglich rund 30 t Substrat eingesetzt. Der mittlere TS-Gehalt der Substratmischung lag mit mehr als 41 % außerordentlich hoch.

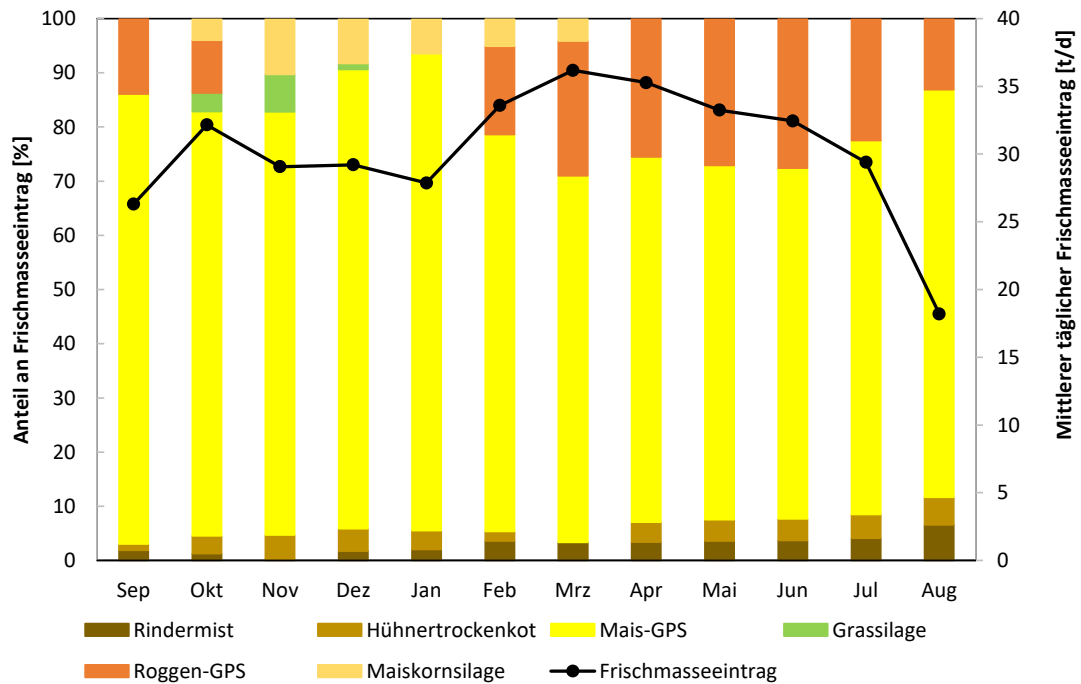


Abbildung 15-246: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung

Der FOS/TAC-Wert in Proben aus der ersten Stufe lag meist auf einem Niveau oberhalb von 0,3 (vgl. Abbildung 15-247). Dies dürfte auf den hohen Anteil an Energiepflanzen zurückzuführen sein, die nur wenig Pufferkapazität erzeugen. Ab Juni 2017 stieg der FOS/TAC deutlich an. Zugleich wurde ein ungünstiges Verhältnis von Essig- zu Propionsäure festgestellt, während das Essigsäureäquivalent noch unterhalb des Warnwerts lag. Die steigenden FOS/TAC-Werte sowie eine Propionsäure-Konzentration von 4 g/l im Juli und 6 g/l im August zeigten dann eindeutig eine Destabilisierung der Gärbiologie an. Vorausgegangen war eine deutliche Steigerung der Fütterungsmenge, um das neu installierte BHKW auszulasten. Zur Entlastung der Gärbiologie musste die die Futterration im August drastisch reduziert werden, sodass die Gasproduktion einbrach (vgl. Abbildung 15-246).

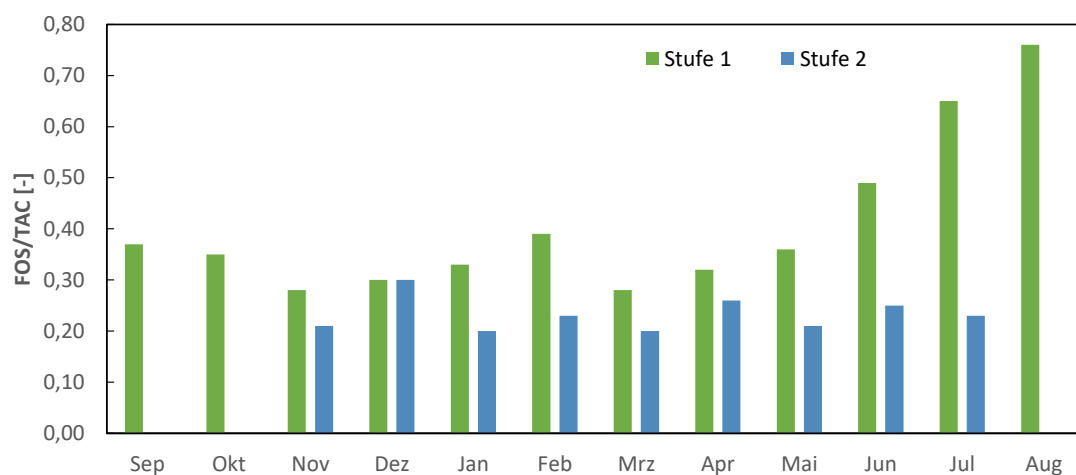


Abbildung 15-247: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe

Im Februar 2018 wurde ein zusätzlicher Motor mit einer elektrischen Nennleistung von 901 kW installiert. Allerdings wurden im März 2018 die beiden alten BHKW praktisch außer Betrieb genommen und nur noch einmal, im letzten Monat des Untersuchungszeitraums, genutzt. Aus diesem Grund stieg die Berechnungsgrundlage für die elektrische Auslastung ab Februar netto lediglich um 100 kW an. Durch die Inbetriebnahme des neuen Aggregats konnte der Auslastungsgrad für drei Monate leicht angehoben werden. Ab Juni sank er dann aufgrund der gärbiologischen Störung kontinuierlich ab und betrug gegen Ende der Untersuchung nur noch 50 % (vgl. Abbildung 15-248).

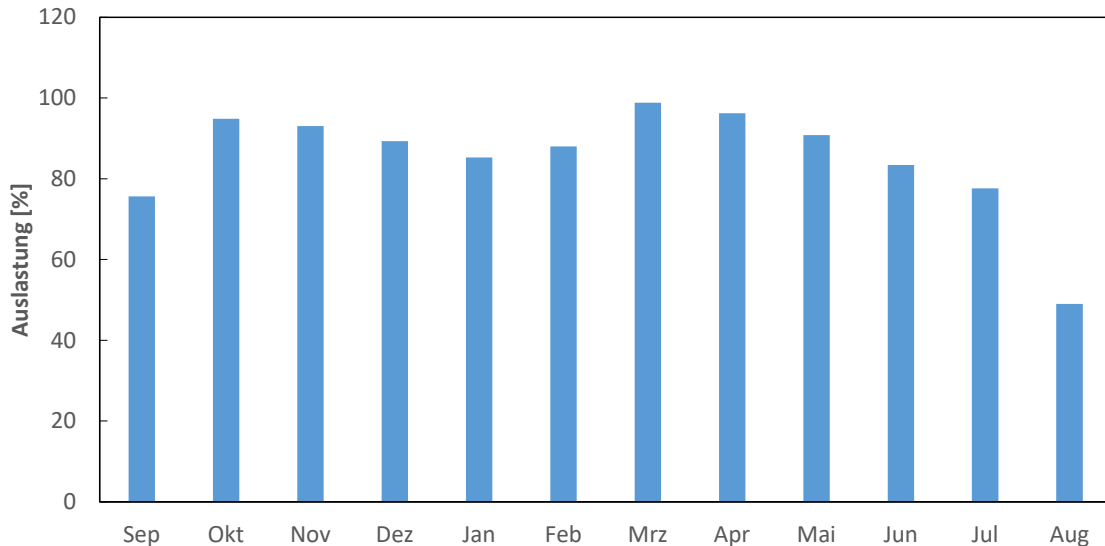


Abbildung 15-248: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW

Die extern genutzten Wärmemengen konnten hier nicht detailliert aufgezeichnet werden. Die genutzte Gesamtwärmemenge ist jedoch bekannt und betrug im Beobachtungszeitraum rund 3.900 MWh. Dies entspricht einem respektablen Wärmenutzungsgrad von 59 % der Wärmeproduktion. Dieser könnte noch verbessert werden, da für die Beheizung der Fermenter aufgrund der wasserarmen Substrate von einem relativ geringen Wärmebedarf auszugehen ist.

