

15.10 Biogasanlage 11

15.10.1 Anlagenbeschreibung

Die BGA 11 wurde im Jahr 2006 in Betrieb genommen. Sie ist in einen landwirtschaftlichen Betrieb integriert, welcher neben Feldbau auch eine Mutterkuhhaltung und Schweinemast betreibt. Die Gärstrecke der Biogasanlage besteht aus einem Fermenter und einem Nachgärbehälter. Der Fermenter ist als Stahlrundbehälter mit Zentralrührwerk ausgeführt und fasst ein Nutzvolumen von 2.001 m³. Der Nachgärer besteht aus Stahlbeton mit einem Fassungsvermögen von 1.043 m³ und ist mit einem Doppelmembran-Gasspeicherdach ausgestattet (vgl. Abbildung 15-43). Das Gasspeichervolumen beträgt 600 m³. Der Nachgärer besitzt zur Umwälzung des Gärmediums zwei Tauchmotorrührwerke. Nachgeschaltet sind zwei Stahlbetonrundbehälter mit der Funktion als Gärreststofflager. Beide sind geruchsarm abgedeckt. Die Luft unter der Abdeckung wird abgesaugt und über die Ansaugluft dem BHKW zugeführt. Beide Gärreststofflager besitzen jeweils drei Tauchmotorrührwerke. Die Anlage wurde nach der Inbetriebnahme als Trockenfermentationsanlage deklariert.



Abbildung 15-43: Anlagenansicht der Biogasanlage 11

Als Einsatzstoffvorlage dient ein abgesenkter Feststoffdosierer in Betonbauweise mit Schubboden. Die Feststoffe werden zu Beginn im Futtermischwagen erfasst, gemischt und in den Dosierer gegeben. Anschließend wird das Gemisch über eine Exzentrerschneckenpumpe mit Anmischung (Rachentrichterpumpe) unter Anwendung von Gärsubstrat in den Fermenter gepumpt. Zur weiteren Substratdesintegration ist eine Umwälzpumpe mit nachgeschalteten Lochscheibenzerkleinerer und Platten-Wärmeübertrager integriert. Der Biogasprozess wird im mesophilen Temperaturbereich betrieben. Zur Entschwefelung des produzierten Biogases wird Luft in den Hauptfermenter und in den Nachgärer dosiert. Der Einsatz von Eisenpräparaten in Pulverform erfolgt zusätzlich für die Schwefelreduzierung. Zur weiteren Feinreinigung ist ein Aktivkohlefilter vor dem BHKW installiert. Die Gasverwertung erfolgt in einem BHKW mit einer installierten elektrischen Leistung von 537 kW, welches den produzierten Strom vollständig ins Stromnetz einspeist. Die produzierte Wärme wird über ein Nahwärmenetz an eine benachbarte Konservenfabrik, einen Landwirtschaftsbetrieb, eine Werkstatt sowie eine Holz Trocknung geliefert. Die Heizung von Fermenter und Nachgärer erfolgt aus dem Rücklauf der Dampfleitung der Konservenfabrik. Abbildung 15-44 zeigt den prinzipiellen Aufbau der BGA 11.

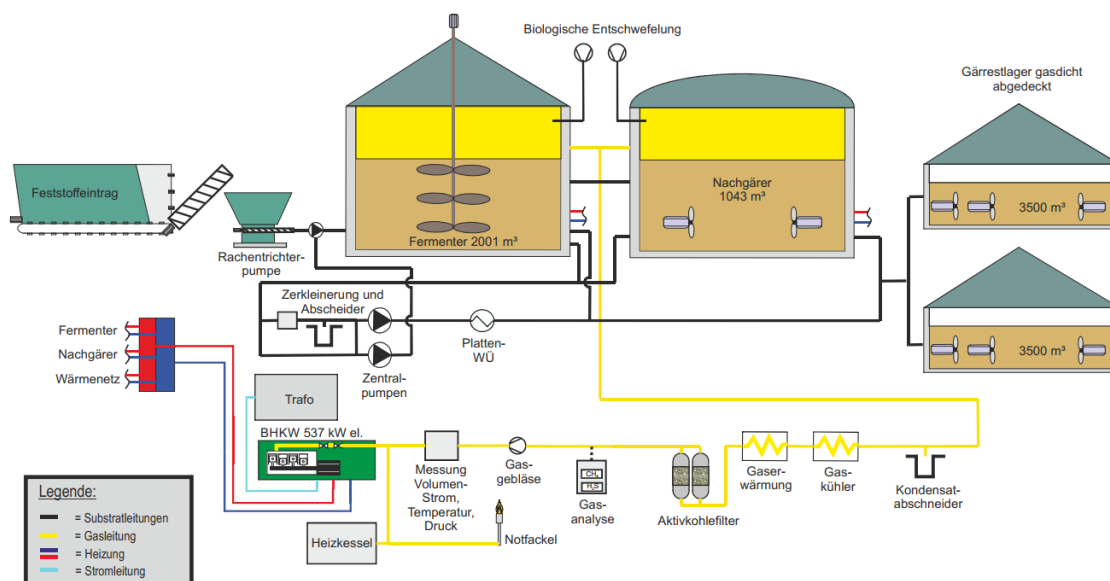


Abbildung 15-44: Anlagenschema BGA 11

15.10.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-29 aufgelistet. Die Feststoffe werden zu Beginn im Futtermischwagen erfasst, gemischt und in den Feststoffdosierer eingetragen. Die Beurteilung des Gasertrages wird anhand der produzierten Strommengen durchgeführt. Der Eigenverbrauch zur Beheizung des Fermenters und Nachgärers wird erfasst.

Tabelle 15-29: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 11

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Erfassung per Futtermischwagen	Ablesung täglich
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Messung permanent Ablesung mehrmals täglich
Gaszähler	Am BHKW ein Volumenstromzähler; zusätzlich Temperatur und Druckerfassung	Tagessumme der Gasmenge einmal täglich übernommen; keine Ausgabe des Normvolumenstroms zum Abgleich des Gasertrages mit dem theoretisch möglichen Gasertrag; Temperatur und Druckerfassung zum Teil an anderen Stellen als die Mengenerfassung verbaut
Stromzähler	Zähler am BHKW und am Einspeisetransformator	Tägliche Ablesung am BHKW Monatlich am Trafo
Wärmezähler	Messung der externen Verbraucher	Tägliche Ablesung
Eigenstromverbrauch	Separate Zähler zur Erfassung des Verbrauches für Biogasanlage und BHKW	Tägliche Ablesung
Eigenwärmeverbrauch	Wird gemessen	Tägliche Ablesung

15.10.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Maßgeblicher Einsatzstoff ist Maissilage. Hinzu kommen eine geringe Menge an Rindermist und Grassilage und Getreideschrot. Wobei die Fraktion Rindermist etwa 9 Masse-% der zugeführten Substratmenge ausmacht. Flüssige Frischsubstrate werden nicht zugeführt (vgl. Abbildung 15-45). Im Jahresdurchschnitt werden ca. 24 t/d feste Einsatzstoffe zugeführt. Die Feststoffe werden unter Einsatz von Rezirkulat mittels einer Rachttrichterpumpe in den Fermenter gepumpt. Zusätzlich wurden im Mittel täglich 10 kg Spurenelemente und 75 kg Eisenhydroxyd der Anlage zugeführt. Über einen freien Überlauf gelangt das ausgegorene Gärsubstrat vom Fermenter in den Nachgärer. Das Gärrestlager ist ebenfalls über einen freien Überlauf mit dem Nachgärer verbunden. Die mittlere hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem im Betrachtungszeitraum beträgt 127 Tage, die Raumbelastung im gesamten System (inkl. Nachgärer) ca. $2,9 \text{ kg}_{\text{TS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ (vgl. Tabelle 15-30). Der FOS/-TAC-Wert des Fermenters bewegte sich im Bereich von 0,15 bis 0,20 (vgl. Abbildung 15-46).

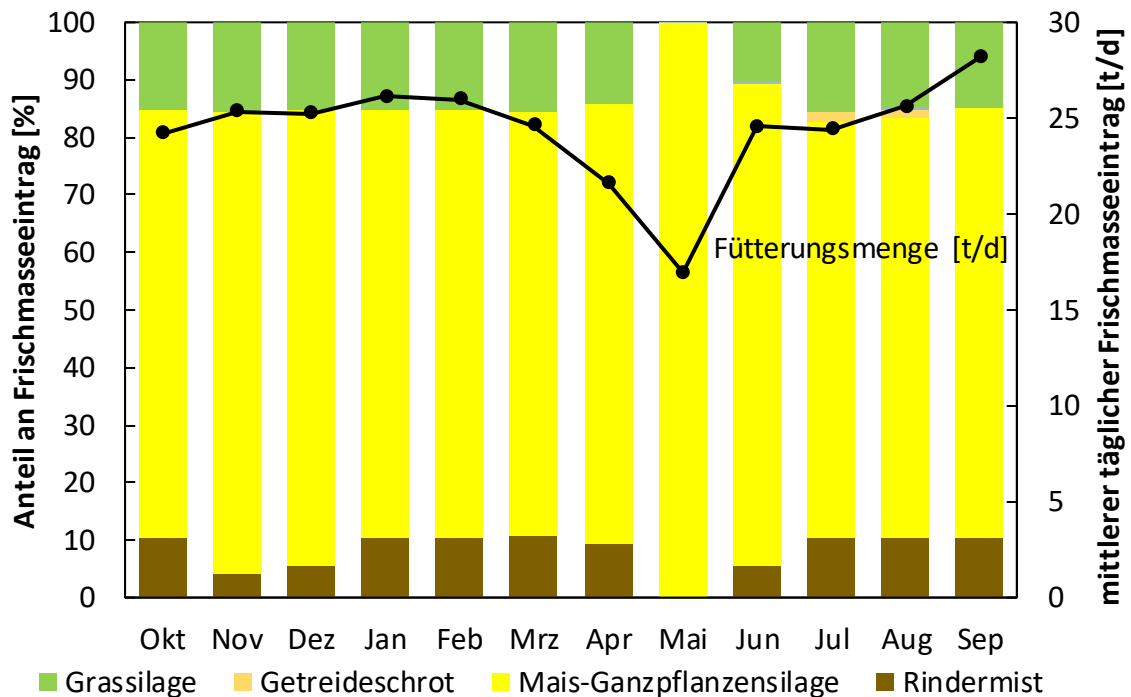


Abbildung 15-45: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 11

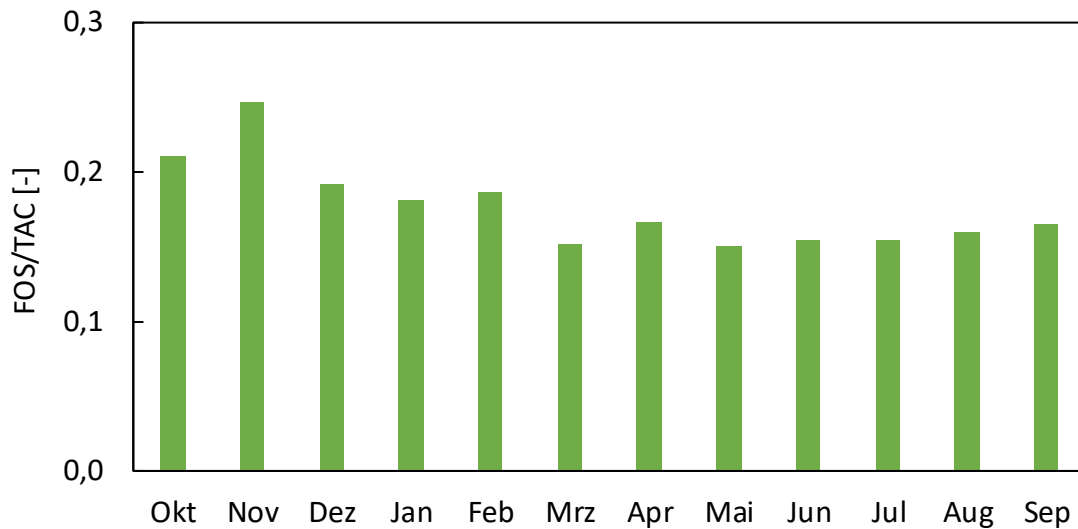


Abbildung 15-46: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 11

Nach einem stabilen Betriebsverlauf in der ersten Hälfte des Messzeitraumes musste der Fermenter im Monat Mai 2018 komplett entleert werden. Demnach sank die Fütterungsmenge in diesem Monat um ca. ein Drittel. Aufgrund der Ab – und Anfahrzeiten ist die Gasproduktion im Monat April und Mai 2018 deutlich geringer somit ist die BHKW-Auslastung ebenfalls gesunken. Sonst lag die elektrische Auslastung auf einem sehr hohen Niveau. Häufig wurden rechnerisch Auslastungen von 100 % erreicht. (vgl. Abbildung 15-47). Auffallend war, dass die Prozesstemperatur mit über 43 – 45°C im Fermenter im oberen Bereich der mesophilen Fahrweise lag. Die erzeugte BHKW-Abwärme konnte im Betrachtungszeitraum zu ca. 60 % als Prozessdampf und Heizwärme an einen benachbarten Konservenbetrieb abgegeben werden.

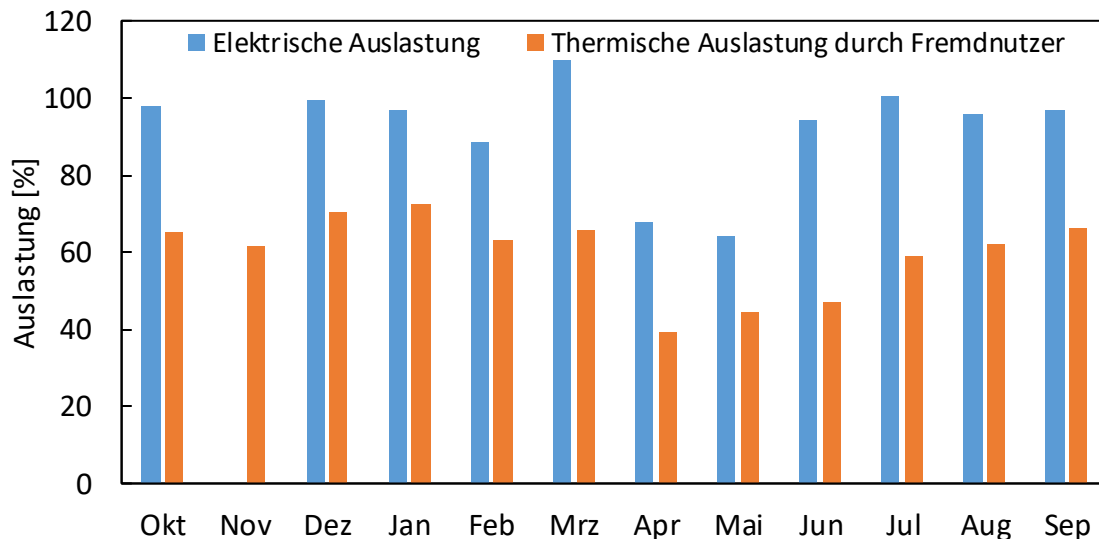


Abbildung 15-47: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 11

Tabelle 15-30: Datenblatt der Biogasanlage 11

BGA 11						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	537 kW					
Inbetriebnahme	12.2006					
Zeitraum der Messphase	10.2016 - 09.2017					
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente					
Gasverwertung	1 VOV-BHKW					
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein					
Betriebsform	Anschluss an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Ackerbau					
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM	
Anzahl		1	1		Gesamt-Jahresmenge	8.872 [t/a]
Reaktorvolumen	[m³]	2.155	1.527	3.682	Gesamt-Tagesmenge	24,3 [t/d]
Arbeitsvolumen	[m³]	2.001	1.043	3.044	Maissilage	77,5 [%]
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend		Grassilage	13,9 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	0	600	600	Rindermist	8,4 [%]
					Getreideschrot	0,3 [%]
Betriebsparameter:					Einsatzstoffmix	
TS-Gehalt in FM	[%]	11,6	10,6		mittlerer TS-Gehalt in FM	38,7 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	73,6	74,0		mittlerer oTS-Gehalt in TS	93,5 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			2,0 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	74,8 [%]
Verweilzeit	[d]			127 _{FS}		
oTS-Abbau	[%]			84 _{GSY}		
FoTS-Ausbeute	[%]			99 _{GSY}		
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]			1,1 _{FS}		
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]			1,9 _{FS}		
pH	[-]	8,0	7,4		Gärrestlager:	
Temperatur	[°C]	44	42		Anzahl	2
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	3,4	3,3		Lagerkapazität gasdicht	0 [m³]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	6,2	6,7		Lagerkap. nicht gasdicht / offen	7.000 [m³]
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	266	194		Gaspeichervolumen	0 [m³]
FOS/TAC	[-]	0,18	0,16		relatives Restmethanpotential	2,9 [%]
					TS-Gehalt im Gärrest in FM	9,9 [%]
					oTS-Gehalt im Gärrest in TS	72,1 [%]
Gasverwertung:				Gasproduktion:		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	58			Messung	vor AKF
		BHKW		Gaszusammensetzung		
Motortyp		GO		[Vol-%]	CH ₄	54,3
elektr. Nennleistung	[kW]	537		[Vol-%]	CO ₂	-
therm. Nennleistung	[kW]	529		[Vol-%]	O ₂	0,5
elektr. Wirkungsgrad	[%]	38,0		[ppm]	H ₂ S	140
therm. Wirkungsgrad	[%]	40,0		Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix		
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast			Biogas	Methan
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	8.339		[m³/t] in FM	223	121
theor. Volllaststunden	[h/a]	7.852		[m³/t] in oTS	618	336
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	89,6		Stromproduktion		
				[kWh/d]	11.552	
				[kWh/t]	475	
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas						
Eigenstrombedarf:				Wärmeverwertung:		
	[kWh/a]				[kWh/a]	
BGA gesamt	483.537	11,5 [% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	127.350	3 [% der Wärmeproduktion]	
davon BHKW	112.614	2,7 [% der Stromproduktion]	Nahwärmenetz	2.755.068	62 [% der Wärmeproduktion]	
davon BGA	370.923	8,8 [% der Stromproduktion]				