Aus einer Tonne des Substratmixes wurden mehr als 150 m³ Methan gewonnen, was als sehr gutes Ergebnis interpretiert werden kann. Gleiches gilt für den Abbaugrad der zugeführten Organik der mit über 90 % außerordentlich hoch ausfiel (vgl. Tabelle 15-163). Dennoch wurde gegen Ende der Untersuchung eine Prozessstörung nachgewiesen.

Tabelle 15-163: Datenblatt der Anlage 58

BGA 58									
Allgemeine Angaben:									
installierte elektrische Leistung	1.701 kW								
Inbetriebnahme	06.2007								
Zeitraum der Messphase	09.2017 - 08.2018								
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente								
Gasverwertung	1 VOV-BHKW								
Erhalt Flexibilitätsprämie	ja								
Betriebsform	Einzelhofanlage, angeschlossener landwirtschaftlicher Betrieb mit Hähnchenmast								
Bauliche Anlagen:					Einsatzstoffe:				
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM				
Anzahl		2	1		Gesamtmenge 11.026 [t/a]				
Reaktorvolumen	[m³]	3.770	1.885	5.655	Gesamtmenge 30,2 [t/d]				
Arbeitsvolumen	[m³]	3.600	1.800	5.400	Grassilage 0,9 [%]				
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend		Hühner trockenkot 3,2 [%]				
Gasspeichervolumen	[m³]	0	0	0	Mais-Ganzpflanzensilage 74,0 [%]				
Betriebsparameter:					Rindermist 2,9 [%]				
					Roggen-Ganzpflanzensilage 15,7 [%]				
					Maiskornsilage 3,2 [%]				
					[%]				
					Einsatzstoffmix				
					mittlerer TS-Gehalt in FM 41,5 [%]				
					mittlerer oTS-Gehalt in TS 96,2 [%]				
					mittlerer FoTS-Gehalt in TS 79,0 [%]				
					Gärrestlager:				
					Anzahl 1				
pH	[-]	8,1	8,0		Lagerkapazität gasdicht 1.800 [m³]				
Temperatur	[°C]	48	35		Lagerkap. nicht gasdicht / offen 0 [m³]				
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	4,2	4,5		Gasspeichervolumen 600 [m³]				
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	8,6	6,5		relatives Restmethanpotential 0,6* [%]				
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	1.705	789		TS-Gehalt im Gärrest in FM 5,9 [%]				
FOS/TAC	[-]	0,41	0,23		oTS-Gehalt im Gärrest in TS 76,4 [%]				
					*Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter				
Gasverwertung:					Gasproduktion:				
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	61			Messung am BHKW				
		BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3	Gaszusammensetzung				
Motortyp		GO	GO	GO	[Vol-%] CH ₄ 50,6				
elektr. Nennleistung	[kW]	400	400	901	[Vol-%] CO ₂ 49,3				
therm. Nennleistung	[kW]	432	432	912	[Vol-%] O ₂ 0,5				
elektr. Wirkungsgrad	[%]	38,0	38,0	42,3	[ppm] H ₂ S 78				
therm. Wirkungsgrad	[%]	41,0	41,0	42,8	Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix				
Betriebsweise BHKW	[-]	Teilllast	Teilllast	Teilllast	[m³/ t] in FM Biogas 297 151				
Jahresbetriebsstunden	[h/a]				[m³/t] in oTS 745 377				
theor. Volllaststunden	[h/a]	3.948	3.775	4.043	Stromproduktion				
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	45	43	46	[kWh/d] 17.506				
					[kWh/t] 580				
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas									
Eigenstrombedarf:					Wärmeverwertung:				
	[kWh/a]				[kWh/a]				
BGA gesamt	433.821	7	[% der Stromproduktion]		Eigenbedarf BGA			[% der Wärmeproduktion]	
					Nahwärmenetz	3.905.816	59	[% der Wärmeproduktion]	

15.58 Biogasanlage 59

15.58.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 59 wurde von dem Planungsbüro Biogas Dyckhoff aus München konzipiert und befindet sich im oberbayerischen Landkreis Pfaffenhofen. Die Anlage ist eine sogenannte Güllekleinbiogasanlage und ist in einem landwirtschaftlichen Betrieb mit Schweinemast und eigenem Feldfruchtbaubetrieb integriert. Die Inbetriebnahme der rund 300 m vom eigentlichen Betrieb entfernten einstufigen Anlage erfolgte im Januar 2016. Sie besteht aus einem Fermenter mit Betondecke, der ein Arbeitsvolumen von 850 m³ besitzt, sowie aus einem gasdicht abgedeckten Gärrestlager mit 1.900 m³ Arbeitsvolumen. Das zur Verstromung des produzierten Gases vorhandene BHKW mit einer installierten elektrischen Leistung von 75 kW ist der einzige Teil der Anlage, der direkt am Betrieb untergebracht ist.

Der Feststoffdosierer (12 m³) ist auf der der Decke des Gärbehälters installiert, weshalb für den Eintrag von Mais-Ganzpflanzensilage, Gerste-Ganzpflanzensilage und Körnermaisschrot lediglich eine Stopfschnecke erforderlich ist. Die flüssige Schweinegülle wird über eine Güllegrube am Stall direkt über eine zentrale Pumpe in den Fermenter gepumpt, der durch einen Stabmixer homogenisiert wird. Der Transport des Gärgemischs in das abgedeckte Gärrestlager erfolgt automatisch über einen freien Überlauf, kann aber wahlweise auch durch diese Pumpe realisiert werden. Zur Durchmischung des Endlagers ist ein Tauchmotorrührwerk im Einsatz. Die zentrale Pumpe dient auch zur Gärrestentnahme. Ein zusätzliches Aggregat zur Aufbereitung des Gärrestes ist an der Anlage nicht installiert.

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases ist das Gärrestlager mit einer Einfachfolie abgedeckt. Das maximale Gasspeichervolumen beträgt 550 m³. Das produzierte Biogas wird behälterintern biologisch entschwefelt indem eine definierte Menge Außenluft zugeführt wird. Auf dem Weg zur Gasverwertung wird es durch eine entsprechend lange Gaskühlstrecke entfeuchtet und durch einen AktivkohlfILTER gereinigt.

Der durch das BHKW erzeugte Strom wird vollständig in das öffentliche Netz eingespeist. Neben der Beheizung der Gärbehälter wird die produzierte Abwärme zur Versorgung der Betriebsgebäude und zur Trocknung von Futtermitteln eingesetzt. Die Deckung des Strombedarfs der Biogasanlage erfolgt durch eine Kombination von betriebseigenem Photovoltaik- und Zukaufstrom. Funktionsprinzip und Stoffströme von Biogasanlage 59 sind schematisch in Abbildung 15-249 dargestellt.