Tabelle 15-31: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 11 im Jahr 2017

BGA 11					
installierte elektrische Leistung	537	kW	eingespeiste Strommenge 2017	4.269.951	kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	510	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	2.215.000	€
Leistungen					
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	82,83	%		864.111	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	7,46	%		77.785	€/a
Sonstige Erlöse	9,71	%		111.429	€/a
Gesamterlöse	100	%		1.053.325	€/a
Kosten					
Substratkosten	37,20	%		343.432	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>					
Mais	40	€/t		275.872	€/a
Gras	37,5	€/t		46.976	€/a
Restliche NawaRo	129	€/t		3.548	€/a
Personalkosten	3,67	%		33.841	€/a
Instandhaltungskosten	15,10	%		139.384	€/a
Abschreibungen	14,36	%		132.609	€/a
Sonstige Betriebskosten	29,68	%		273.990	€/a
<i>davon</i>					
Zündöl				-	€/a
Strombezug				92.025	€/a
Miete und Pacht				4.000	€/a
Maschinenmiete und Leasing				-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung				-	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben				3.508	€/a
Berufsgenossenschaft				-	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel				14.415	€/a
Zinszahlungen				4.822	€/a
Buchführung und Verwaltung				-	€/a
Sonstiges				155.220	€/a
Gesamtkosten	100	%		923.256	€/a
Bilanz					
Gesamterlöse				24,67	ct/kWh
Stromgestehungskosten				21,62	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				3,05	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				130.068	€/a

15.11 Biogasanlage 12

15.11.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 12 ist in einem thüringischen landwirtschaftlichen Betrieb für Feldbau und Tierwirtschaft integriert und wurde im Jahr 2007 in Betrieb genommen. Die Gärstrecke der Biogasanlage besteht baugleich, wie die benachbarte BGA 11, aus einem Fermenter und einem Nachgärbehälter. Der Fermenter ist als Stahlrundbehälter mit Zentralrührwerk ausgeführt und fasst ein Nutzvolumen von 2.001 m³. Der Nachgärer besteht aus Stahlbeton mit einem Fassungsvermögen von 1.043 m³ und ist mit einem Doppelmembran-Gasspeicherdach ausgestattet (vgl. Abbildung 15-48). Das Gasspeichervolumen beträgt 600 m³. Der Biogasprozess wird im mesophilen Temperaturbereich betrieben. Der Nachgärer besitzt zur Umwälzung des Gärmediums zwei Tauchmotorrührwerke. Nachgeschaltet sind zwei Stahlbetonrundbehälter mit der Funktion als Gärreststofflager. Beide sind gasdicht abgedeckt und besitzen jeweils drei Tauchmotorrührwerke. Das Gas aus den Gärrestslagern wird abgesaugt und über die Ansaugluft dem BHKW zugeführt. Die Anlage wurde nach der Inbetriebnahme als Trockenfermentationsanlage deklariert.



Abbildung 15-48: BGA 12 mit Annahmehunker, Pumpencontainer, Fermenter, Nachgärer (hinten) und Gärrestlager

Als Feststoffvorlage dient ein abgesenkter Dosierer in Betonbauweise mit Schubboden. Die Feststoffe werden zu Beginn im Futtermischwagen erfasst, gemischt und in den Dosierer gegeben. Anschließend wird das Gemisch über eine Rachtentrichterpumpe unter Anwendung von Rezirkulat in den Fermenter gepumpt. Zur weiteren Substratdesintegration ist ein vorgeschalteter Lochscheibenzerkleinerer vor der Umwälzpumpe sowie eine elektrokinetischen Desintegrationseinheit in der Substratleitung integriert.

Zur Entschwefelung des produzierten Biogases wird Luft in den Hauptfermenter und in den Nachgärer dosiert. Der Einsatz von Eisenpräparaten in Pulverform erfolgt zusätzlich für die Schwefelreduzierung. Zur weiteren Feinreinigung ist ein Aktivkohlefilter vor dem BHKW installiert. Die Gasverwertung erfolgt in einem BHKW mit einer installierten elektrischen Leistung von 537 kW, welches den produzierten Strom vollständig ins Stromnetz einspeist. Die produzierte Wärme wird – wie bei BGA 11 – über ein Nahwärmenetz an eine benachbarte Konservenfabrik, einen Landwirtschaftsbetrieb, eine Werkstatt sowie eine Holz Trocknung geliefert. Die Heizung von Fermenter und Nachgärer erfolgt aus dem Rücklauf der Dampfleitung der Konservenfabrik. Abbildung 15-49 zeigt den prinzipiellen Aufbau der BGA 12.

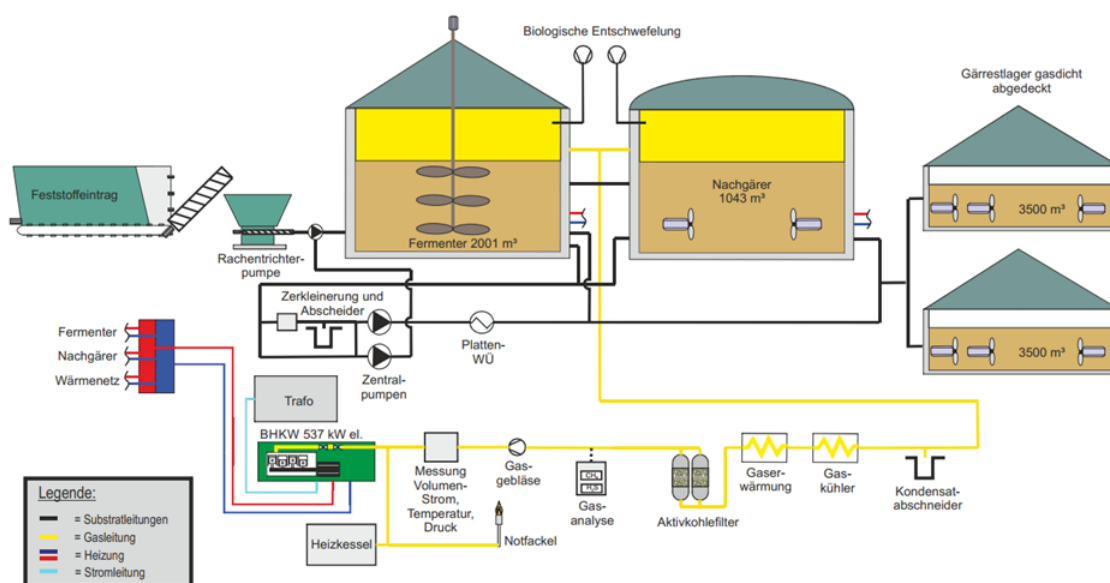


Abbildung 15-49: Anlagenschema der BGA 12

15.11.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-32 aufgelistet. Die Feststoffe werden zu Beginn im Futtermischwagen erfasst, gemischt und in den Feststoffbunker eingetragen. Die Beurteilung des Gasertrages wird anhand der produzierten Strommengen durchgeführt. Der Eigenverbrauch zur Beheizung des Fermenters und Nachgärers wird erfasst.

Tabelle 15-32: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 12

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Erfassung per Futtermischwagen	Ablesung täglich
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Messung regelmäßig Ablesung zweimal täglich
Gaszähler	Am BHKW ein Volumenstromzähler; zusätzlich Temperatur und Druckerfassung	Tagessumme der Gasmenge einmal täglich übernommen; keine Ausgabe des Normvolumenstroms zum Abgleich des Gasertrages mit dem theoretisch möglichen Gasertrag; Temperatur und Druckerfassung zum Teil an anderen Stellen als die Mengenerfassung verbaut
Stromzähler	Zähler am BHKW und am Einspeisetransformator	Tägliche Ablesung am BHKW Monatlich am Trafo
Wärmezähler	Messung der externen Verbraucher	Tägliche Ablesung
Eigenstromverbrauch	Separate Zähler zur Erfassung des Verbrauches für Biogasanlage und BHKW	Tägliche Ablesung
Eigenwärmeverbrauch	Wird gemessen	Tägliche Ablesung

15.11.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

In dem Betrachtungsjahr wurden ca. 1.430 t Putenmist, 520 t Rindermist, 1.480 t Hühnertrockenkot, 1.080 t Grassilage und 5.890 t Mais-Ganzpflanzensilage in die Anlage dosiert. Ein geringer Anteil Getreideschrot von ca. 30 t wurde ausschließlich in den Monaten Juli und August gefüttert. Die prozentualen Anteile an der Gesamtfütterungsmenge können aus Abbildung 15-50 entnommen werden. Der Anteil an Wirtschaftsdünger (Rinder-, Putenmist und HTK) nahm hierbei im Betrachtungszeitraum einen Anteil von 33 Masse-% ein. Flüssige Frischsubstrate wurden nicht zugeführt.

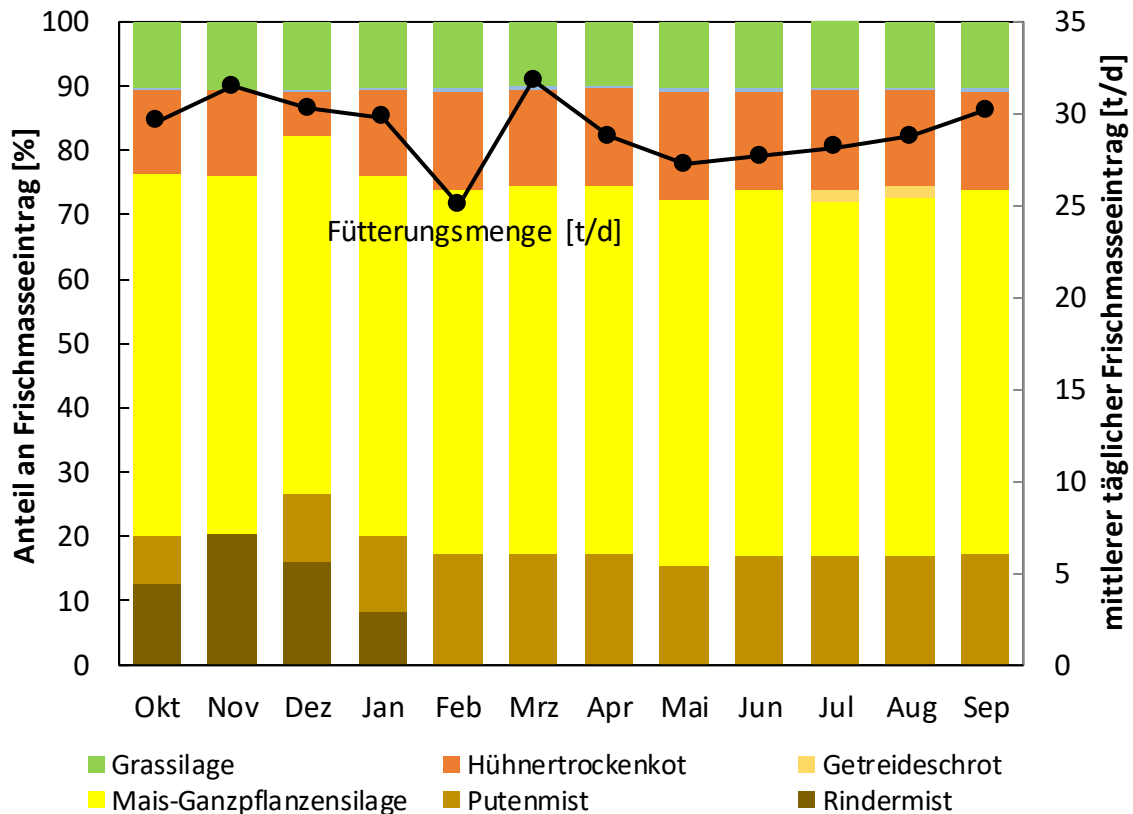


Abbildung 15-50: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 12

Im Jahresdurchschnitt werden ca. 29 t/d feste Einsatzstoffe zugeführt. Die Feststoffe werden unter Einsatz von Rezirkulat mittels einer Rachtentrichterpumpe in den Fermenter gepumpt. Zusätzlich wurden im Mittel täglich 10 kg Spurenelemente und 105 kg Eisenhydroxyd der Anlage zugeführt. Über einen freien Überlauf gelangt das ausgegorene Gärsubstrat vom Fermenter in den Nachgärer. Das Gärrestlager ist ebenfalls über einen freien Überlauf mit dem Nachgärer verbunden. Die mittlere hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem im Betrachtungszeitraum beträgt 106 Tage, die Raumbelastung im gesamten System (inkl. Nachgärer) ca. 3,4 kg_{oTS}/(m³ d) (vgl. Tabelle 15-33). Der FOS/TAC-Wert des Fermenters bewegte sich im Bereich von 0,15 bis 0,20 (vgl. Abbildung 15-51).

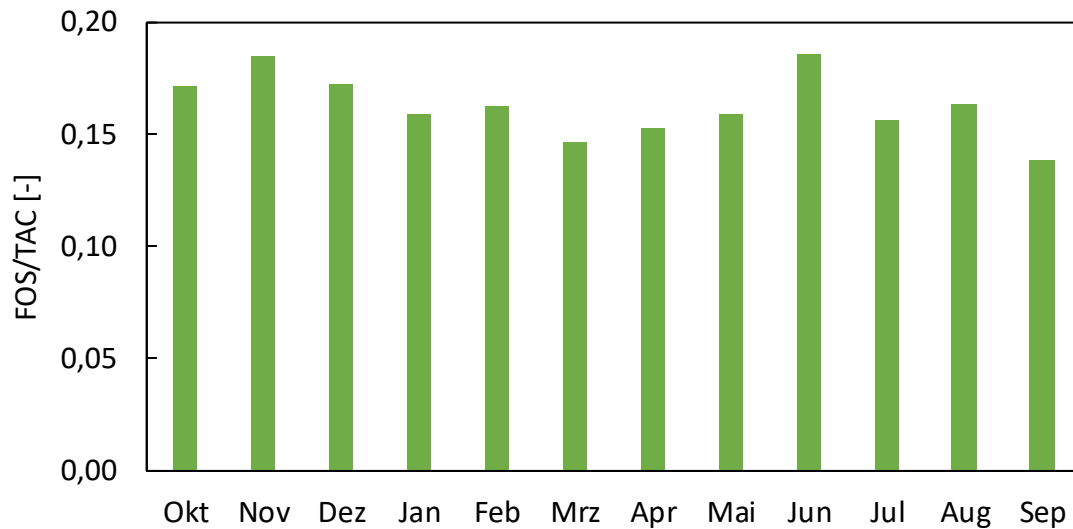


Abbildung 15-51: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 12

Die elektrische Auslastung lag im Mittel bei 94 %. Die Abbildung 15-52 zeigt, dass im Betrachtungszeitraum die BHKW-Abwärme als Prozesswärme zu 60 % eingesetzt wird. Die verbleibende Wärme diente maßgeblich zur Eigenwärmebedarf des Prozesses. Auch bei dieser Anlage lagen die Temperaturen mit 43 – 45°C im Fermenter auf hohem Niveau für ein mesophiles Prozessumfeld. Weitere Daten sind in Tabelle 15-33 zu finden.

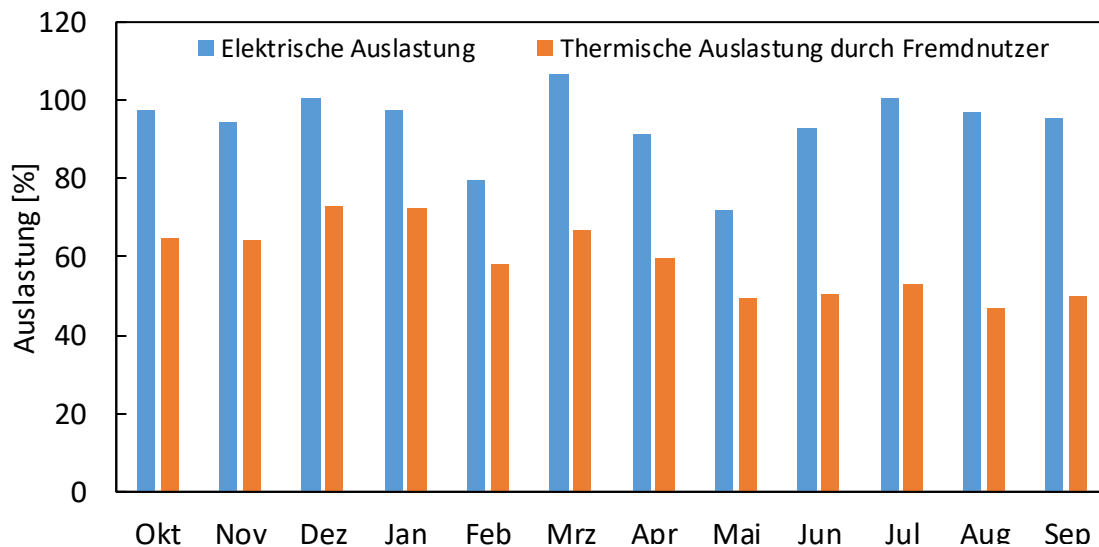


Abbildung 15-52: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 12

Tabelle 15-33: Datenblatt der Biogasanlage 12

BGA 12						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	537 kW					
Inbetriebnahme	09.2007					
Zeitraum der Messphase	10.2016 - 09.2017					
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente					
Gasverwertung	1 VOV-BHKW					
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein					
Betriebsform	Anschluss an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Ackerbau und Hühnermast					
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM	
Anzahl		1	1		Gesamt-Jahresmenge	10.423 [t/a]
Reaktorvolumen	[m³]	2.155	1.527	3.682	Gesamt-Tagesmenge	29,0 [t/d]
Arbeitsvolumen	[m³]	2.001	1.376	3.377	Maissilage	56,5 [%]
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend		Hühnertrockenkot	14,2 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	0	600	600	Putenmist	13,7 [%]
Betriebsparameter:					Grassilage	10,3 [%]
TS-Gehalt in FM	[%]	12,0	11,0		Rindermist	5,1 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	73,0	71,5		Getreideschrot	0,3 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			2,0 _{FS}	Einsatzstoffmix	
Verweilzeit	[d]			127 _{FS}	mittlerer TS-Gehalt in FM	40,9 [%]
oTS-Abbau	[%]			84 _{GSY}	mittlerer oTS-Gehalt in TS	88,6 [%]
FoTS-Ausbeute	[%]			99 _{GSY}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	67,6 [%]
CH ₄ -Produktivität	[m³ / (m³ d)]			1,1 _{FS}	Gärrestlager:	
BG-Produktivität	[m³ / (m³ d)]			1,9 _{FS}	Anzahl	2
pH	[-]	8,1	8,2		Lagerkapazität gasdicht	0 [m³]
Temperatur	[°C]	43,5	41,9		Lagerkap. nicht gasdicht / offen	7.000 [m³]
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	3,7	3,9		Gasspeichervolumen	0 [m³]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	6,7	7,0		relatives Restmethanpotential	3,4 [%]
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	496	206		TS-Gehalt im Gärrest in FM	9,9 [%]
FOS/TAC	[-]	0,16	0,15		oTS-Gehalt im Gärrest in TS	70,7 [%]
Gasverwertung:				Gasproduktion:		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	57		Messung	vor AKF	
		BHKW		Gaszusammensetzung		
Motortyp		GO		[Vol-%]	CH ₄	52,7
elektr. Nennleistung	[kW]	537		[Vol-%]	CO ₂	-
therm. Nennleistung	[kW]	565		[Vol-%]	O ₂	-
elektr. Wirkungsgrad	[%]	38		[ppm]	H ₂ S	116
therm. Wirkungsgrad	[%]	40		Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix		
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast		[m³/ t] in FM	217	114
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	8.487		[m³/t] in oTS	599	316
theor. Volllaststunden	[h/a]	8.118		Stromproduktion		
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	92,7		[kWh/d]	11.944	
				[kWh/t]	418	
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas				Wärmeverwertung:		
Eigenstrombedarf:	[kWh/a]			[kWh/a]		
BGA gesamt	510.797	12 [% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	110.030	2 [% der Wärmeproduktion]	
davon BHKW	113.535	3 [% der Stromproduktion]	Nahwärmenetz	2.915.269	63 [% der Wärmeproduktion]	
davon BGA	397.262	9 [% der Stromproduktion]				

Tabelle 15-34: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 12 im Jahr 2017

BGA 12				
installierte elektrische Leistung	537	kW	eingespeiste Strommenge 2017	4.206.200 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	510	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	2.220.000 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	83,05	%	930.650	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	7,01	%	78.500	€/a
Sonstige Erlöse	9,94	%	111.429	€/a
Gesamterlöse	100	%	1.120.579	€/a
Kosten				
Substratkosten	36,55	%	301.618	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	40	€/t	234.368	€/a
Gras	37,5	€/t	39.926	€/a
Restliche NawaRo	129	€/t	3.664	€/a
Personalkosten	3,94	%	32.500	€/a
Instandhaltungskosten	21,14	%	174.442	€/a
Abschreibungen	16,87	%	139.222	€/a
Sonstige Betriebskosten	21,49	%	177.328	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug			93.901	€/a
Miete und Pacht			4.000	€/a
Maschinenmiete und Leasing			-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			9.000	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			23.000	€/a
Berufsgenossenschaft			842	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			-	€/a
Zinszahlungen			21.035	€/a
Buchführung und Verwaltung			-	€/a
Sonstiges			25.550	€/a
Gesamtkosten	100	%	825.109	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			26,64	ct/kWh
Stromgestehungskosten			19,62	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			7,02	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			295.469	€/a

15.12 Biogasanlage 13

15.12.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 13 (vgl. Abbildung 15-53) befindet sich im Osten von Deutschland und ist in einen landwirtschaftlichen Betrieb mit eigenem Feldbau und Milchviehhaltung integriert. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte im Frühjahr 2008. Die Anlage ist 2-stufig aufgebaut, bestehend aus in Reihe geschalteten Fermenter und Nachgärer mit jeweils 1.437 m³ Netto-Arbeitsvolumen. Das vergorene Material wird in einem offenen Gärrestlager bis zur Ausbringung auf die eigenen Flächen gelagert.

Die Substratzufuhr erfolgt über einen Feststoffdosierer, welcher die Einsatzstoffe auf ein Förderband aufgibt, um es schließlich über eine Stopfschnecke dem Fermenter zuzuführen. Flüssige Einsatzstoffe werden über eine Güllepumpe direkt in den Fermenter eingebracht. Der Transport des Gärmediums von Behälter zu Behälter erfolgt im Überlaufprinzip. Mittels einer Zentralspumpe kann der Betrieb zusätzlich flexibel gesteuert werden. Das Anmischen der Einsatzstoffe erfolgt direkt im Fermenter. Hierfür sind ein langsam drehendes Paddelrührwerk sowie ein schnell laufendes Langachs-Propellerrührwerk installiert. Der Nachgärbehälter ist mit zwei Langachs-Propellerrührwerken ausgestattet. Ein zusätzliches Aggregat zur Aufbereitung der Feststoffe / Flüssigkeiten ist nicht an der Anlage installiert.



Abbildung 15-53: BGA 13 mit Fermenter, Feststoffdosierer und Förderband

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases sind beide Gärbehälter mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das Gasspeichervolumen je Behälter beträgt 780 m³. Das produzierte Biogas wird behälterintern biologisch entschwefelt und auf dem Weg zur Gasverwertung entwässert, sowie durch einen AktivkohlfILTER weiter gereinigt. Die Gasverwertung erfolgt durch 3 BHKW, die am Anlagenstandort betrieben werden. Die Summe der installierten elektrischen Nennleistung beträgt 590 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 Futtermitteln eingesetzt (vgl. Abbildung 15-54).

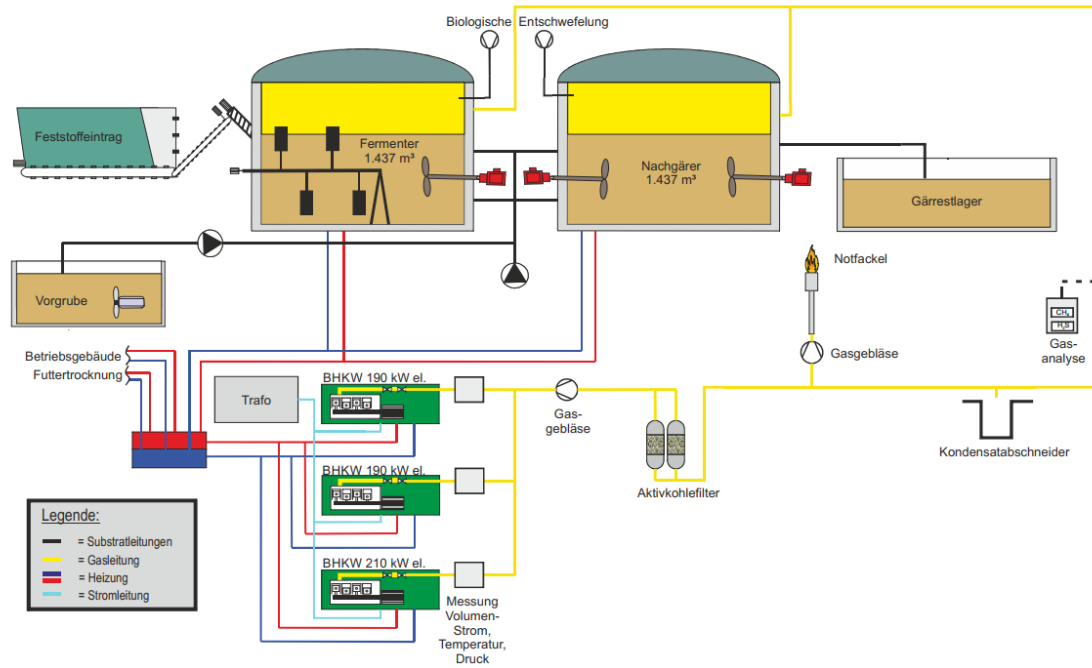


Abbildung 15-54: Anlagenschema BGA 13

15.12.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-35 aufgelistet. Eine genaue Erfassung der Einsatzstoffmengen ist zu Beginn des Betrachtungszeitraumes noch nicht möglich, da die eingesetzten Feststoffmengen über einmalig ausgewogene Volumina gefüttert werden. Die genauen Mengen sind nicht bekannt. Durch die Anschaffung eines Futtermischwagens ist im weiteren Verlauf eine genaue Dosierung der gefütterten Massen möglich. Die Beurteilung des Gasertrages wird anhand der produzierten Strommengen durchgeführt. Der Eigenverbrauch zur Beheizung der Fermenter wird nicht erfasst.

Tabelle 15-35: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 13

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Schätzung über einmalig ausgewogenes Volumen; später Erfassung per Silofräse	Einmaliges Wiegen, später kontinuierlich über Fräse
Flüssige Einsatzstoffe	Durchflussmengenähler	Ablesung täglich
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Messung regelmäßig Ablesung zweimal täglich
Gaszähler	Je BHKW ein Volumenstromzähler; zusätzlich Temperatur und Druckerfassung	Tagessumme der Gasmenge einmal täglich übernommen; Keine Ausgabe des Normvolumenstroms zum Abgleich des Gasertrages mit dem theoretisch möglichen Gasertrag; Temperatur und Druckerfassung zum Teil an anderen Stellen als die Mengenerfassung verbaut
Stromzähler	Zähler am BHKW und am Einspeisetransformator	Tägliche Ablesung am BHKW Monatlich am Trafo
Eigenstromverbrauch	Separate Zähler zur Erfassung des Verbrauches für Biogasanlage und BHKW	Tägliche Ablesung
Eigenwärmeverbrauch	Wird nicht gemessen	

Um den biologischen Prozess beurteilen zu können, werden bedarfsweise Analysen der Spurenelemente im Fermenter durchgeführt. Auf deren Basis wird die Zugabe der Spurenelemente angepasst. Monatlich erfolgt eine Analyse des Fermenters auf pH-Wert, FOS, TAC, FOS/TAC, NH₄-N⁺ sowie des Säurespektrums. Bei Hinweis auf eine biologische Prozessstörung wird das Monatsintervall verkürzt.

15.12.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 13 wurde im Zeitraum von Oktober 2016 bis September 2017 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurde maßgeblich Rindergülle aus dem eigenen Betrieb eingesetzt (vgl. Abbildung 15-55). Ergänzend wurden Mais-Ganzpflanzensilage und Getreideschrot gefüttert. Getreideschrot wurde zum Ende des Betrachtungszeitraumes teilweise durch Kleie ersetzt, Grassilage nur sporadisch als verbliebene Restmengen verwertet. Die hohe mittlere tägliche Fütterungsmenge von ca. 63 t/d ist auf den große Menge Rindergülle zurückzuführen. Auffällig ist, dass die Substratzusammensetzung innerhalb des Betrachtungszeitraumes relativ konstant ist.

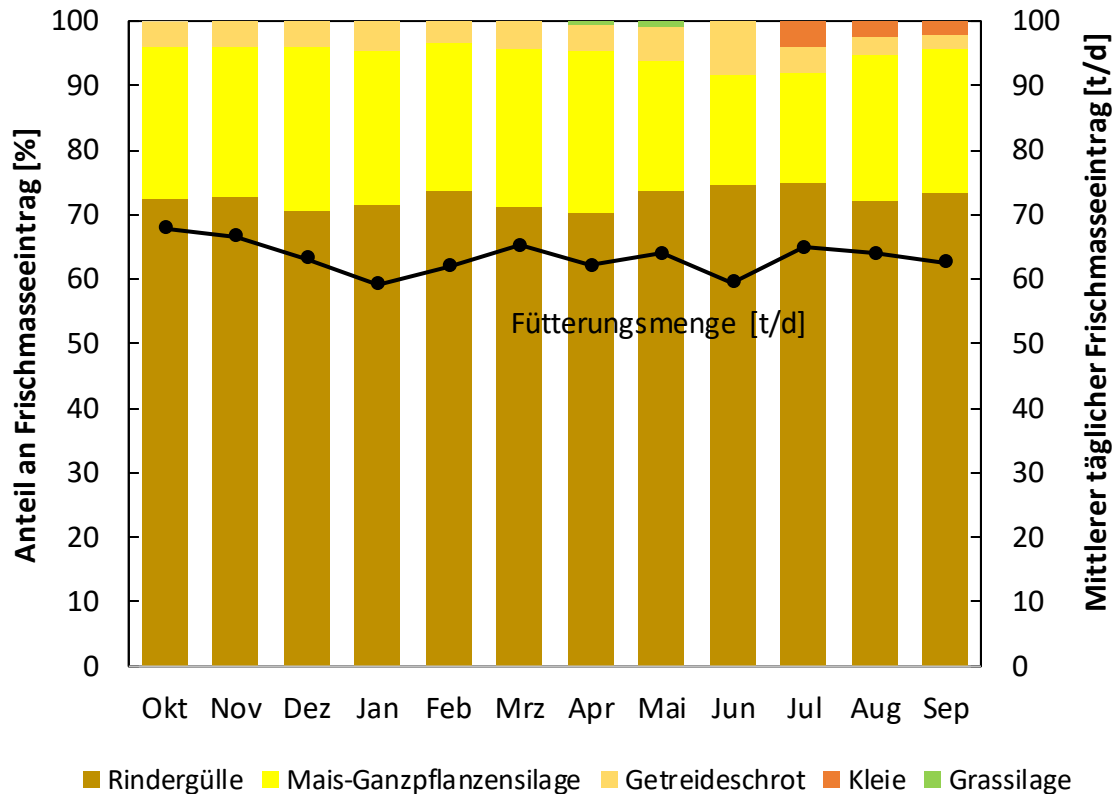


Abbildung 15-55: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Lediglich eine sich anhäufende Sinkschicht im Fermenter erschwerte von Zeit zu Zeit das Ansaugen von Material aus dem Fermenter. Erfahrungen des Betreibers zeigten, dass dies auf eine unzureichende Durchmischung des Fermenterinhalt zurückzuführen ist, sodass sich im Ansaugschatten des Langachsührwerkes eine Art Sinkschicht-Düne ausbildet. Neben mehreren kurzzeitigen Ausfällen der BHKW, erfolgte im Januar 2017 ein Austausch eines der BHKW-Motoren, welcher allerdings nur für wenige Tage keinen Vollastbetrieb zuließ. Im Februar kam es zu einer Havarie am BHKW 2, welche einen zehntägigen Stillstand des Motors nach sich zog.