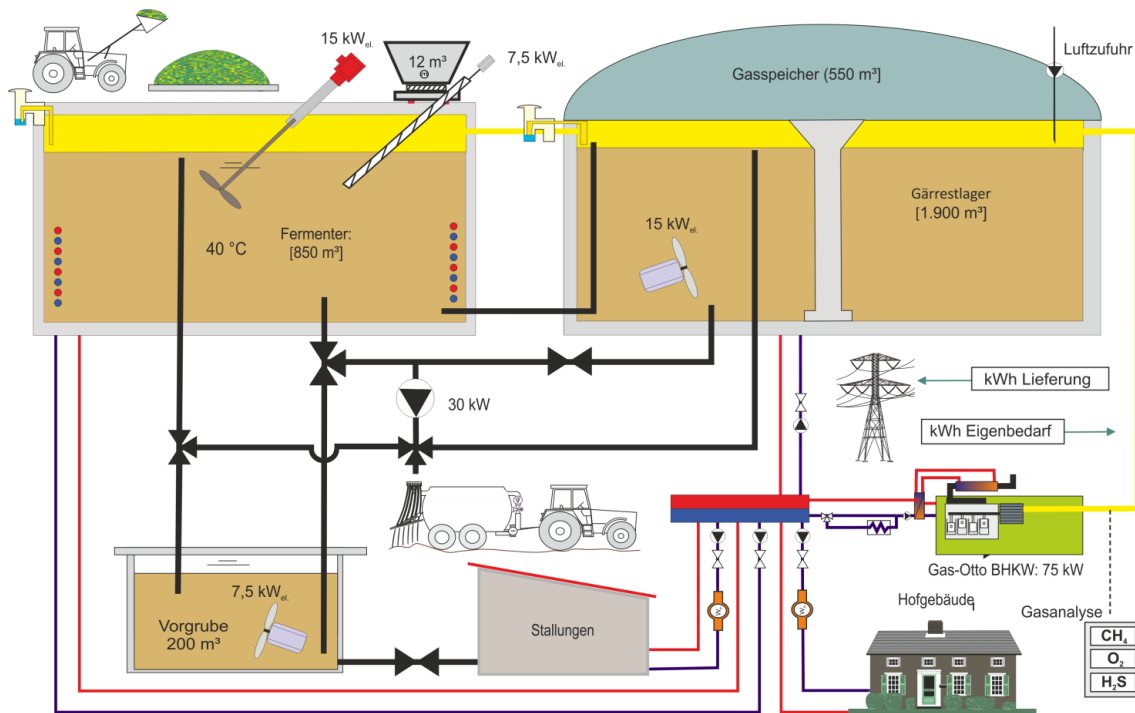


Abbildung 15-249: Anlagenschema BGA 59

15.58.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Aufgrund des mit weit über 80 % sehr hohen Wirtschaftsdüngeranteils in Form von dünnflüssiger Schweinegülle ist an dieser Biogasanlage der technische Standard niedrig gehalten worden. Somit sind die Investitionen und der Wartungsaufwand geringer. Auf entsprechend niedrigem Niveau ist auch die messtechnische Ausstattung, da sie für einen stabilen Betrieb nicht zwingend erforderlich ist. Aufgrund dieser Umstände sind die Angaben zu den eingebrachten Substraten ungenau. Die Gasmengen wurden nach über die Stromproduktion berechnet und die Gaszusammensetzung per mobilem Gerät monatlich ermittelt. Alle den Strom betreffenden Daten wurden gemessen. Die in Anlage 59 installierten Messgeräte sind in Tabelle 15-164 dargestellt.

Tabelle 15-164: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 59

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Masse der festen Einsatzstoffe	Anzahl der Radladerschaufeln	ungenau; tägliche Dokumentation
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	Kombination von Pumpenlaufzeit und Nenndurchfluss der Pumpe	ungenau; tägliche Dokumentation
Gaszusammensetzung	Monatliche Messung mit einem mobilen Gasanalysator (Sensoren für: CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S) durch Projektbearbeiter	Kein Gasanalysator an der BGA vorhanden
Gasmenge	-	Berechnet (nach DBFZ)
Stromerzeugung	Stromzähler der Anlage und des Netzbetreibers	Trafo-Verluste durch Differenz aus Produktions- und Verkaufsstrom
Eigenstrombedarf	Stromrechnung + Stromzähler Photovoltaik	Beide Strommengen dokumentiert
Eigenwärmebedarf	-	Kein Wärmezähler installiert

15.58.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Anlage 59 ist als „Güllekleinanlage“ konzipiert und entsprechend hoch war hier der Anteil von Wirtschaftsdünger in Form von Schweinegülle mit deutlich über 80 %. An Energiepflanzen kam in nennenswertem Umfang Mais-Ganzpflanzensilage zum Einsatz, weitere Substrate spielten eine untergeordnete Rolle. Durchschnittlich wurden täglich rund 19 t Substrat eingebracht. Der Substratmix wies aufgrund des hohen Anteils an dünnflüssiger Schweinegülle mit nur rund 10 % einen außerordentlich niedrigen TS-Gehalt auf. Zu Beginn der Untersuchung lag der Maisanteil deutlich höher als in der zweiten Hälfte. Dies wurde durch höhere Güllegaben kompensiert, wie der Verlauf des Frischmasseeintrags in Abbildung 15-250 erkennen lässt.

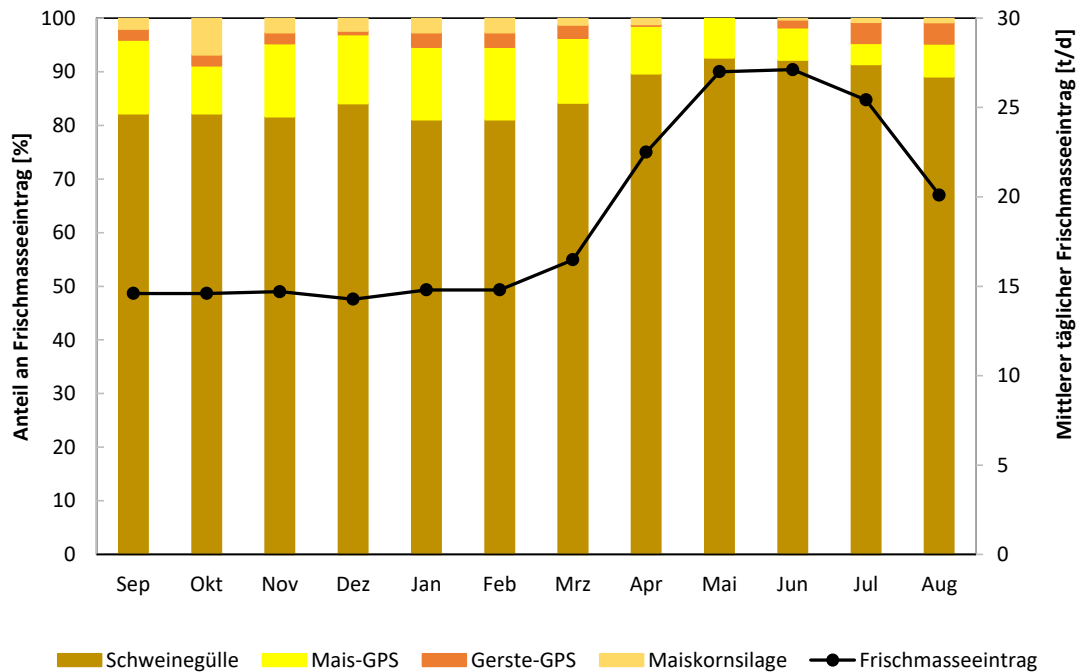


Abbildung 15-250: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung

Der FOS/TAC-Wert in Proben aus der einzigen Vergärungsstufe dieser Anlage lag über den ganzen Beobachtungszeitraum hinweg deutlich unter 0,3 und lieferte zu keiner Zeit Hinweise auf eine Störung des Gärprozesses (vgl. Abbildung 15-251).

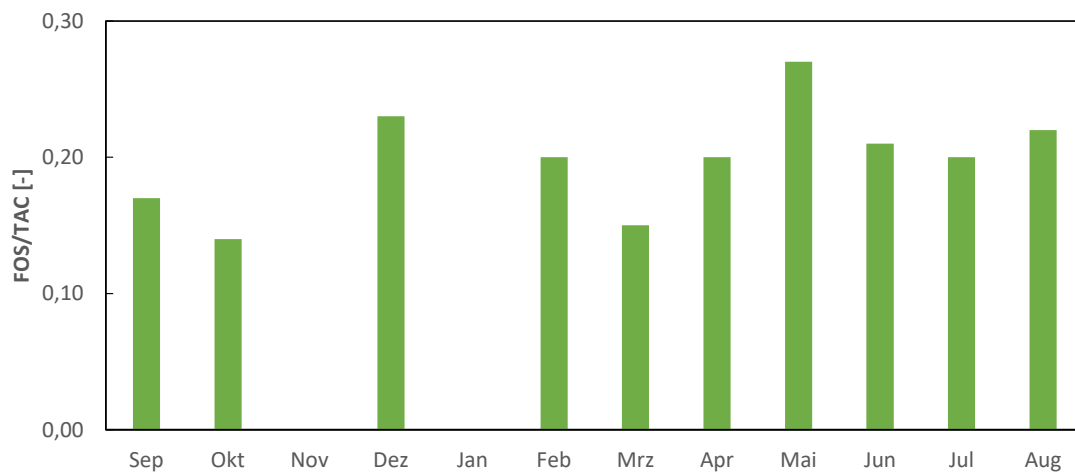


Abbildung 15-251: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten Vergärungsstufe

Die installierte elektrische Leistung der Biogasanlage konnte zu über 97 % ausgelastet werden. Auch traten im Verlauf der Auslastung nur geringe Schwankungen auf (vgl. Abbildung 15-252). Darüber hinaus wurde das BHKW nahezu stets unter Vollast betrieben. Diese Faktoren belegen einen störungsfreien und effizienten Anlagenbetrieb.