Zur Biogasreinigung standen eine interne biologische Entschwefelung, die Zugabe von 20 kg pro Tag Eisenpräparat und ein Aktivkohlefilter zur Verfügung. Die interne biologische Entschwefelung verlor im Winter ihre Funktion für die Gasreinigung. Die Schwefelwasserstoffwerte stiegen auf bis zu 1.400 ppm, was zu einer verstärkten Belastung des Aktivkohlefilters führte. Zusätzlich zur Dosierung des Eisenpräparates wurden täglich 10 kg Spurenelemente dosiert.

Fackel und BHKW funktionieren. Ein gemeinsames Zusammenspiel beider, um ein Überfüllen der Gasspeicher zu vermeiden, ist jedoch nicht möglich. Aufgrund der technischen Eigenschaften der Fackel, die gesamte produzierte Gasmenge zu verwerten, führt das Anschalten der Fackel zu einem schnellen Abschalten der BHKW aufgrund mangelnden Gases. Somit stellt die Fackel eine funktionierende alternative Gasverwertungseinrichtung dar. Zum zeitweisen geregelten Verbrennen großer Gas Mengen, müsste die Anlage gesondert ertüchtigt werden.

Die Verweilzeiten sind mit durchschnittlich 23 Tagen im Fermenter und 45 Tagen innerhalb der gesamten Gärstrecke als eher kurz einzuschätzen. Die Raumbelastung ist entsprechend hoch. Im Fermenter betrug die organische Raumbelastung $7,3 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ im Jahresmittel, innerhalb der gesamten Gärstrecke lag diese bei $3,6 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$. (vgl. Tabelle 15-36) Die Methanproduktivität beträgt im Jahresdurchschnitt $1,3 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \text{ d})$. Der FOS/-TAC-Wert des Fermenters bewegte sich im Bereich von 0,13 bis 0,44 (vgl. Abbildung 15-56).

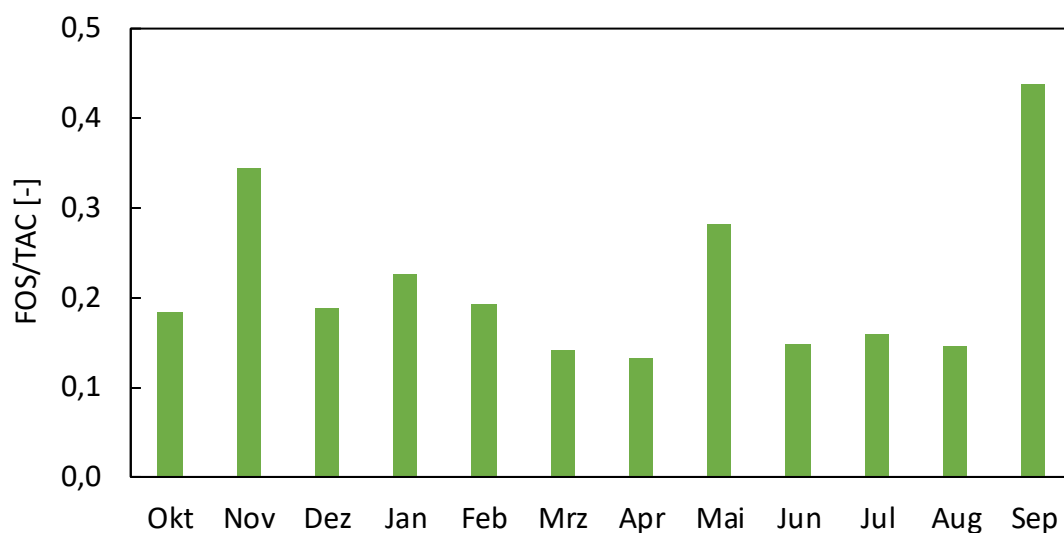


Abbildung 15-56: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 13

Die elektrische Auslastung der BHKW ist im Jahresdurchschnitt mit 94 % relativ hoch. Nur im Januar und Februar 2017 sank die Auslastung unter 90 %, was auf die Ausfälle der BHKW rückführbar ist. Die thermische Auslastung durch Fremdnutzer liegt im Jahresdurchschnitt bei 47 %. Durch die vorhandene Trocknungsanlage für Grünfütter, kann in den Sommermonaten ein ähnliches Wärmenutzungs niveau gehalten werden, wie in den Wintermonaten (vgl. Abbildung 15-57).

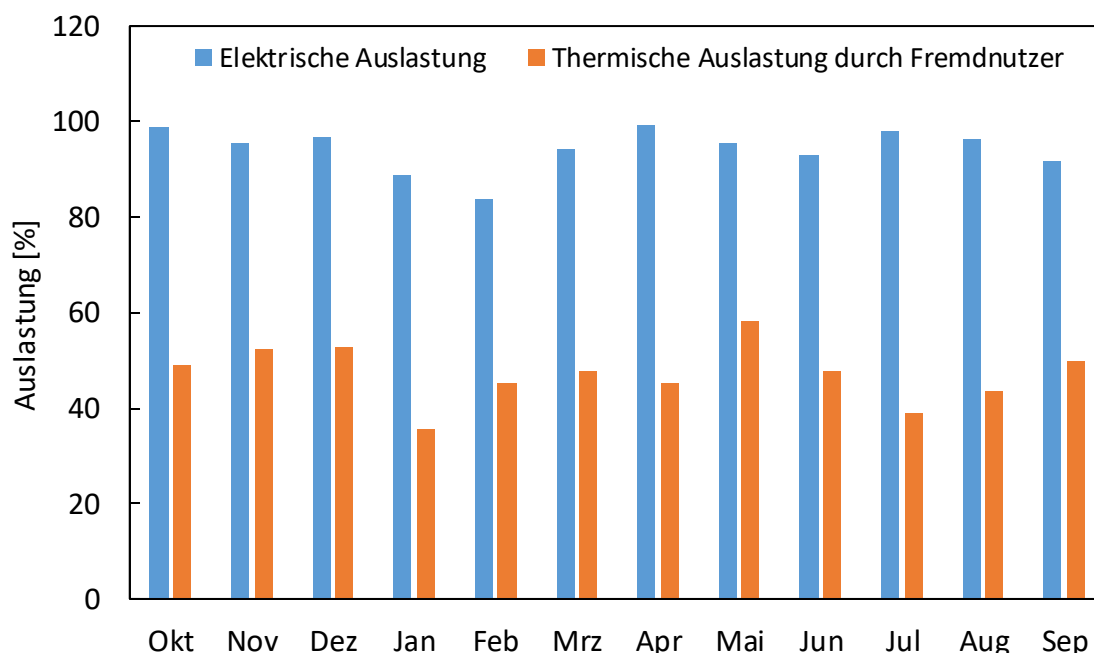


Abbildung 15-57: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 13

Tabelle 15-36: Datenblatt der Biogasanlage 13

BGA 13									
Allgemeine Angaben:									
installierte elektrische Leistung	590 kW								
Inbetriebnahme	04.2008								
Zeitraum der Messphase	10.2016 - 09.2017								
Einsatzstoffe:	NawaRo, tierische Exkremente								
Gasverwertung:	3 VOV-BHKW								
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein								
Betriebsform	Anschluß an landwirtschaftlichen Betrieb mit Viehhaltung und Ackerbau								
Bauliche Anlagen:					Einsatzstoffe:				
Benennung	Fermenter 1		Fermenter 2		Fermentersystem		Mengenangaben in FM		
Anzahl	1		1						
Reaktorvolumen	[m³]	1.570	1.570		3.140		Gesamt-Jahresmenge	23.158 [t/a]	
Arbeitsvolumen	[m³]	1.437	1.437		2.874		Gesamt-Tagesmenge	63,4 [t/d]	
Höhe / Breite	[-]	0,25	0,25				Rindergülle	73,0 [%]	
stehend / liegend		stehend	stehend				Maissilage	22,0 [%]	
Gasspeichervolumen	[m³]	780	780		1.560		Getreideschrot	4,0 [%]	
Betriebsparameter:					Einsatzstoffmix				
TS-Gehalt in FM	[%]	8,8					Weizenkleie	1,0 [%]	
oTS-Gehalt in TS	[%]	75,1					Grassilage	< 1 [%]	
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]	7,3				3,6	Einsatzstoffmix		
Verweilzeit	[d]	23				45	mittlere TS-Gehalt	18,3 [%]	
oTS-Abbau bezogen auf Einsatzstoffe	[%]					73	mittlere oTS-Gehalt	90,7 [%]	
FoTS-Ausbeute	[%]					115	mittlere FoTS-Gehalt	65,6 [%]	
CH ₄ -Produktivität	[m³ / (m³ d)]					1,3	Gärrestlager:		
BG-Produktivität	[m³ / (m³ d)]					2,5			
pH	[-]	7,7		7,9					
Temperatur	[°C]	44		44					
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,1		3,0			Anzahl:	6	
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	4,9		4,9			Lagerkapazität gasdicht	0 [m³]	
Essigsäureäquivalent	[mg/l]	1058		301			Lagerkap. nicht gasdicht / offen	8.000 [m³]	
FOS/TAC	[-]	0,22		0,12			Restgaspotential bei 37 °C:	5,6 [%]	
Gasverwertung:						TS-Gehalt im Gärrest in FM			
						7,1 [%]			
Gasproduktion:						oTS-Gehalt im Gärrest in TS			
						72,8 [%]			
Netto-Methannutzungsgrad						Messung vor AKF			
						Gaszusammensetzung			
						[Vol.-%] CH ₄ 50,7			
						[Vol.-%] CO ₂ 43,4			
						[Vol.-%] O ₂ nicht gemessen			
						[ppm] H ₂ S 422			
Motortyp						Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix			
						Biogas Methan			
elekt. Nennleistung						[m³/ t] in FM 114 58			
therm. Nennleistung						[m³/t] in oTS 688 349			
elekt. Wirkungsgrad						Stromproduktion			
therm. Wirkungsgrad						[kWh/d] 13.368			
Betriebsweise BHKW						[kWh/t] 211			
Jahresbetriebsstunden									
theor. Volllaststunden									
elekt. Arbeitsausnutzung									
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas									
Eigenstrombedarf:					Wärmeverwertung:				
	[kWh/a]					[kWh/a]			
BGA gesamt:	278.843	6 [% der Stromproduktion]			Eigenbedarf:	769.070	15 [% der Wärmeproduktion]		
Pumpen & Steuerung:	76.773	2 [% der Stromproduktion]			Trocknung:	1.802.930	35 [% der Wärmeproduktion]		
BHKW:	202.069	4 [% der Stromproduktion]			Gebäudeheizung:	846.339	16 [% der Wärmeproduktion]		

Tabelle 15-37: Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 13 im Wirtschaftsjahr 2016/17 (01.07.-30.06.)

BGA 13					
installierte elektrische Leistung	590	kW	eingespeiste Strommenge 2016/17	4.737.838	kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	565	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	1.833.641	€
Leistungen					
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	93,68	%		918.364	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	4,28	%		41.954	€/a
Sonstige Erlöse	2,04	%		20.000	€/a
Gesamterlöse	100	%		980.318	€/a
Kosten					
Substratkosten	45,01	%		301.864	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>					
Mais	28	€/t		161.000	€/a
Gras	-	€/t		-	€/a
Restliche NawaRo	142	€/t		140.864	€/a
Personalkosten	5,82	%		39.000	€/a
Instandhaltungskosten	11,93	%		80.000	€/a
Abschreibungen	19,47	%		131.264	€/a
Sonstige Betriebskosten	17,78	%		119.235	€/a
<i>davon</i>					
Zündöl				-	€/a
Strombezug				62.792	€/a
Miete und Pacht				-	€/a
Maschinenmiete und Leasing				-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung				2.000	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben				11.107	€/a
Berufsgenossenschaft				1.000	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel				28.990	€/a
Zinszahlungen				5.078	€/a
Buchführung und Verwaltung				-	€/a
Sonstiges				8.268	€/a
Gesamtkosten	100	%		671.362	€/a
Bilanz					
Gesamterlöse				20,69	ct/kWh
Stromgestehungskosten				14,17	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				6,52	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				308.956	€/a

15.13 Biogasanlage 14

15.13.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 14 wurde bereits im Jahr 2003 in Betrieb genommen und ist an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Milchviehhaltung und Ackerbau angeschlossen. Im Laufe ihres Bestehens wurde die Biogasproduktionslinie umfangreich erweitert sowie die installierte elektrische Nennleistung auf aktuell 549 kW erhöht. Die Gärstrecke besteht aus einer Anmischgrube, einer gasdicht ausgeführten Hydrolysestufe (ca. 600 m³), einem Hauptfermenter (ca. 2.000 m³), einem unbeheizten Nachgärer (ca. 3.000 m³) sowie weiteren nicht abgedeckten Behältern zur Gärrestlagerung. Die Hydrolyse und der Hauptfermenter sind mit einem festen Metaldach versehen (vgl. Abbildung 15-58). Die Gasspeicherung erfolgt im Nachgärbehälter mittels einer 1.400 m³ fassenden Doppelmembran. Abbildung 15-59 zeigt den prinzipiellen Aufbau der BGA 14.

Die Substratzufuhr erfolgt über die Anmischgrube, sowohl für feste als auch für flüssige Einsatzstoffe. Für die festen Fraktionen steht ein Feststoffdosierer mit nachgestaltetem Schlegelhäcksler zur Verfügung. Eingemischt werden die Feststoffe und die frische Rindergülle in das Gärsubstrat, welches aus dem Hauptfermenter in die Vorgrube rezirkuliert wird. Anschließend wird das Gemisch in die Hydrolyse gepumpt und folgt der Gärstrecke bis zum Ausschleusen in die offenen Gärrestlager. Zur weiteren Substrataufbereitung sind ein Lochscheibenzerkleinerer und eine elektrokinetische Desintegrationsstufe installiert (vgl. Abbildung 15-59).



Abbildung 15-58: Anlagenansicht der Biogasanlage 14 mit Hydrolyse und Fermenter

Der Biogasprozess wird im mesophilen Temperaturbereich betrieben. Der Hauptfermenter wird auf 38°C und die Hydrolyse auf ca. 28 - 33°C temperiert. Zur Entschwefelung des produzierten Biogases wird Luft in den Hauptfermenter und in den Nachgärer dosiert. Zur weiteren

Feinreinigung ist ein Aktivkohlefilter vor dem BHKW installiert. Die Gasverwertung erfolgt in einem BHKW, welches den produzierten Strom vollständig ins Stromnetz einspeist. Die produzierte Wärme wird zur Beheizung der Hydrolyse und des Fermenters eingesetzt. Weitere Wärmemengen werden im landwirtschaftlichen Betrieb und im angrenzenden Dorf verwertet.