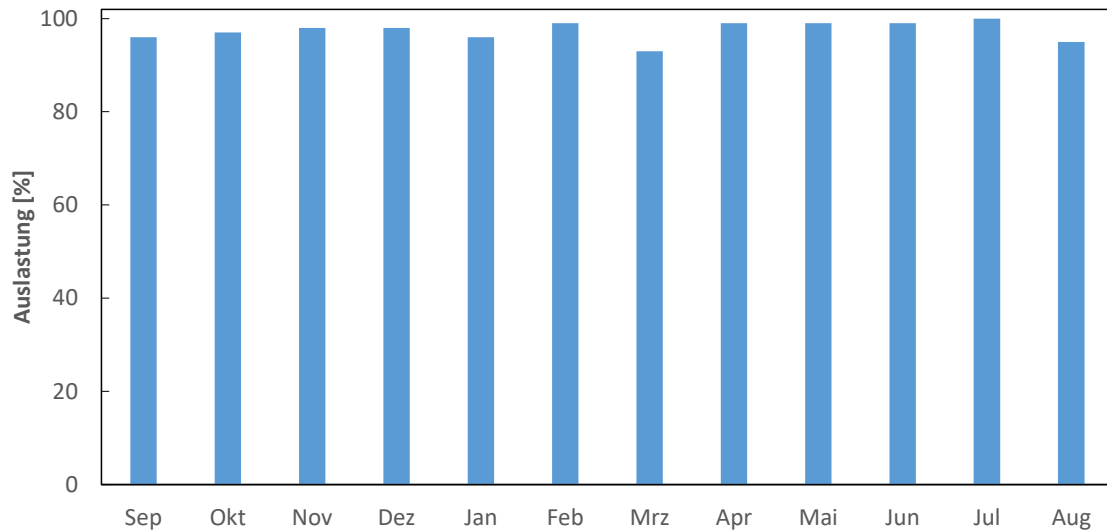


Abbildung 15-252: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW

Die extern genutzten Wärmemengen konnten hier nicht detailliert aufgezeichnet werden. Die genutzte Gesamtwärmemenge ist jedoch bekannt. Da die verfügbare BHKW-Wärme nur an die Wohngebäude des Betriebes abgesetzt wurde, betrug der Wärmenutzungsgrad im Mittel über den Beobachtungszeitraum lediglich 16 %.

Aufgrund des hohen Wasseranteils im Einsatzstoffmix konnten aus einer Tonne Frischmasse nicht mehr als 28 m³ Methan gewonnen werden. Bezogen auf die zugeführte Organik ist die Methanausbeute mit über 300 m³/t jedoch zufriedenstellend. Der Abbaugrad der zugeführten Organik ist mit unter 80 % ebenfalls dem hohen Gülleanteil geschuldet. Bemerkenswert ist der geringe Strombedarf der Anlage, der lediglich bei rund 4 % der Stromerzeugung lag (vgl. Tabelle 15-165).

Tabelle 15-165: Datenblatt der Anlage 59

BGA 59						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	75 kW					
Inbetriebnahme	01.2016					
Zeitraum der Messphase	09.2017 - 08.2018					
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente					
Gasverwertung	1 VOV-BHKW					
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein					
Betriebsform	Einzelhofanlage, angeschlossener landwirtschaftlicher Betrieb mit Tierhaltung					
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter		Fermentersystem		Mengenangaben in FM
Anzahl		1				Gesamtmenge 6.896 [t/a]
Reaktorvolumen	[m³]	920		920		Gesamtmenge 18,9 [t/d]
Arbeitsvolumen	[m³]	850		850		Mais-Ganzpflanzensilage 9,2 [%]
stehend / liegend	[-]	stehend				Schweinegülle 87,1 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	0		0		Gerste-Ganzpflanzensilage 2,0 [%]
						Masikornsilage 1,7 [%]
Betriebsparameter:				Einsatzstoffmix		
TS-Gehalt in FM	[%]	5,0				mittlerer TS-Gehalt in FM 9,9 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	76,1				mittlerer oTS-Gehalt in TS 87,3 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]		1,9 _{FS}			mittlerer FoTS-Gehalt in TS 68,7 [%]
Verweilzeit	[d]		45 _{FS}			
oTS-Abbau	[%]		77 _{GSV}			
FoTS-Ausbeute	[%]		95 _{GSV}			
CH ₄ -Produktivität	[m³ / (m³ d)]		0,6 _{FS}			
BG-Produktivität	[m³ / (m³ d)]		1,1 _{FS}			
pH	[-]	7,9				Gärrestlager:
Temperatur	[°C]	39,9				Anzahl 1
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	3,5				Lagerkapazität gasdicht 1.900 [m³]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	4,8				Lagerkap. nicht gasdicht / offen 0 [m³]
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	442				Gaspeichervolumen 550 [m³]
FOS/TAC	[-]	0,20				relatives Restmethanpotential 2,2* [%]
						TS-Gehalt im Gärrest in FM 3,1 [%]
						oTS-Gehalt im Gärrest in TS 66,8 [%]
						*Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter
Gasverwertung:				Gasproduktion:		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	39			Messung am BHKW	
		BHKW 1			Gaszusammensetzung	
		GO			[Vol-%] CH ₄	56,2
Motortyp					[Vol-%] CO ₂	44,0
elektr. Nennleistung	[kW]	75			[Vol-%] O ₂	0
therm. Nennleistung	[kW]	90			[ppm] H ₂ S	146
elektr. Wirkungsgrad	[%]	36,0			Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix	
therm. Wirkungsgrad	[%]	43,3				Biogas Methan
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast			[m³/ t] in FM	50 28
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	8.581			[m³/t] in oTS	583 328
theor. Volllaststunden	[h/a]	8.533			Stromproduktion	
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	97			[kWh/d]	1.753
					[kWh/t]	92,8
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas						
Eigenstrombedarf:				Wärmeverwertung:		
	[kWh/a]				[kWh/a]	
BGA gesamt	26.861	4	[% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	230.395	30 [% der Wärmeproduktion]
				Wohngebäude	124.627	16 [% der Wärmeproduktion]

Tabelle 15-166: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 59 im Jahr 2017

BGA 59				
installierte elektrische Leistung	75	kW	eingespeiste Strommenge 2017	625.588 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	71	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	500.000 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	95,61	%	152.274	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	1,26	%	2.000	€/a
Sonstige Erlöse	3,14	%	5.000	€/a
Gesamterlöse	100	%	159.274	€/a
Kosten				
Substratkosten	42,19	%	44.620	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	30,00	€/t	18.900	€/a
Gras	20	€/t	2.720	€/a
Restliche NawaRo	100,00	€/t	11.000	€/a
Personalkosten	5,18	%	5.478	€/a
Instandhaltungskosten	8,62	%	9.115	€/a
Abschreibungen	32,02	%	33.871	€/a
Sonstige Betriebskosten	11,99	%	12.681	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug			6.123	€/a
Miete und Pacht			-	€/a
Maschinenmiete und Leasing			-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			-	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			2.015	€/a
Berufsgenossenschaft			-	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			-	€/a
Zinszahlungen ¹			4.543	€/a
Buchführung und Verwaltung			-	€/a
Sonstiges			-	€/a
Gesamtkosten	100	%	105.764	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			25,46	ct/kWh
Stromgestehungskosten			16,91	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			8,55	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			53.510	€/a

¹ Abschätzung der Zinszahlungen aus der Angabe von Kreditvolumen, Kreditlaufzeit und effektiven Jahreszins

15.59 Biogasanlage 60

15.59.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 60 wurde von der Fa. Ökobit errichtet und ging im Dezember 2011 in Betrieb. Sie ist in einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Tierhaltung und eigenem Feldfruchtbau integriert. Die einstufige Anlage besteht aus einem Fermenter mit einem Arbeitsvolumen von 2.500 m³ sowie einem Gärrestlager mit Gaserfassung (Kapazität: 4.200 m³). Beide Gärbehälter sind mit Doppelmembran-Gasspeichern ausgerüstet, die insgesamt eine Kapazität von ca. 3.000 m³ aufweisen. Die Feststoffe (Mais-Ganzpflanzensilage, Grassilage, Grünroggen-Ganzpflanzensilage, Rindermist) werden aus einem Kratzboden-Container über ein Förderschneckensystem in den Fermenter eingebracht. Die Rindergülle wird aus dem Güllekanal unter dem Spaltenboden des Stalls in den Fermenter gepumpt. Aus dem Fermenter wird das Gärgemisch durch einen Lochscheiben-Nasszerkleinerer mit vorgeschaltetem Steinfang in das Gärrestlager gepumpt. Zur Gärrestentnahme werden Vakuumfässer verwendet. Die Durchmischung der Gärstufe erfolgt durch die Kombination von zwei Tauchmotorrührwerken mit einem langsam laufenden Langachsührwerk; im Gärrestlager sind drei Tauchmotorrührwerke installiert. Aufbau und Fließwege von BGA 60 sind in Abbildung 15-253 dargestellt. Die Entschwefelung des Biogases erfolgt durch Einblasen von Luft in den Gasraum des Fermenters. Zur Entfeuchtung wird das Gas durch eine Kühlstrecke im Boden geleitet, anschließend durch einen Aktivkohlfilter zum BHKW mit einer elektrischen Nennleistung von 400 kW. Der gesamte erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist. Die überschüssige BHKW-Wärme wird anteilig zur Versorgung der Betriebsgebäude und zur Trocknung von Futtermitteln verwendet.

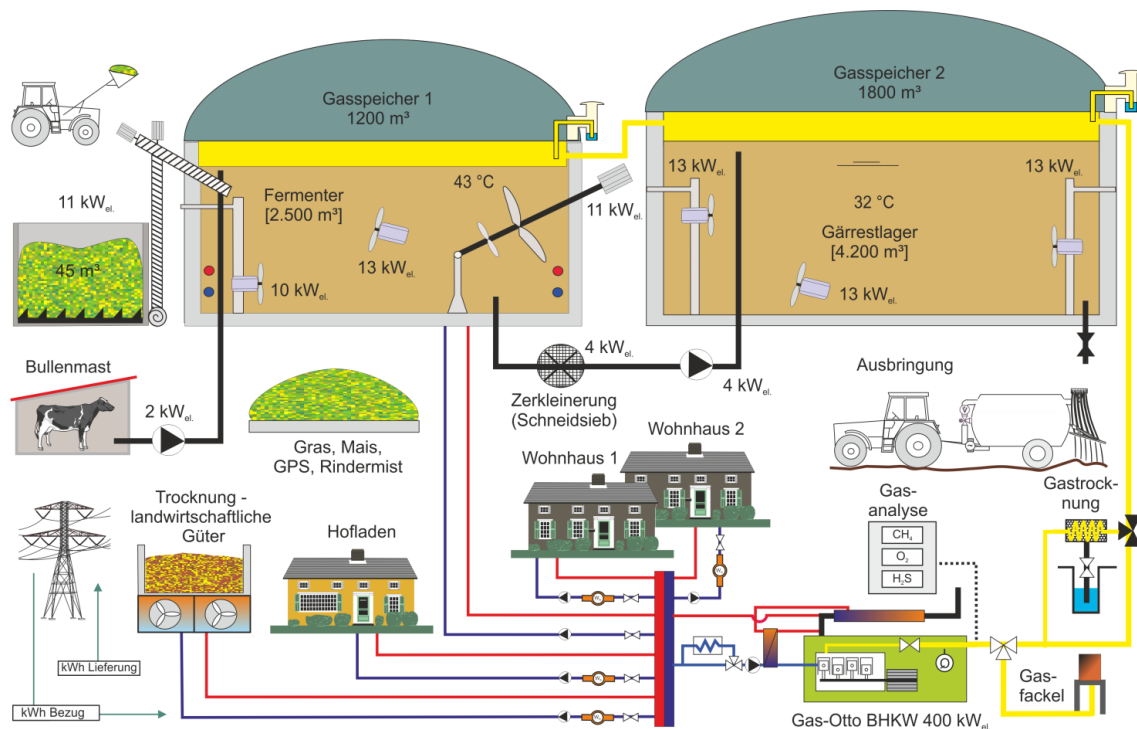


Abbildung 15-253: Anlagenschema BGA 60

15.59.2 Beurteilung der Messtechnik

Beim Bau der BGA 60 wurde auf einen möglichst geringen technischen Aufwand Wert gelegt, um die Wartungskosten zu begrenzen. Die Ausstattung für die Realisierung der essenziellen Messaufgaben ist dennoch vergleichsweise ausreichend, mit Einschränkungen bei der Erfassung des Biogases (vgl. Tabelle 15-167).

Tabelle 15-167: Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA60

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Masse der festen Einsatzstoffe	Wägezellen am Feststoffeintrag	Tägliche Dokumentation
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	Durchflussmengenmesser	Tägliche Dokumentation
Gaszusammensetzung	Monatliche Messung durch Projektbearbeiter mittels mobilem Gasanalysator (mit Sensoren für CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S)	Kein stationäres Messgerät vorhanden
Gasmenge	Volumenstrommesser	Keine Normierung
Stromerzeugung	Stromzähler der Anlage und des Netzbetreibers	Trafo-Verluste durch Differenz aus BHKW- und Verkaufsstrom
Eigenstrombedarf	Zähler für Eigenstromverbrauch	Tägliche Dokumentation für zwei Monate, dann wöchentlich
Eigenwärmebedarf	-	Keine Wärmemengenzähler vorhanden

15.59.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Ab dem zweiten Monat des Beobachtungszeitraums verlief die zugegebene Substratmenge an Anlage 60 sehr gleichmäßig (vgl. Abbildung 15-254). Der Schwerpunkt bei der Substratmischung lag bei Wirtschaftsdüngern in Form von Rindermist und Rindergülle (35 % Anteil) und bei Mais-Ganzpflanzensilage (45 % Anteil). Grünroggen- und Grassilage wurden zusätzlich erst ab dem fünften Monat der Untersuchung eingesetzt. Durchschnittlich betrug die täglich zugeführte Substratmenge rund 25 t Frischmasse. Der mittlere TS-Gehalt der Substratmischung lag bei 29 %.

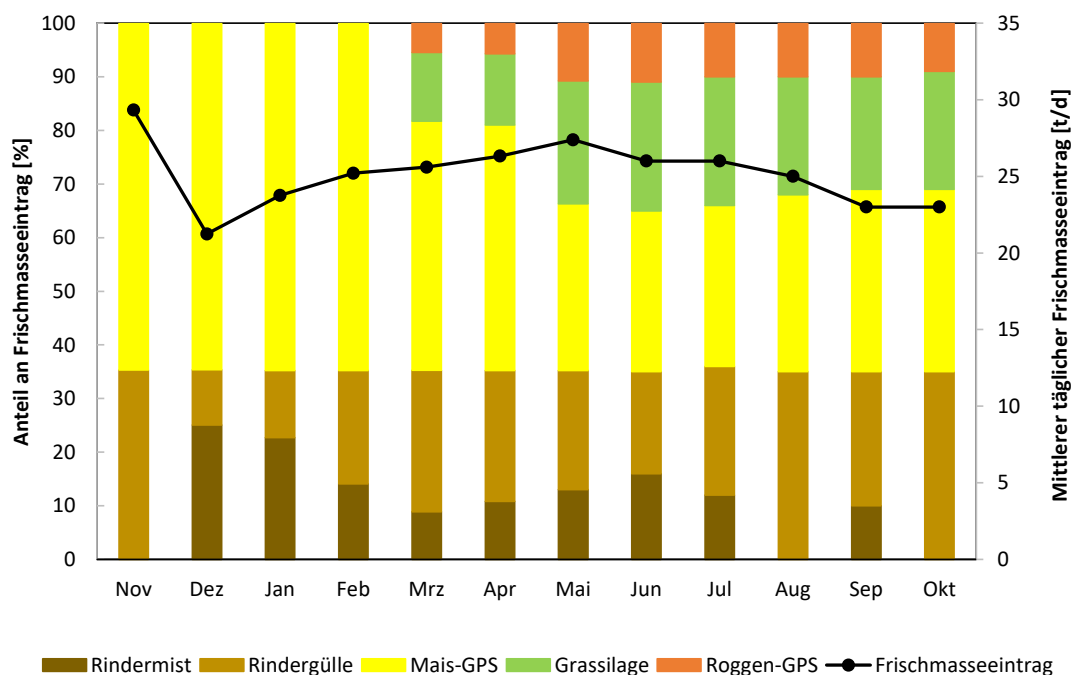


Abbildung 15-254: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung

Der FOS/TAC-Wert in Proben aus der einzigen Vergärungsstufe dieser Anlage betrug im Mittel des Beobachtungszeitraums 0,28. Dabei fällt auf, dass in den ersten vier Monaten der Beobachtungsperiode, als ausschließlich Mais-Ganzpflanzensilage und Gülle eingesetzt wurden, ein etwas höherer FOS/TAC bestimmt wurde, als in den übrigen acht Monaten mit einem breiteren Substratmix (vgl. Abbildung 15-254 und Abbildung 15-255).