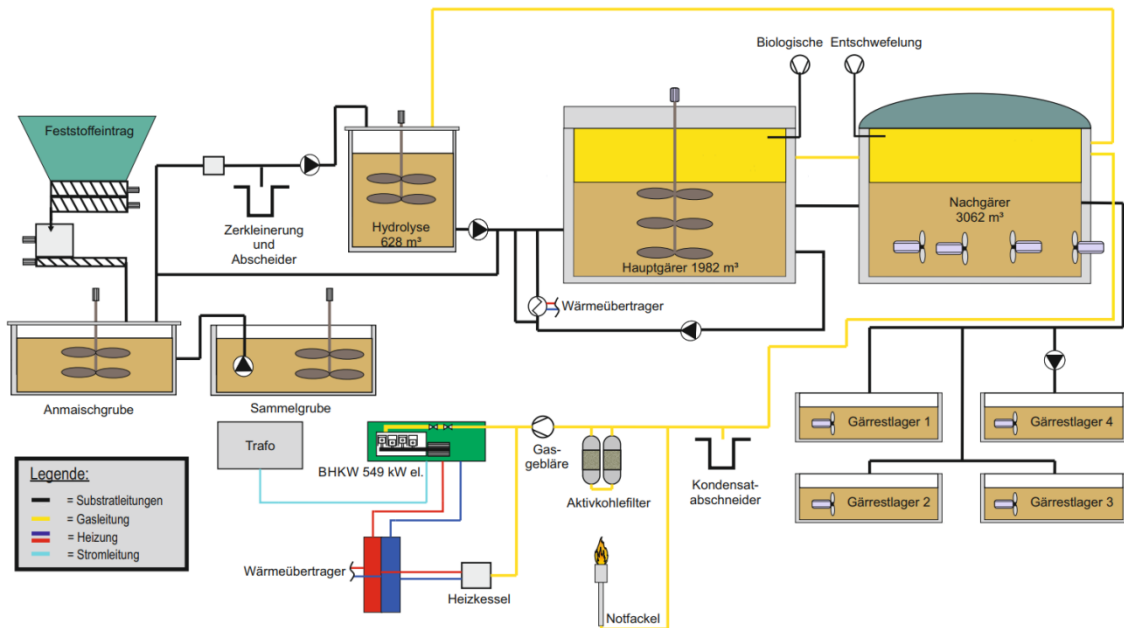


Abbildung 15-59: Anlagenschema der BGA 14

15.13.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die BGA 14 wird maßgeblich über die elektrische Auslastung des BHKW, sowie die Beobachtung des Gasspeicherfüllstandes des Nachgärers, betrieben. Eine umfangreiche Datenaufzeichnung und das Erstellen historischer Kurvenverläufe helfen dem Betreiber bei der nachträglichen Einschätzung des Betriebsverlaufes. Dies umfasst nicht nur eingesetzte Substrate und produzierte Biogasmengen, sondern auch die Qualität des produzierten Gases. Ein konkreter Vergleich zwischen potentielltem Gasertrag der Fütterungsmenge und produziertem Biogas auf Basis von tabellierten bzw. gemessenen Norm-Biogas-Volumenströmen kann nicht angestellt werden. Es fehlt ein normierender Gasmengenzähler vor dem BHKW.

Tabelle 15-38: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 14

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Schätzung über täglich zugeführte Volumina und einmalig ermittelte Schüttdichte	tägliche Schätzung
Flüssige Einsatzstoffe	Dosierung über Füllstandmessung in der Vorgrube (Differenzbildung)	tägliche Messung
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Messung regelmäßig Ablesung einmal täglich
Produzierte Gasmenge	Wird nicht erfasst	
Strommenge	Zähler am BHKW und am Einspeisetransformator	Tägliche Ablesung am BHKW; monatliche Auswertung der eingespeisten Strommengen
Wärmemenge	Erfassung des Eigenverbrauches und der externen Verbraucher über Wärmemengenzähler	Monatliche Auswertung
Eigenstromverbrauch	Separate Zähler zur Erfassung des Verbrauches für Biogasanlage und BHKW	Tägliche Ablesung

Regelmäßig werden TS/-oTS-Gehalt und die organischen Säuren im Fermenter analysiert. Insbesondere die Propionsäure wird als Indikator für die Prozessstabilität herangezogen. Weitere Prozessstufen sind nur schwer zu analysieren, da geeignete Probenahmestellen fehlen. Das Prozessleitsystem bietet vielfältige Möglichkeiten zur Kontrolle von Flüssigkeits- und Gasspeicherfüllständen, Gasdrücken (AK-Filter) und Gasqualitäten sowie der Temperaturen im Fermenter und der Hydrolyse.

15.13.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Maßgeblicher Einsatzstoff ist die im Betrieb anfallende Rindergülle. Hinzu kommt eine geringe Menge Rindermist. Beide Fraktionen stellen mehr als 70 Masse-% der zugeführten Substratmenge dar. Diese werden zum Teil mit Niederschlags- und Reinigungswasser verdünnt, welche von den umfangreichen Betriebsflächen über die Güllegrube hin zur Biogasanlage geführt werden. Weitere Einsatzstoffe sind Mais-Ganzpflanzensilage (Siloabdecke), Getreide (Roggen), Kartoffeln, Zuckerrüben oder Anwelksilage in wechselnden Anteilen und Mengen (vgl. Abbildung 15-60). Im Jahresdurchschnitt werden ca. 78 t/d (feste und flüssige Einsatzstoffe) zugeführt.

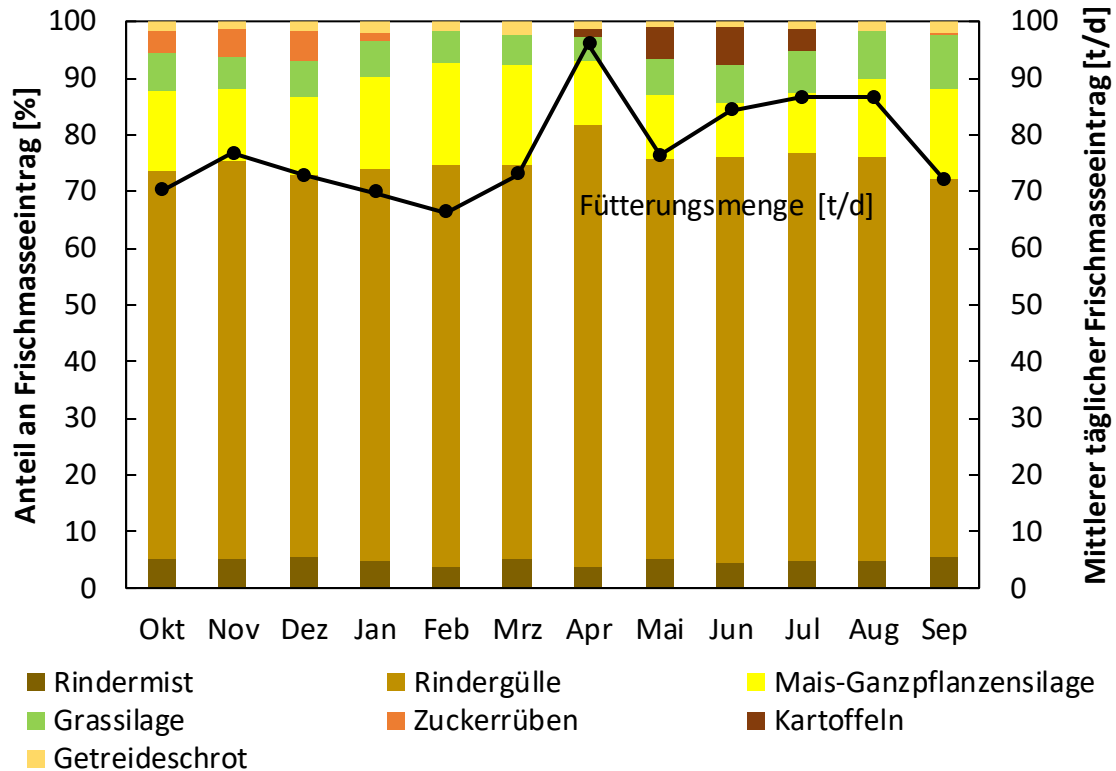


Abbildung 15-60: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 14

Um die Rahmenparameter des biologischen Prozesses fassen zu können, wurden Hydrolyse und Hauptfermenter als eine gemeinsame Stufe betrachtet. Gründe sind die fehlende Probenahmemöglichkeit an der Hydrolyse und die Rückvermischung mit Gärmaterial aus dem Hauptfermenter. Die mittlere hydraulische Verweilzeit des gesamten Fermentersystems (Hydrolyse, Hauptfermenter, Nachgärer) im Betrachtungszeitraum beträgt 73 Tage, die Raumbelastung ca. 2,2 kg_{OTS} / (m³ d) (vgl. Tabelle 15-39). Der FOS/-TAC-Wert des Fermenters bewegte sich im Bereich von 0,09 bis 0,13 (vgl. Abbildung 15-61).

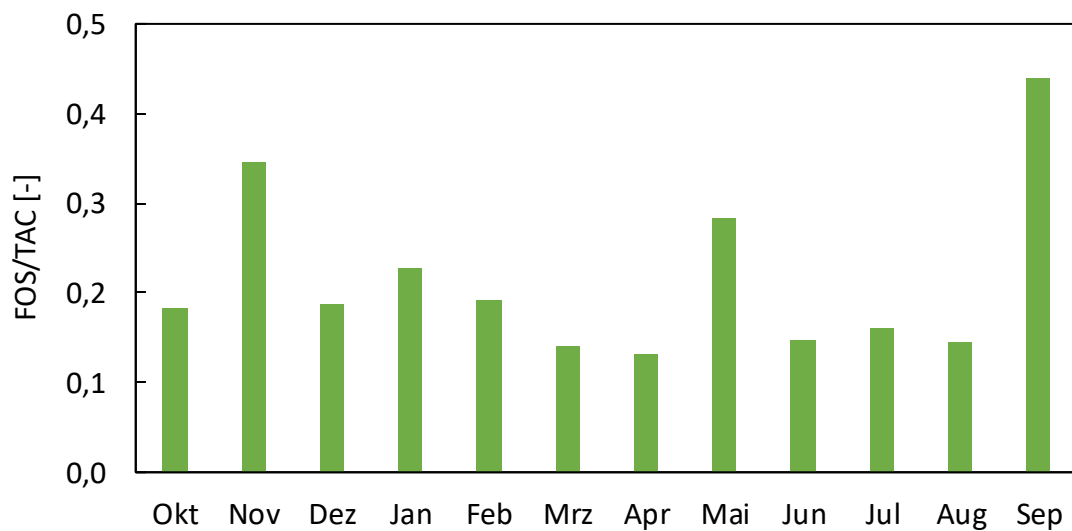


Abbildung 15-61: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 14 (Juli 2017: keine Daten vorhanden)

Während des Betrachtungszeitraumes traten keine nennenswerten Prozessstörungen auf. Die mittlere elektrische Arbeitsausnutzung des BHKW lag bei rund 97 % (vgl. Abbildung 15-62). Die theoretischen Vollaststunden betragen rund 8.500 h. Beide Werte verdeutlichen den sehr steten Betrieb der Anlage bei zeitgleich hoher Auslastung des BHKW. Im Vergleich zur elektrischen Arbeitsausnutzung, ist die Nutzung der produzierten Wärmemengen um einiges geringer. Ungeachtet der saisonalen Schwankungen im Wärmebedarf der Anlage und sonstiger Nutzer, können im Jahresmittel nur 19 % der rechnerisch ermittelten Wärmeproduktion des BHKW in eine Nutzung überführt werden. Weitere 14 % werden durchschnittlich zur Beheizung des Prozesses selbst benötigt. Somit werden im Jahresmittel rund ein Drittel der produzierten Wärmemenge genutzt (im Winter max. 54 %, im Sommer min. 16 %).

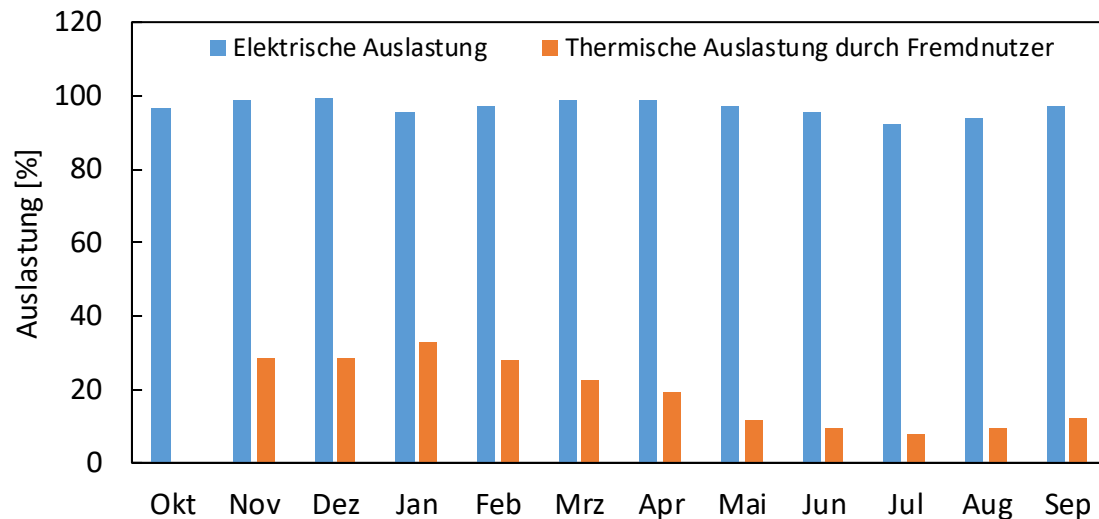


Abbildung 15-62: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 14

Tabelle 15-39: Datenblatt der Biogasanlage 14

BGA 14						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	549 kW					
Inbetriebnahme	11.2003					
Zeitraum der Messphase	09.2016 - 08.2017					
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkrememente					
Gasverwertung	1 VOV-BHKW					
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein					
Betriebsform	Anschluß an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Milchviehhaltung und Ackerbau					
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:		
Benennung		Hydrolyse	Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM
Anzahl		1	1	1		
Reaktorvolumen	[m³]	650	2.000	3.062	5.712	Gesamt-Jahresmenge 28.847 [t/a]
Arbeitsvolumen	[m³]	628	1.982	3.062	5.672	Gesamt-Tagesmenge 79 [t/d]
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend	stehend		Rindergülle 70,7 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	0	0	1.200	1.200	Maissilage 13,5 [%]
Betriebsparameter:						Grassilage 6,6 [%]
TS-Gehalt in FM	[%]		6,6			Rindermist 4,8 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]		76,3			Getreideschrot 1,6 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]				2,2 _{FS}	Kartoffeln 1,5 [%]
Verweilzeit	[d]				73 _{FS}	Zuckerrüben 1,3 [%]
oTS-Abbau bezogen auf Einsatzstoffe	[%]				73 _{GSY}	Einsatzstoffmix
FoTS-Ausbeute	[%]				98 _{GSY}	mittlerer TS-Gehalt in FM 17,6 [%]
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]				0,6 _{FS}	mittlerer oTS-Gehalt in TS 89,5 [%]
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]				1,0 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS 62,4 [%]
pH	[-]		7,8			Gärrestlager:
Temperatur	[°C]	30	38			Anzahl 4
NH ₄ -N in FM	[g/kg]		1,9			Lagerkapazität gasdicht 0 [m³]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]		4,2			Lagerkap. nicht gasdicht / offen 16.000 [m³]
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]		85			relatives Restmethanpotential 9,9 [%]
FOS/TAC	[-]		0,11			TS-Gehalt im Gärrest in FM 6,19 [%]
Gasverwertung:				Gasproduktion:		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	42				Messung vor AKF
		BHKW				Gaszusammensetzung
Motortyp		GO				[Vol-%] CH ₄ 57,5
elektr. Nennleistung	[kW]	549				[Vol-%] CO ₂ 39,2
therm. Nennleistung	[kW]	537				[Vol-%] O ₂ -
elektr. Wirkungsgrad	[%]	40,7				[ppm] H ₂ S 827
therm. Wirkungsgrad	[%]	39,7				Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast				
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	-				[m³/t] in FM Biogas 75 Methan 43
theor. Volllaststunden	[h/a]	8.486				[m³/t] in oTS 478 275
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	97				Stromproduktion
						[kWh/d] 12.763
						[kWh/t] 161
Eigenstrombedarf:				Wärmeverwertung:		
	[kWh/a]				[kWh/a]	
BGA gesamt	293.151	6 [% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	639.500	14 [% der Wärmeproduktion]	
davon BHKW	176.699	4 [% der Stromproduktion]	Nahwärmenetz	885.710	19 [% der Wärmeproduktion]	
davon BGA	116.452	2 [% der Stromproduktion]				