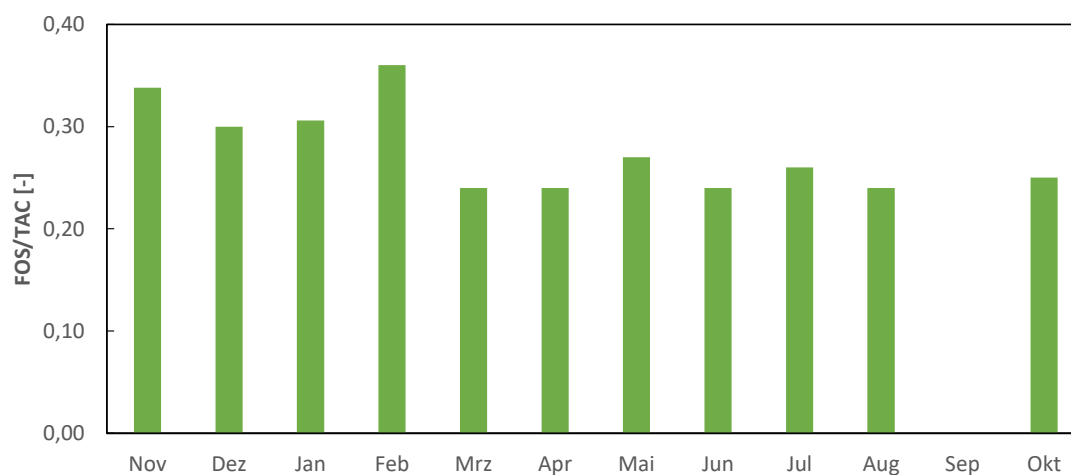


Abbildung 15-255: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten Vergärungsstufe

Die Auslastung der installierten elektrischen Leistung der Biogasanlage verlief außerordentlich gleichmäßig und lag im Durchschnitt bei knapp 99 % (vgl. Abbildung 15-256). Darüber hinaus konnte das BHKW nahezu vollständig unter Vollast betrieben werden. Diese Faktoren belegen einen störungsfreien und erfolgreichen Anlagenbetrieb. Daten zu den genutzten Wärmemengen liegen von dieser Anlage leider nicht vor.

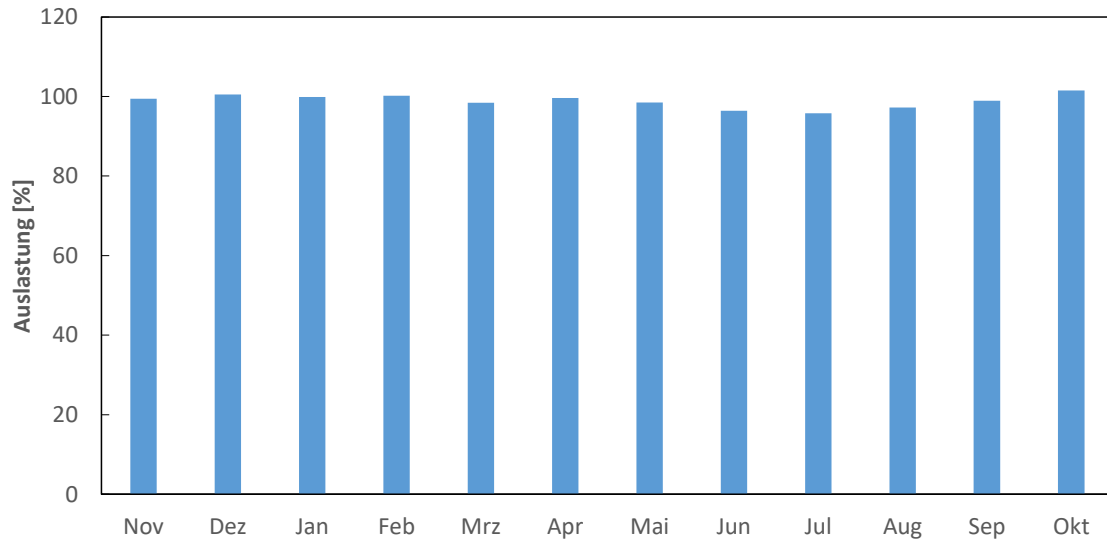


Abbildung 15-256: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW

Aus einer Tonne Frischmasse wurden in dieser Anlage knapp über 100 m³ Methan gewonnen, was unter Berücksichtigung des Wirtschaftsdüngeranteils von deutlich mehr als 30 % ein gutes Ergebnis ist. Folglich war auch der Abbaugrad der zugeführten Organik mit über 90 % vergleichsweise hoch. Der anteilige Strombedarf war auf durchschnittlichem Niveau (vgl. Tabelle 15-168).

Tabelle 15-168: Datenblatt der Anlage 60

BGA 60						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	400 kW					
Inbetriebnahme	2011					
Zeitraum der Messphase	09.2017 - 10. 2018					
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente					
Gasverwertung	1 VOV-BHKW					
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein					
Betriebsform	Einzelhofanlage, angeschlossener landwirtschaftlicher Betrieb mit Tierhaltung					
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter		Fermentersystem		Mengenangaben in FM
Anzahl		1				Gesamtmenge 9.170 [t/a]
Reaktorvolumen	[m³]	2.700		2.700		Gesamtmenge 25,1 [t/d]
Arbeitsvolumen	[m³]	2.500		2.500		Grassilage 13,7 [%]
stehend / liegend	[-]	stehend				Mais-Ganzpflanzensilage 44,8 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	1.200		1.200		Rindergülle 24,5 [%]
						Rindermist 10,8 [%]
						Grünroggensilage 6,2 [%]
Betriebsparameter:						
TS-Gehalt in FM	[%]	10,7				Einsatzstoffmix mittlerer TS-Gehalt in FM 29,0 [%] mittlerer oTS-Gehalt in TS 93,9 [%] mittlerer FoTS-Gehalt in TS 76,9 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	79,7				
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			2,7 _{FS}		
Verweilzeit	[d]			100 _{FS}		
oTS-Abbau	[%]			91 _{GSV}		
FoTS-Ausbeute	[%]			116 _{GSV}		
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]			1,0 _{FS}		
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]			1,9 _{FS}		
pH	[-]	7,9				Gärrestlager: Anzahl 1 Lagerkapazität gasdicht 4.200 [m³] Lagerkap. nicht gasdicht / offen 0 [m³] Gasspeichervolumen 1.800 [m³] relatives Restmethanpotential 1,9* [%] TS-Gehalt im Gärrest in FM 7,4 [%] oTS-Gehalt im Gärrest in TS 77,6 [%] *Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter
Temperatur	[°C]	43				
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,6				
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	5,3				
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	535				
FOS/TAC	[-]	0,28				
Gasverwertung:				Gasproduktion:		
				Messung am BHKW		
				Gaszusammensetzung		
				[Vol-%]	CH ₄	52,6
				[Vol-%]	CO ₂	47,6
				[Vol-%]	O ₂	0,3
				[ppm]	H ₂ S	59
				Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix		
					Biogas	Methan
				[m³/ t] in FM	191	101
				[m³/t] in oTS	703	370
				Stromproduktion		
				[kWh/d]	9.490	
				[kWh/t]	378	
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas						
Eigenstrombedarf:						
	[kWh/a]			Wärmeverwertung:		
BGA gesamt	310.245	9	[% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	[kWh/a]	
davon BHKW	135.089	4	[% der Stromproduktion]		367.164	10
davon BGA	175.156	5	[% der Stromproduktion]			[% der Wärmeproduktion]

15.60 Biogasanlage 61

15.60.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 61 befindet sich im mittleren Südwesten von Deutschland und wird in Kooperation von mehreren Landwirten betrieben. Die Biomethanaufbereitung wird von einem Netzbetreiber betrieben. Ein Landwirt ist für das operative Geschäft der Biogasanlage verantwortlich und angestellt. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte im Frühjahr 2007. Die Anlage ist 2-stufig aufgebaut, bestehend aus parallel geschalteten Fermentern und dazu in Reihe geschalteten Nachgärern. Die drei Fermenter haben sowie die drei Nachgärer haben jeweils ein Arbeitsvolumen von 1.711 m³. Das vergorene Material wird in fünf geschlossenen Behältern mit 1.400 m³ und zwei weiteren mit 2.700 m³ Speichervolumen gelagert (vgl. Abbildung 15-257).

Die Substratzufuhr erfolgt für Fermenter 1 und 2 über einen Feststoffdosierer, welcher die Einsatzstoffe mittels Abschieber und über Stopfschnecken den Fermentern zuführt. Fermenter 3 wird getrennt davon mittels eines anderen Feststoffdosierers mit Misch- und Stopfschnecke gefüttert. Flüssige Einsatzstoffe werden über eine Güllpumpe direkt in die Fermenter eingebracht. Der Transport des Gärmediums von Behälter zu Behälter erfolgt im Überlaufprinzip. Mittels einer Zentralpumpe kann der Betrieb zusätzlich flexibel gesteuert werden. Das Mischen der Einsatzstoffe erfolgt direkt im Fermenter. Hierfür sind jeweils ein langsam drehendes Paddelrührwerk sowie ein schnell laufendes Langachs-Propellerrührwerk installiert. In den Nachgärbehälter ist die gleiche Rührwerk Kombination verbaut.

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases sind die beiden großen Gärrestlager mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt.

Das produzierte Biogas wird biologisch und mit Eisenhydroxid entschwefelt und auf dem Weg zur Gasverwertung entwässert, sowie durch einen Aktivkohlfiler weiter gereinigt. Das produzierte Biogas wird direkt am Standort aufbereitet und eingespeist.

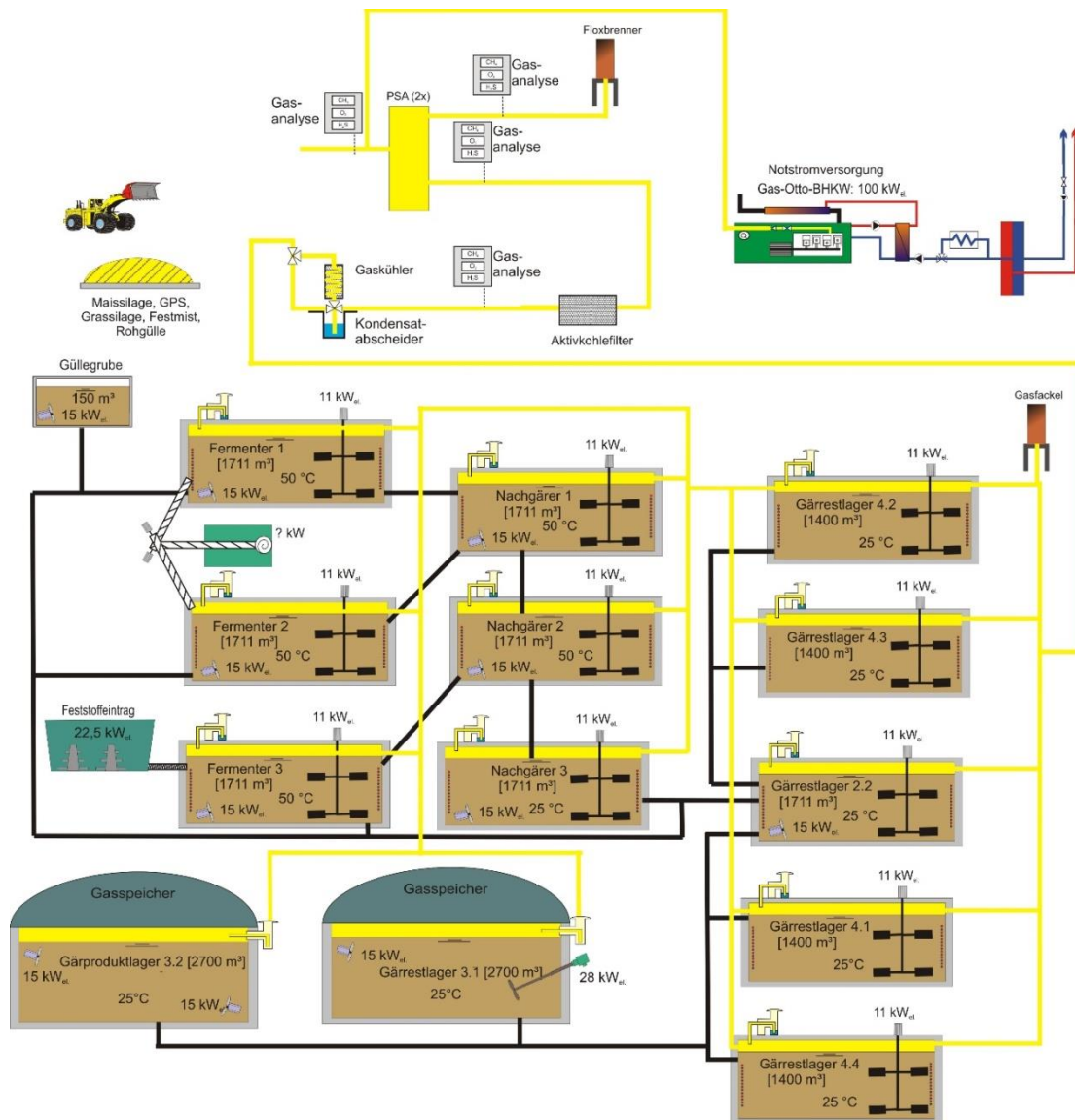


Abbildung 15-257: Anlagenschema BGA 61

15.60.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der Biogasanlage 61 ist in Tabelle 15-169 aufgelistet. Die gesamte Einsatzstoffmenge wird täglich geloggt und ausgelesen. Mit Hilfe eines festen Prozentsatzes können die Massen der einzelnen Substrate bestimmt werden. Die flüssigen Einsatzstoffe werden täglich gemessen. Die Gasmenge wird kontinuierlich geloggt und kann ausgelesen werden. Ebenfalls wird die Gasqualität geloggt und kann ausgelesen werden. Der Eigenstromverbrauch wird monatlich erfasst.

Tabelle 15-169: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 61

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Gesamtmenge	Täglich, Einzelmengen über festen Prozentsatz
Flüssige Einsatzstoffe	Durchflussmengenähler	Erfassung täglich
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Messung regelmäßig
Gaszähler	Vor und nach Aufbereitung Volumenstromzähler; zusätzlich Temperatur und Druckerfassung	Gasmenge kontinuierlich gemessen
Stromzähler	Kein Strom produziert	
Eigenstromverbrauch	Über Stromabrechnung	monatlich
Eigenwärmeverbrauch	Wird nicht gemessen	

Die Probennahme erfolgt in der Pumpleitung zwischen den Behältern. Mais-Ganzpflanzensilage und Grassilage wurden teilweise gemeinsam siliert. Die Probenahme erfolgte allerdings separat.

15.60.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 61 wurde im Zeitraum von Oktober 2017 bis September 2018 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurde Mais-Ganzpflanzensilage (57 %), Grünroggen-Ganzpflanzensilage (24 %) und Grassilage (14 %) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-258). Des Weiteren wurde Rindergülle (5 %) gefüttert. Die mittlere tägliche Fütterungsmenge betrug 98 t/d. Die Substratzusammensetzung war über das ganze Messjahr konstant. 10 t/d Gärrest wurden rezirkuliert, außerdem wurden täglich Spurenelemente und Entschwefelungschemikalien zugegeben.

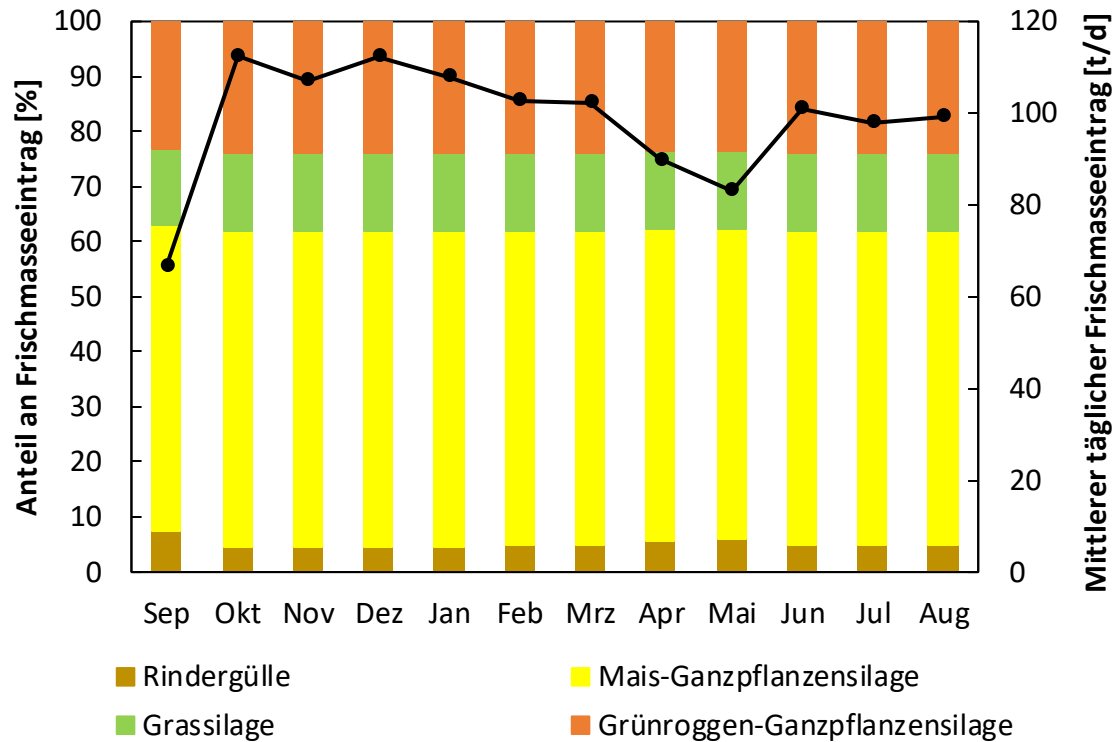


Abbildung 15-258: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Es trat lediglich eine sich anhäufende Sinkschicht in Fermenter 2 auf, der Grund dafür konnte aber nicht gefunden werden.