Tabelle 15-40: Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 14 im Jahr 2017

BGA 14				
installierte elektrische Leistung	549	kW	eingespeiste Strommenge 2017	4.495.160 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	522	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	1.769.429 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	93,77	%		952.830 €/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	3,33	%		33.810 €/a
Sonstige Erlöse	2,90	%		29.500 €/a
Gesamterlöse	100	%		1.016.140 €/a
Kosten				
Substratkosten	45,84	%		301.076 €/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	33	€/t		128.326 €/a
Gras	32,2	€/t		59.651 €/a
Restliche NawaRo	107	€/t		73.050 €/a
Personalkosten	12,34	%		81.067 €/a
Instandhaltungskosten	11,59	%		76.131 €/a
Abschreibungen	17,60	%		115.581 €/a
Sonstige Betriebskosten	12,63	%		82.967 €/a
<i>davon</i>				
Zündöl				- €/a
Strombezug				30.876 €/a
Miete und Pacht				- €/a
Maschinenmiete und Leasing				- €/a
Prozessbetreuung und Beratung				- €/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben				10.871 €/a
Berufsgenossenschaft				- €/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel				13.828 €/a
Zinszahlungen				11.749 €/a
Buchführung und Verwaltung				- €/a
Sonstiges				15.643 €/a
Gesamtkosten	100	%		656.822 €/a
Bilanz				
Gesamterlöse			22,61	ct/kWh
Stromgestehungskosten			14,61	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			7,99	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			359.318	€/a

15.14 Biogasanlage 15

15.14.1 Anlagenbeschreibung

Die BGA 15 wurde am 22.12.2011 in Betrieb genommen. Sie ist in einen landwirtschaftlichen Betrieb integriert, welcher neben Feldbau auch eine Milchviehhaltung und Schweinemast betreibt. Die Gärstrecke der Biogasanlage besteht aus einem Fermenter (1.526 m³) und einem Nachgärbehälter (2.078 m³). Beide Behälter sind mit einem Doppelmembran-Gasspeicherdach ausgestattet. Das Gasspeichervolumen beider Behälter beträgt 1.450 m³. Der Fermenter wird durch ein horizontalliegendes Großflügel- und ein Tauchmotorrührwerk durchmischt. Der Nachgärer besitzt zur Umwälzung des Gärmediums zwei Tauchmotorrührwerke. Als Einsatzstoffvorlage dienen eine Vorgrube (150 m³) und ein Feststoffdosierer mit Schneckenförderanlage zur Beschickung des Fermenters. Der Gärrest wird in einem offenen Behälter gelagert (2.650 m³). Das produzierte Biogas wird behälterintern biologisch entschwefelt. Auf dem Weg zur Gasverwertung erfolgt eine weitere Konditionierung durch die Entwässerung mittels Kondensatabscheider und Gaskühlung sowie die Feinreinigung (Entschwefelung) durch einen Aktivkohlefilter. Betrieben wird ein Zündstrahl-BHKW mit nachgeschalteter Abgasturbine. Die installierte elektrische Leistung beträgt 265 kW. Motorisch werden 235 kW produziert, während die Abgasturbine mit 30 kW zur installierten elektrischen Leistung beiträgt. Abbildung 15-63 zeigt den Feststoffdosierer und den Fermenter der BGA 15. Das Anlagenschema ist Abbildung 15-64 zu entnehmen.



Abbildung 15-63: Feststoffdosierer und Fermenter der BGA 15

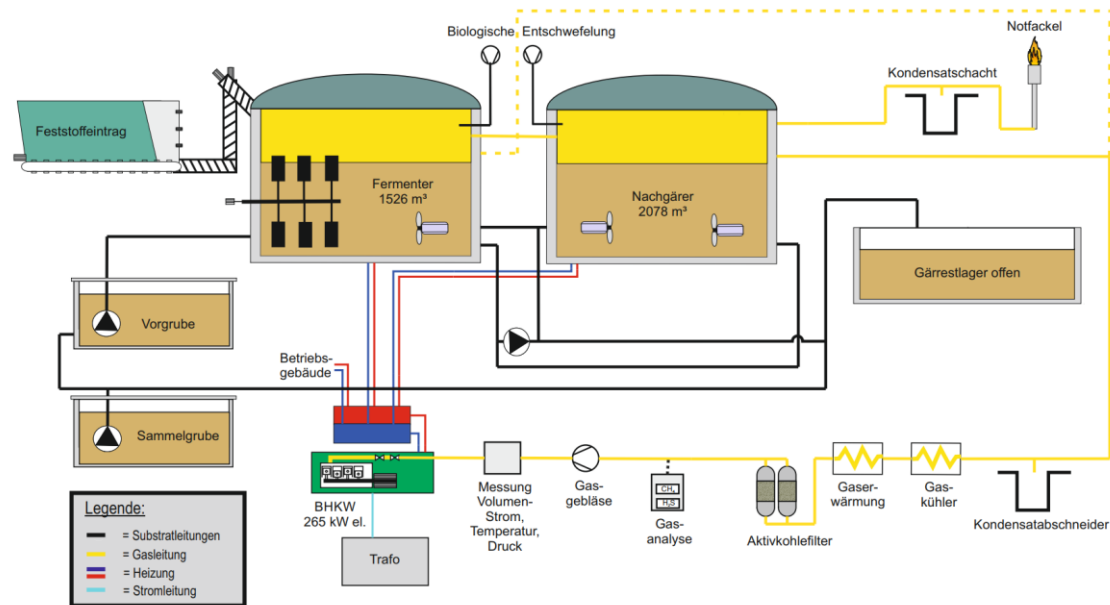


Abbildung 15-64: Anlagenschema BGA 15

15.14.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die Dosierung der Einsatzstoffe kann sehr genau durchgeführt werden, da Feststoffe und Gülle messtechnisch erfasst und gezählt werden. Prinzipiell können auch Gärrestmengen durch einen Durchflussmengenmesser erfasst werden. Diese messtechnisch sehr konkrete Fassung der zu- und abgeführten Mengen bietet die Möglichkeit einer Massenbilanzierung, die auch als Grundlage zur Berechnung der Effizienz des biologischen Anlagenbetriebs herangezogen werden kann. Leider war diese Bilanzierung im Betrachtungszeitraum nicht möglich, da eine schwere Havarie das Umpumpen von Behältern nötig machte, somit die Gärrestmengenmessung beeinflusste.

Tabelle 15-41: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 15

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Wägung per Wiegezellen des Feststoffdosierers	Messung täglich
Flüssige Einsatzstoffe	Mengenerfassung per Durchflussmessung	Messung täglich
Gärrest	Mengenerfassung per Durchflussmessung	Messung täglich
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , O ₂ , H ₂ S	Messung täglich
Produzierte Gasmenge	Messung des Betriebsvolumenstroms	Messung täglich
Strommengen	Zähler der produzierten Mengen am BHKW und am Einspeisetransformator; Eigenstromverbrauch wird nicht separat erfasst	Messung täglich
Wärmemengen	Beheizung der Schweineställe wird erfasst; der Eigenverbrauch der BGA wird nicht erfasst	Messung Wärmemenge Schweinestall monatlich

Regelmäßig werden der TS-Gehalt und der FOS/TAC-Wert des Fermenters und des Nachgärbehälters gemessen, Maßgebliche Orientierung zum guten Betrieb der Anlage bieten die Momentanleistung und die Auslastung des BHKW sowie der Füllstand der Gasspeicher. Eigenstrom- und Eigenwärmeverbrauch der Biogasanlage werden nicht separat gemessen.

15.14.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Der Messzeitraum erstreckte sich vom November 2016 bis zum Oktober 2017. In diesem Zeitraum wurden maßgeblich Rinder- und Schweinegülle, Schweinemist, Maissilage, Getreidekorn und geringe Mengen Grassilage (Siloabdecke) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-65). Im Winter wurde weniger auf Schweinemist und verstärkt auf Getreidekorn gesetzt, um die Kapazitäten des Gärrestlagers zu schonen. Die Mengen an Rinder- und Schweinegülle konnten in den ersten sieben Monaten des Untersuchungszeitraums nicht separat beprobt werden, weshalb diese als Mischung aus beiden Fraktionen geführt werden. Ab dem achten Monat des Untersuchungszeitraums wurde ausschließlich Rindergülle verwendet, da die Haltung der Schweine vollständig auf Strohbetten umgestellt wurde. Die Fütterung der Feststoffe erfolgt im Stundentakt, die Dosierung der Gülle beschränkt sich auf drei Intervalle je Tag.

In den Monaten Juni / Juli 2017 kam es zu einer schweren Havarie des Fermenters. Die Holzbalkendecke brach und stürzte zu Teilen in den Behälter. Dies verursachte einen Totalausfall des Fermenters, infolge dessen die Fütterung für nahezu einen kompletten Kalendermonat ausgesetzt (18. Juni 2017 bis 17. Juli 2017) wurde. In der zweiten Julihälfte begann der Wiederbetrieb der Anlage. Ab August konnte die Anlage wieder das volle Leistungsniveau bereitstellen. Die Havarie wirkte sich sehr stark auf das Betriebszweigergebnis aus, weshalb dieses für das Kalenderjahr 2017 sogar negativ ausfällt (vgl. Tabelle 15-43), da es neben hohen Wartungs- und Instandhaltungskosten zur Schadensbehebung gleichzeitig zu Einnahmeausfällen in dem betreffenden Zeitraum kam.

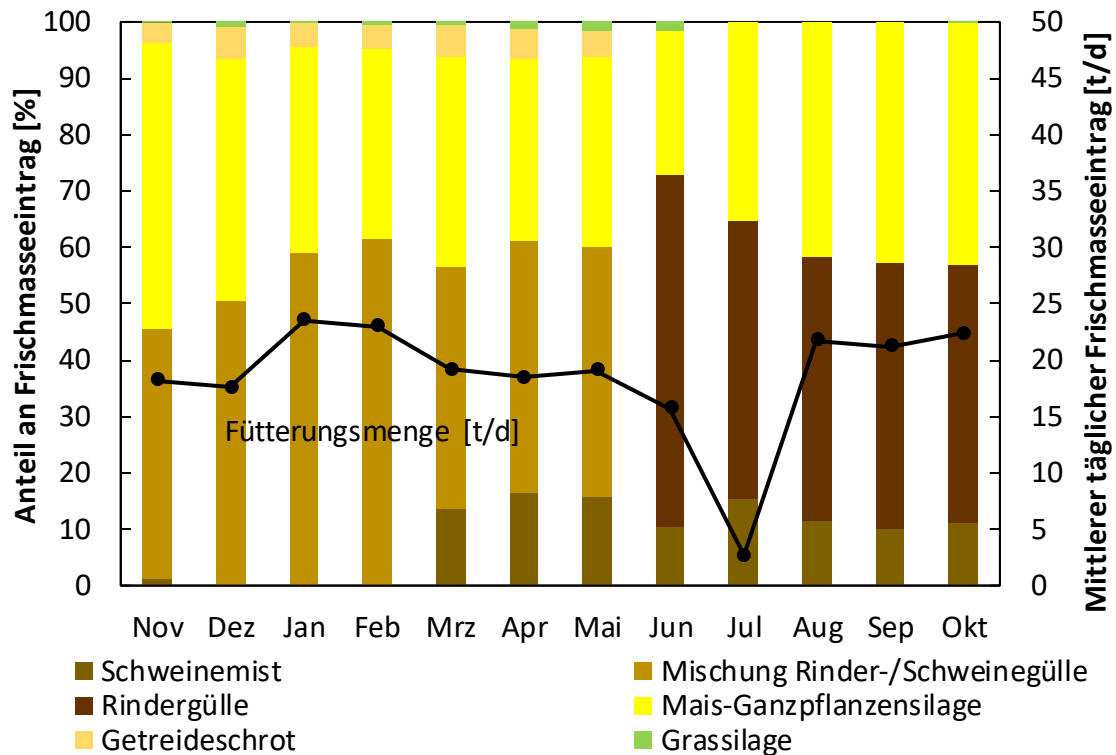


Abbildung 15-65: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 15

Die BGA 15 ist eine Rührkesselanlage mit mesophiler Prozessführung (40°C). Die Anlage ist durch eine vergleichsweise lange Verweilzeit gekennzeichnet. Die Verweilzeit im Fermenter beträgt 75 Tage, im gesamten gasdichten System 178 Tage (vgl. Tabelle 15-42). Die Raumbelastung im Fermenter liegt im Jahresmittel bei 2,9 kg_{OTS}/(m³ d), für die gesamte Gärstrecke bei 1,1 kg_{OTS}/(m³ d). Somit ist auch der spezifischer Wert der Methanproduktivität mit 0,3 m³/(m³ d) relativ gering. Die genannten Mittelwerte beziehen sich auf den Betrachtungszeitraum, allerdings ohne die Monate Juni und Juli einzubeziehen. Der FOS/TAC-Wert des Fermenters bewegte sich im Bereich von 0,12 bis 0,17 (vgl. Abbildung 15-66).

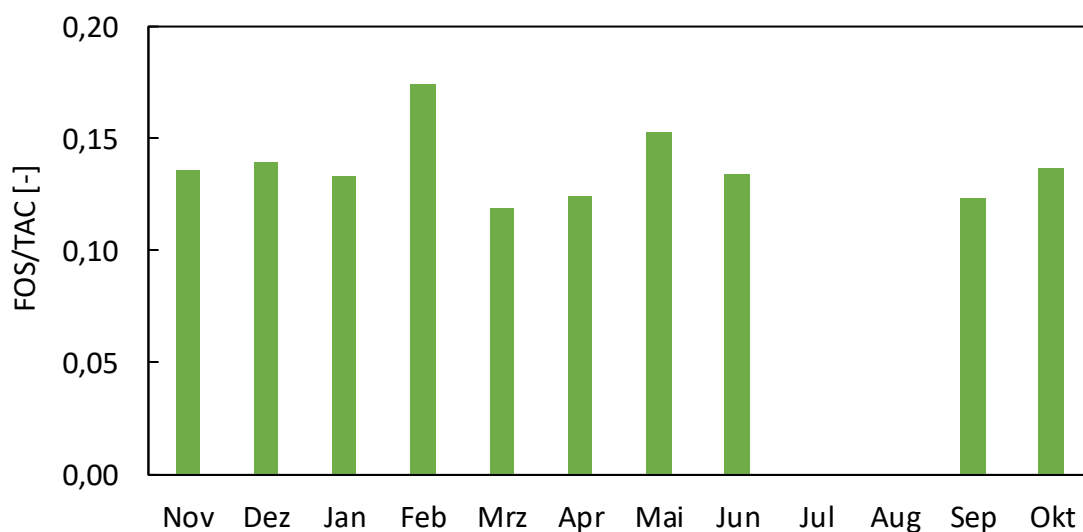


Abbildung 15-66: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 15 (Jun/Jul 2017: keine Daten vorhanden)

Die BGA 15 speist den produzierten Strom vollständig in das Stromnetz ein. Die Deckung des Eigenbedarfes zum Betrieb der Anlage erfolgt über den Bezug von Strom aus dem Netz. Abbildung 15-67 zeigt die extrem hohe elektrische Auslastung des BHKW (außer Juni / Juli 2017). Die thermische Auslastung ist im Wesentlichen durch die Beheizung der Schweineställe bestimmt. Für die Monate September und Oktober 2017 standen keine Daten zur Wärmenutzung zur Verfügung. Es kann angenommen werden, dass die Beheizung der Ställe in Verbindung mit der Deckung des Eigenwärmebedarfes der Biogasanlage, zumindest in den Wintermonaten zu einer vollständigen Nutzung der produzierten Wärmemengen führt.

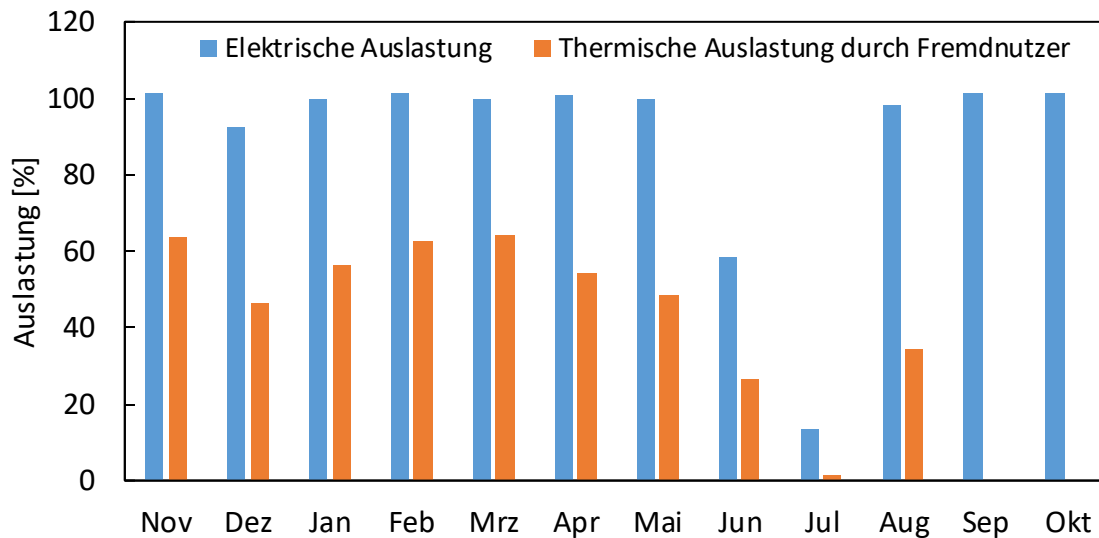


Abbildung 15-67: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 15

Tabelle 15-42: Datenblatt der Biogasanlage 15

BGA 15						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung		265 kW				
Inbetriebnahme		12.2011				
Zeitraum der Messphase		11.2016 - 10.2017				
Einsatzstoffe:		NawaRo, tierische Exkremente				
Gasverwertung:		1 VOV-BHKW				
Erhalt Flexibilitätsprämie		nein				
Betriebsform		Anschluß an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Viehhaltung und Ackerbau				
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM	
Anzahl		1	1			
Reaktorvolumen	[m³]	1.650	2.250		Gesamt-Jahresmenge	6.762 [t/a]
Arbeitsvolumen	[m³]	1.526	2.078	3.604	Gesamt-Tagesmenge	19,0 [t/d]
stehend / liegend		stehend	stehend		Maissilage	38,0 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	650	800	1.450	Rindergülle & Schweinegülle	31,0 [%]
					Rindergülle	18,8 [%]
					Schweinemist	8,0 [%]
					Getreideschrot	3,0 [%]
					Grassilage	1,0 [%]
Betriebsparameter:					Einsatzstoffmix	
TS-Gehalt in FM	[%]	7,5			mittlere TS-Gehalt	23,4 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	75,5			mittlere oTS-Gehalt	92,8 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			1,2 _{FS}	mittlere FoTS-Gehalt	71,1 [%]
Verweilzeit	[d]			178 _{FS}		
oTS-Abbau bezogen auf Einsatzstoffe	[%]			84 _{GSY}		
FoTS-Ausbeute	[%]			98 _{GSY}		
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]			0,3 _{FS}		
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]			0,6 _{FS}		
pH	[-]	7,7			Gärrestlager:	
Temperatur	[°C]	40,1	39,2		Anzahl:	1
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	1,9			Lagerkapazität gasdicht	0 [m³]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	5,2			Lagerkap. nicht gasdicht / offen	2.650 [m³]
Essigsäureäquivalent	[mg/l]	106			Restgaspotential bei 37 °C:	1,3 [%]
FOS/TAC	[-]	0,14			TS-Gehalt im Gärrest in FM	3,1 [%]
					oTS-Gehalt im Gärrest in TS	71,5 [%]
Gasverwertung:				Gasproduktion:		
				Messung	nach AKF	
				Gaszusammensetzung		
				[Vol-%]	CH ₄	50,8
				[Vol-%]	CO ₂	-
				[Vol-%]	O ₂	0,6
				[ppm]	H ₂ S	6
				Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix		
					Biogas	Methan
				[m³/t] in FM	123	63
				[m³/t] in oTS	569	289
				Stromproduktion		
				[kWh/d]	4.028	
				[kWh/t]	217	
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas						
Eigenstrombedarf:				Wärmeverwertung:		
					[kWh/a]	
wird nicht erfasst				Ställe & Sozialgebäude:	637.889	

Tabelle 15-43: Ökonomische Datenblatt der Biogasanlage 15 im Jahr 2017

BGA 15				
installierte elektrische Leistung	265	kW	eingespeiste Strommenge 2017	2.031.529 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	252	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	1.230.590 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	92,04	%		403.457 €/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	7,96	%		34.898 €/a
Sonstige Erlöse	0,00	%		- €/a
Gesamterlöse	100	%		438.355 €/a
Kosten				
Substratkosten	21,94	%		99.630 €/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	30	€/t		78.510 €/a
Gras	-	€/t		- €/a
Restliche NawaRo	128	€/t		21.120 €/a
Personalkosten	6,23	%		28.271 €/a
Instandhaltungskosten	20,85	%		94.677 €/a
Abschreibungen	16,69	%		75.775 €/a
Sonstige Betriebskosten	34,29	%		155.678 €/a
<i>davon</i>				
Zündöl				30.842 €/a
Strombezug				24.855 €/a
Miete und Pacht				- €/a
Maschinenmiete und Leasing				474 €/a
Prozessbetreuung und Beratung				- €/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben				10.313 €/a
Berufsgenossenschaft				434 €/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel				10.924 €/a
Zinszahlungen				26.759 €/a
Buchführung und Verwaltung				- €/a
Sonstiges				51.078 €/a
Gesamtkosten	100	%		454.031 €/a
Bilanz				
Gesamterlöse			21,58	ct/kWh
Stromgestehungskosten			22,35	ct/kWh
Betriebszweigergebnis	-		0,77	ct/kWh
Betriebszweigergebnis	-		15.676	€/a

15.15 Biogasanlage 16

15.15.1 Anlagenbeschreibung

Die Anlage 16 befindet sich in Brandenburg und ist in einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Feldbau und Milchviehhaltung integriert. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte im Juli 2014. Grundsätzlich besteht sie aus drei großvolumigen Stahlbetonbehältern - Fermenter, Nachgärer und Fugatlager. Die Letztgenannten erfüllen zugleich den Zweck der Lagerung vergorenen Materials, bis zur Ausbringung als Gärrest auf landwirtschaftliche Anbauflächen.

Alle Behälter sind mit Doppelmembrangasspeicherdächern ausgerüstet. In Summe steht eine Gasspeicherkapazität von rund 18.000 m³ zur Verfügung. Das Biogas wird mittels Lufteinblasung in die Gärbehälter biologisch entschwefelt. Auf seinem Weg zu den beiden BHKW mit 360 kW und 380 kW installierter elektrischer Nennleistung, erfolgt die Konditionierung mittels Kondensatfalle, technischer Gaskühlung und der Feinreinigung durch einen Aktivkohlefilter.

Die Zufuhr fester Einsatzstoffe erfolgt über einen Feststoffdosierer und Stopfschnecke direkt in den Fermenter. Flüssigkeiten werden über eine Vorgrube (212 m³) in den Fermenter gepumpt. Die Substratförderung innerhalb der Gärestrecke erfolgt über eine Exzentrerschneckenpumpe. Aktive Gärbehälter sind der Fermenter und der Nachgärer. Das vergorene Material des Nachgärers wird zwei Pressschneckenseparatoren zugeführt. Die faserreiche, feste Fraktion wird aus dem Prozess ausgeschleußt. Die Flüssigphase (vom Betreiber als Fugat bezeichnet) gelangt in das Fugatlager und als Rezirkulat zurück in den Prozess. Die Umwälzung der Fermenterflüssigkeit erfolgt mittels einer Kreispumpe und jeweils 3 Beregnungsdüsen in Fermenter und Nachgärer. Hierüber wird die Intensität der Durchmischung der Behälterinhalte gesteuert. Zeitgleich wird die Beregnungsflüssigkeit in einem behälterexternen Wärmeübertrager temperiert, sodass die Behälter darüber beheizt werden. Ein Blick auf die Anlage bietet Abbildung 15-68, das Anlagenschema ist in Abbildung 15-69 zu sehen.



Abbildung 15-68: Anlagenansicht der Biogasanlage 16

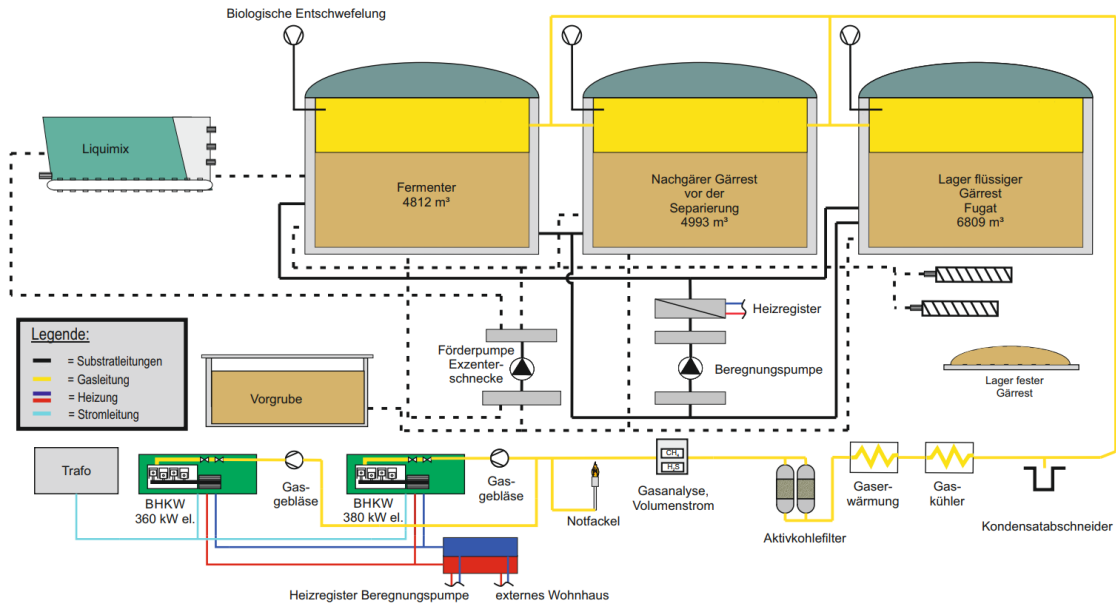


Abbildung 15-69: Anlagenschema BGA 16

15.15.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die Substrat- und Fugatzufuhr zum biologischen Prozess kann mittels der installierten Messtechnik (vgl. Tabelle 15-44) erfasst werden. Auf eine Schätzung zugeführter Mengen kann verzichtet werden. Die messtechnische Mengenerfassung ermöglicht das Beobachten und Dokumentieren der Rezirkulatmengen sowie der Gärrestmengen, die aus der Biogasanlage entnommen werden.

Das produzierte Gas wird in seiner Zusammensetzung gemessen und dokumentiert. Biogasmengen können mit einem Volumenstromzähler im Normzustand gemessen werden, was theoretisch einen Vergleich zu erwartender und tatsächlich produzierter Biogasmengen zulässt. Leider musste festgestellt werden, dass der Zähler die tatsächlich produzierten Mengen überschätzt. Der Betreiber der Anlage vermutet, dass die Einbaulage des Zählers zu einer verfälschten Zählung/Berechnung des Volumenstroms führt. Des Weiteren werden die eingespeisten Strom- und Nutzwärmemengen sowie der Stromeigenbedarf diverser Großaggregate messtechnisch erfasst. Im Rahmen der Messphase wurden Wärmemengenzähler installiert, um den Eigenbedarf zur Beheizung der Fermenter zu dokumentieren.

Tabelle 15-44: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 16

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Waage am Radlader	Messung täglich
Flüssige Einsatzstoffe	Durchflussmengenähler	Messung täglich
Gasqualität	Erfassung, CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Messung täglich
Produzierte Gasmenge	Mengenzähler mit Ausgabe des Normvolumenstroms	Einbauort direkt nach Gasgebläse. Zählung nicht korrekt (misst ca. ¼ mehr, als durch BHKW verwertet werden kann)
Strommenge	Messung der produzierten und eingespeisten Strommenge	Messung täglich
Wärmemenge	Messung eines externen Verbrauchers	Messung monatlich
Eigenstromverbrauch	Wird detailliert im Prozessleitsystem erfasst	Bei Bedarf können Verbräuche der Pumpen, des Dosierers und des Kompressors abgerufen werden
Eigenwärmebedarf	Wird nicht erfasst	Für den Zeitraum der Messphase wurde ein externer Wärmemengenzähler eingebaut

Das Prozessleitsystem stellt weitere Messwerte wie Füllstände und Gasdrücke von Behältern, Temperaturen der Prozessmedien und diverse Betriebsdaten von Pumpen, Motoren und Antrieben zur Verfügung. Die umfangreiche Anlagensteuerung mit Auswertungs- und Zugriffsmöglichkeiten ist wichtig, um die Durchmischung der Behälter mittels der Beregnungsdüsen zu steuern. Hierfür werden Drücke, Leistungen und Frequenzen angezeigt, die zeitgleich einen Zugriff zulassen, um die Dynamik des Biogasprozesses mittels der Beregnung steuern zu können.

15.15.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Im einjährigen Messzeitraum von Dezember 2016 bis November 2017 wurden im Durchschnitt zirka 75 % Rindergülle und Rindermist eingesetzt. Hinzu kommen etwa 20 % Grassilage milderer Qualität und 5 % Milchwuckermelasse. Die Einsatzstoffmenge betrug rund 101 t Frischmasse am Tag. Gesamtmenge und Einsatzstoffanteile blieben im Jahresverlauf relativ konstant, mit einer leichten Abnahme der Rindermistmengen zu Gunsten des verstärkten Einsatzes von Grassilage (vgl. Abbildung 15-70). Nicht dargestellt sind die Rezyklatmengen (Flüssigphase aus dem Pressschneckenseparator). Die täglich zugeführten Mengen schwankten im Monatsmittel zwischen 52 bis 106 m³ je Tag (im Jahresmittel 80 m³/d).

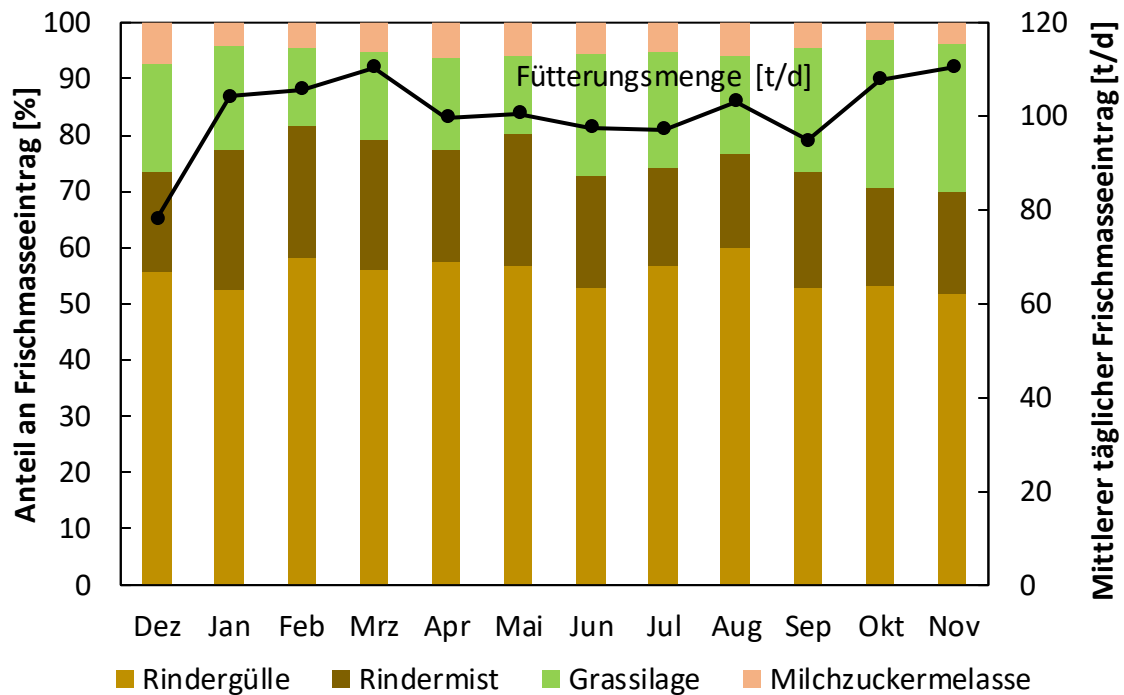


Abbildung 15-70: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 16

Die Verweilzeit innerhalb der Gesamtanlage (Fermenter plus Nachgärbehälter) betrug im Jahresdurchschnitt 55 Tage. Monatliche Schwankungen resultierten aus differierenden Rezyklatmengen in den jeweiligen Betrachtungsmonaten. Die organische Raumbelastung lag durchschnittlich bei $1,9 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ (vgl. Tabelle 15-45), wobei auch diese Schwankungen im Jahresverlauf unterworfen war. Die spezifische Methanproduktivität war relativ konstant bei ca. $0,93 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \text{ d})$. Der FOS/-TAC-Wert des Fermenters bewegte sich im Bereich von 0,14 bis 0,24 (vgl. Abbildung 15-71).