Die FOS/TAC-Werte von Fermenter 1 und Fermenter 2 zeigten einen identischen Verlauf (vgl. Abbildung 15-259). Der FOS/TAC-Wert lag dauerhaft unter 0,3. Erst im Juli - September stieg der Wert und blieb konstant bei ca. 0,39. Dieser Anstieg war nur in den Fermentern zu beobachten.

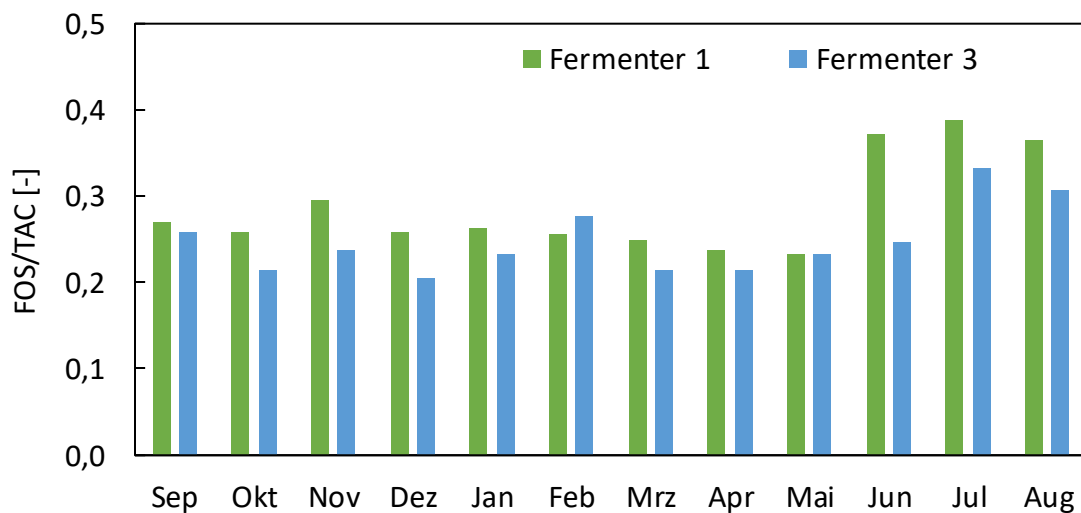


Abbildung 15-259: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Werts der BGA

Die Biogasanlage wurde mit einer hohen organischen Raumbelastung von 3,7 kg_{oTS}/(m³ d) und einer geringen Verweilzeit von 87 Tagen im Fermentersystem gefahren. Während der Fermenterkaskade baut sich der FOS/TAC-Wert und das Essigsäureäquivalent ab. Weitere Bewertungskriterien deuten auf einen hohen Abbaugrad hin (oTS-Abbau (87 %), FoTS-Ausbeute (125 %) und relatives Restgaspotential (1,6 %)).

Tabelle 15-170: Datenblatt der Biogasanlage 61

BGA 61					
Allgemeine Angaben:					
installierte elektrische Leistung	100 kW (Notstromversorgung)				
Inbetriebnahme	2011				
Zeitraum der Messphase	10.2017 - 09.2018				
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente				
Gasverwertung	Gasaufbereitung zu Biomethan & Einspeisung ins Erdgasnetz				
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein				
Betriebsform	sonstige Anlage				
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:	
Benennung	Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM	
Anzahl	3	2		Gesamt-Jahresmenge	35.914 [t/a]
Reaktorvolumen [m ³]	1.880	1.880	9.400	Gesamt-Tagesmenge	98,4 [t/d]
Arbeitsvolumen [m ³]	1.711	1.711	8.555	Grassilage	14,3 [%]
stehend / liegend	stehend	stehend		Mais-Ganzpflanzensilage	57,1 [%]
Gasspeichervolumen [m ³]	0	0		Rindergülle	5,1 [%]
				Grünroggensilage	23,8 [%]
Betriebsparameter:				Einsatzstoffmix	
TS-Gehalt in FM [%]	10,6	8,4		mittlerer TS-Gehalt in FM	34,7 [%]
oTS-Gehalt in TS [%]	80,7	76,4		mittlerer oTS-Gehalt in TS	93,8 [%]
organische Raumbelastung in oTS [kg/(m ³ d)]			3,7 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	82,1 [%]
Verweilzeit [d]			87 _{FS}		
oTS-Abbau [%]			90 _{GSV}		
FoTS-Ausbeute [%]			125 _{GSV}		
CH ₄ -Produktivität [m ³ /(m ³ d)]			1,6 _{FS}		
BG-Produktivität [m ³ /(m ³ d)]			3,0 _{FS}		
pH	7,2	8,1		Gärrestlager:	
Temperatur [°C]	51	50		Anzahl	8
NH ₄ -N in FM [g/kg]	3,1	3,4		Lagerkapazität gasdicht	14.422 [m ³]
N _{ges} -N in FM [g/kg]	5,3	5,1		Lagerkap. nicht gasdicht / offen	0 [m ³]
Essigsäureäquivalent in FM [mg/l]	402	181		Gasspeichervolumen	0 [m ³]
FOS/TAC	0,26	0,22		relatives Restmethanpotential	1,2 [%]
				TS-Gehalt im Gärrest in FM	7,3 [%]
				oTS-Gehalt im Gärrest in TS	74,0 [%]
Gasverwertung:				Gasproduktion:	
Biomethan-Einspeisung, keine Vor-Ort-Verstromung				Messung	vor AKF
				Gaszusammensetzung	
				[Vol.-%]	CH ₄ 52,5
				[Vol.-%]	CO ₂ 51,9
				[Vol.-%]	O ₂ 0
				[ppm]	H ₂ S 67
				Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix	
					Biogas Methan
				[m ³ /t] in FM	259 136
				[m ³ /t] in oTS	796 418
				Biogasaufbereitung	
				[kWh/d]	53.390
				[m ³ /h]	1.062
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas					
Eigenstrombedarf:					
	[kWh/a]				
BGA gesamt					
davon Aufbereitung	3.181.611				

Tabelle 15-171: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 61 im Jahr 2017

BGA 61				
installierte elektrische Leistung ¹	100	kW	eingespeiste Strommenge 2017 ²	19.641.687 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung		kW	Gesamtinvestitionsvolumen	5.430.171 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	0,00	%	-	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	0,00	%	-	€/a
Sonstige Erlöse (Rohbiogas) ³	100,00	%	3.129.027	€/a
Gesamterlöse	100	%	3.129.027	€/a
Kosten				
Substratkosten	60,37	%	1.466.964	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	39,86	€/t	887.881	€/a
Gras	36	€/t	177.512	€/a
Restliche NawaRo	43,28	€/t	401.571	€/a
Personalkosten	3,92	%	95.361	€/a
Instandhaltungskosten	3,79	%	92.045	€/a
Abschreibungen	15,04	%	365.370	€/a
Sonstige Betriebskosten	16,89	%	410.329	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug			166.926	€/a
Miete und Pacht			6.354	€/a
Maschinenmiete und Leasing			-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			9.194	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			35.262	€/a
Berufsgenossenschaft			1.238	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			16.802	€/a
Zinszahlungen ⁴			83.080	€/a
Buchführung und Verwaltung			-	€/a
Sonstiges			91.474	€/a
Gesamtkosten	100	%	2.430.069	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			15,93	ct/kWh
Stromgestehungskosten			12,37	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			3,56	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			698.958	€/a

¹ BHKW zur Notstromversorgung² rechnerisch ermittelter Wert aus dem Verkauf von 9.337.756 m³ Rohbiogas³ Annahme Rohbiogasverkaufspreis (ohne Aufbereitung) i. H. v. 5,85 ct/kWh_{HS} (dena, 2019) (eMikroBGAA, 2019)⁴ Abschätzung der Zinszahlungen aus der Angabe von Kreditvolumen, Kreditlaufzeit und effektiven Jahreszins