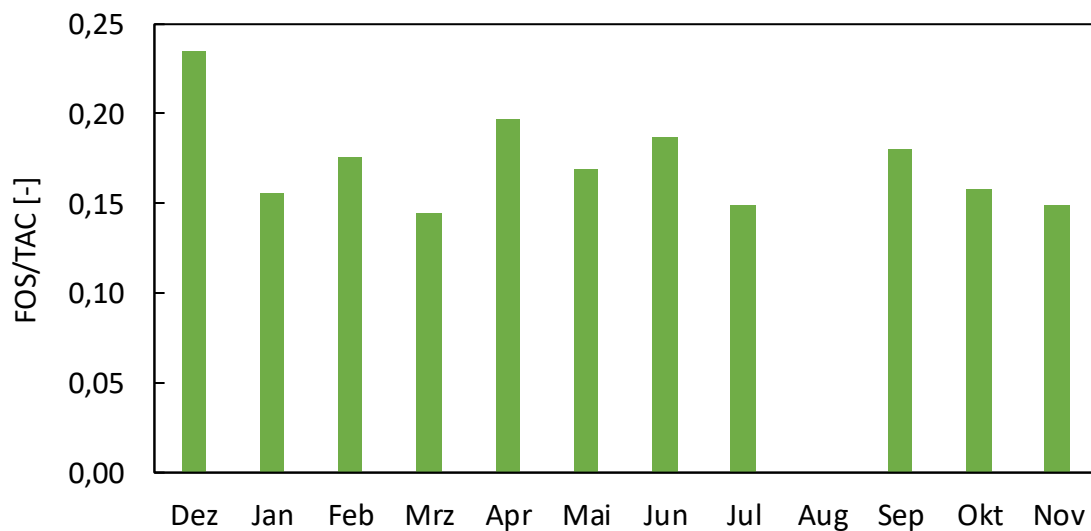


Abbildung 15-71: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 16 (August 2017: keine Daten vorhanden)

Die elektrische Auslastung war ganzjährig sehr hoch. Teilweise wurden rechnerisch Auslastungen 101 bis 102 % erreicht. Ob dies an der Genauigkeit der Datenerfassung lag oder

der Betrieb der BHKW mit etwas mehr als der Nennleistung erfolgte, kann nicht eindeutig bestimmt werden. Im Dezember 2016 wurde die Fütterung reduziert, und die Leistung eines der beiden BHKW gedrosselt. Die elektrische Auslastung sank auf 84 %. Dies war beabsichtigt, da die Höchstbemessungsleistung erreicht und über die Weihnachtsfeiertage ein gedrosselter Betrieb angedacht war. Die messtechnische Erfassung der Wärmemengen begann im März 2017. Für die Monate Dezember 2016 bis Februar 2017 liegen keine Daten vor. Die Abbildung 15-72 zeigt sehr deutlich, dass ein Wärmenutzungskonzept für die Biogasanlage fehlt. Lediglich ein benachbartes Wohnhaus konnte mit Wärme versorgt werden. Nur 1,5 % der produzierten Wärme konnten so verwertet werden.

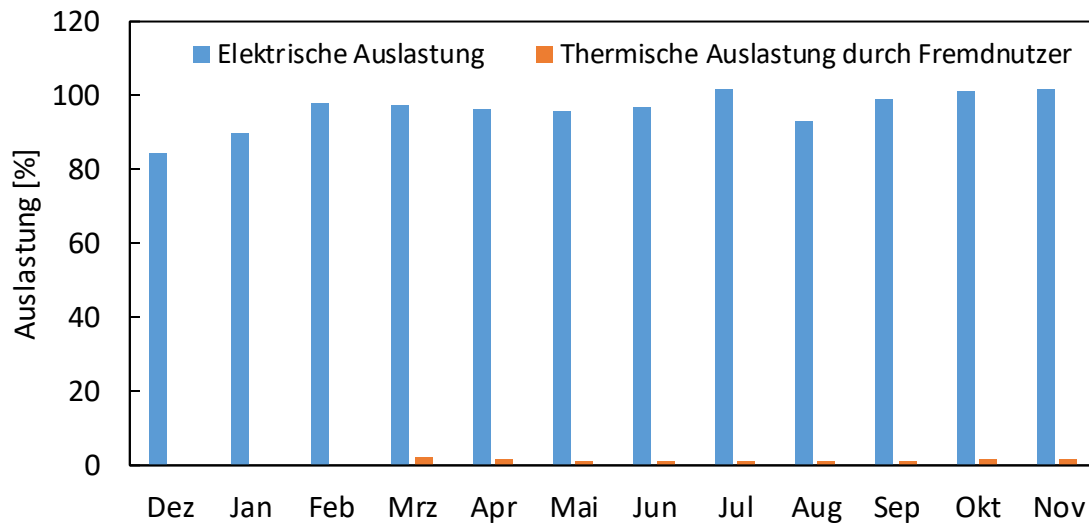


Abbildung 15-72: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 16

Tabelle 15-45: Datenblatt der Biogasanlage 16

BGA 16					
Allgemeine Angaben:					
installierte elektrische Leistung	740 kW				
Inbetriebnahme	07.2014				
Zeitraum der Messphase	12.2016 - 11.2017				
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente				
Gasverwertung	2 VOV-BHKW				
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein				
Betriebsform	Anschluß an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Viehhaltung und Ackerbau				
Bauliche Anlagen:			Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter	Fermentersytem	Mengenangaben in FM	
Anzahl		1		Gesamt-Jahresmenge	36.795 [t/a]
Reaktorvolumen	[m³]	5.447	5.447	Gesamt-Tagesmenge	101 [t/d]
Arbeitsvolumen	[m³]	4.812	4.812	Rindergülle	55,3 [%]
stehend / liegend	[-]	stehend		Rindermist	20,3 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	0		Grassilage	19,3 [%]
				Milchzuckermelasse	5,1 [%]
Betriebsparameter:					
TS-Gehalt in FM	[%]	8,3		zusätzliches Fugat (als Rezirkulat)	80,6 [t/d]
oTS-Gehalt in TS	[%]	70,5			
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]		1,9 _{FS}	Einsatzstoffmix (ohne Fugat)	
Verweilzeit	[d]		54 _{FS}	mittlerer TS-Gehalt in FM	17,6 [%]
oTS-Abbau	[%]		84 _{GSV}	mittlerer oTS-Gehalt in TS	83,9 [%]
FoTS-Ausbeute	[%]		99 _{GSV}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	51,2 [%]
CH ₄ -Produktivität	[m³ / (m³ d)]		1,0 _{FS}		
BG-Produktivität	[m³ / (m³ d)]		1,9 _{FS}	Nachgärer/Gärrestlager 1:	
pH	[-]	8,0		Anzahl	1
Temperatur	[°C]	42		Lagerkapazität gasdicht	4.993 [m³]
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,5		relatives Restmethanpotential	2,8 [%]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	5,6		Gasspeichervolumen*	6.521 [m³]
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	83		TS-Gehalt im Gärrest in FM	7,7 [%]
FOS/TAC	[-]	0,17		oTS-Gehalt im Gärrest in TS	70,1 [%]
				Fugatlager/Gärrestlager 2:	
				Anzahl	1
				Lagerkapazität gasdicht	6.809 [m³]
				* beinhaltet die Gärrestlager 1 und 2	
Gasverwertung:			Gasproduktion:		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	34		Messung	nach AKF
				Gaszusammensetzung	
		BHKW 1	BHKW 2	[Vol-%]	CH ₄ 51,8
Motortyp		GO	GO	[Vol-%]	CO ₂ 42,1
elektr. Nennleistung	[kW]	360	380	[Vol-%]	O ₂ 0,6
therm. Nennleistung	[kW]	387	387	[ppm]	H ₂ S 5,1
elektr. Wirkungsgrad	[%]	39,3	39,3	Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix	
therm. Wirkungsgrad	[%]	41,5	40,9		Biogas Methan
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast	Volllast	[m³/ t] in FM	90 46
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	8.489	8.430	[m³/t] in oTS	609 315
theor. Volllaststunden	[h/a]	8.665	8.215	Stromproduktion	
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	99	94	[kWh/d]	17.099
				[kWh/t]	170
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas					
Eigenstrombedarf:			Wärmeverwertung:		
	[kWh/a]			[kWh/a]	
BGA gesamt	247.032	4 [% der Stromprod.]	Eigenbedarf BGA	1.095.542	22 [% der Wärmeproduktion]
			Nahwärmenetz	76.402	2 [% der Wärmeproduktion]
			(bezogen auf den Zeitraum März 2017 November 2017 (9 Monate))		

Tabelle 15-46: Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 16 im Wirtschaftsjahr 2017/18 (01.05. - 30.04.)

BGA 16				
installierte elektrische Leistung	740	kW	eingespeiste Strommenge 2017	6.131.853 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	703	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	2.742.550 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	99,91	%	1.107.364	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	0,09	%	1.008	€/a
Sonstige Erlöse	0,00	%	-	€/a
Gesamterlöse	100	%	1.108.372	€/a
Kosten				
Substratkosten	23,54	%	241.158	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	-	€/t	-	€/a
Gras	16,0	€/t	118.966	€/a
Restliche NawaRo	4	€/t	6.799	€/a
Personalkosten	5,12	%	52.426	€/a
Instandhaltungskosten	12,59	%	129.000	€/a
Abschreibungen	28,59	%	292.979	€/a
Sonstige Betriebskosten	30,17	%	309.102	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug			39.945	€/a
Miete und Pacht			15.000	€/a
Maschinenmiete und Leasing			36.000	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			8.800	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			29.225	€/a
Berufsgenossenschaft			-	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			16.030	€/a
Zinszahlungen			37.777	€/a
Buchführung und Verwaltung			-	€/a
Sonstiges			126.325	€/a
Gesamtkosten	100	%	1.024.666	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			18,08	ct/kWh
Stromgestehungskosten			16,71	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			1,37	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			83.706	€/a

15.16 Biogasanlage 17

15.16.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 17 befindet sich im Südwesten von Deutschland und ist angeschlossen an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit eigenem Ackerbau, Haltung von Jungvieh und Mastrindern. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte 2010 und die Anlage wird mit den Konditionen aus dem EEG 2009 vergütet. Die Anlage ist 2-stufig aufgebaut, bestehend aus in Reihe geschaltetem Fermenter und Nachgärer mit 730 m³ bzw. 1.728 m³ Arbeitsvolumen. Das vergorene Material wird in fünf offenen Gärrestlagern mit 600 m³ Speichervolumen bis zur Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen gelagert (vgl. Abbildung 15-73).

Die Substratzufuhr erfolgt über einen Feststoffdosierer, welcher die Einsatzstoffe über eine Zuführschnecke und zwei Mischschnecken dem Fermenter zuführt. Flüssige Einsatzstoffe werden über eine Güllepumpe direkt in den Fermenter eingebracht. Der Transport des Gärmediums von Gärbehälter zu Gärbehälter erfolgt über eine Zwischenleitung in der eine Pumpe eingebaut ist. Im Fermenter und Nachgärer ist jeweils ein Paddeligant installiert.

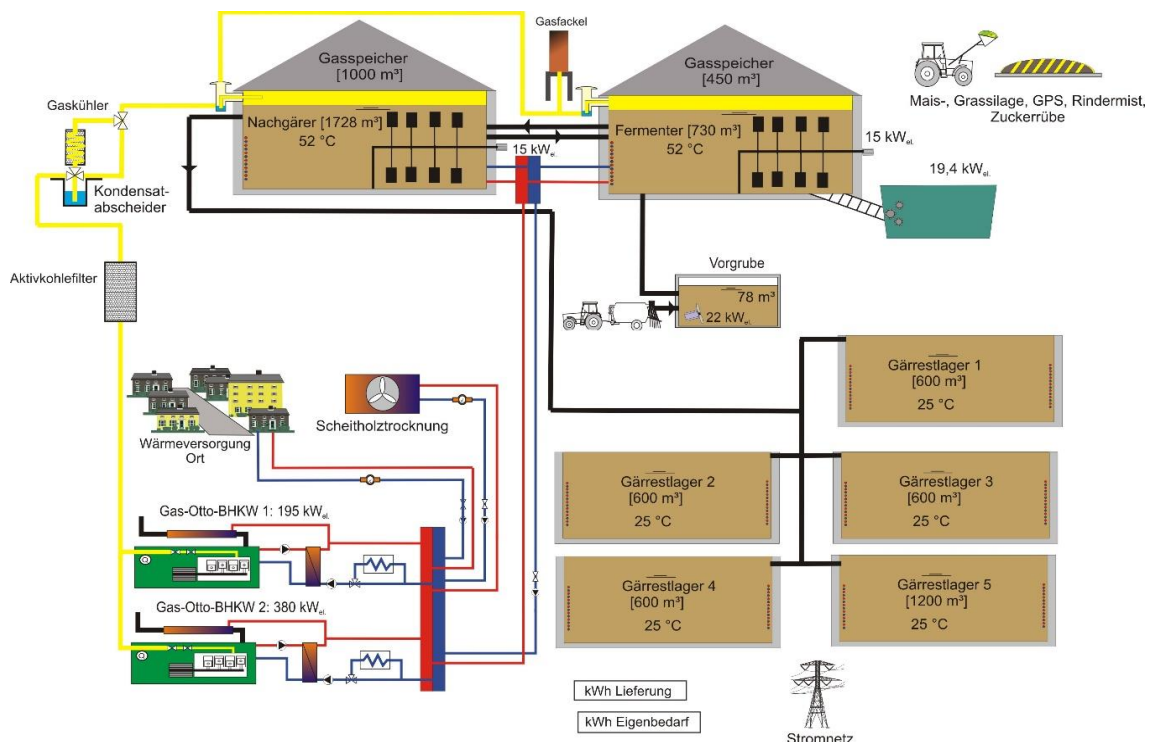


Abbildung 15-73: Anlagenschema BGA 17

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases ist der Fermenter und der Nachgärer mit einer Einfachmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das gesamte Gasspeichervolumen beträgt 1.450 m³. Das produzierte Biogas wird biologisch, per Eisenchlorid und per Aktivkohlefilter entschwefelt. Vor der Aktivkohle wird das Gas abgekühlt und vom Kondensat getrennt. Die Gasverwertung erfolgt durch zwei Gas-Otto-BHKW, welche am Anlagenstandort betrieben werden. Die Summe der installierten elektrischen Nennleistung beträgt 575 kW. Der Strom wird vollständig in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die produzierte Wärme wird neben der Beheizung der Gärbehälter und des Betriebsgebäudes, zur Versorgung einer Scheitholztrocknung, sowie zur Wärmeversorgung eines angrenzenden Neubaugebietes verwendet.

15.16.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-47 aufgelistet. Die Einsatzstoffmenge wurde mittels Wiegevorrichtung am Teleskoplader gemessen. Flüssige Einsatzstoffe konnten per Durchflussmengenmesser erfasst werden. Die Gasqualität wurde nicht gemessen. Alle anderen Parameter wurden beim täglichen Kontrollgang per Hand aufgeschrieben. Einige Zähler wurden dabei in unregelmäßigen Abständen abgelesen.

Tabelle 15-47: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 17

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Erfassung per Wiegevorrichtung	Wiegevorrichtung befindet sich am Teleskoplader
Flüssige Einsatzstoffe	Durchflussmengenmesser	Ablesung täglich
Gasqualität	Wird nicht gemessen	
Gaszähler	Je BHKW ein Volumenstromzähler;	in unregelmäßigen Abständen handschriftlich erfasst
Stromzähler	Zähler am BHKW und am Einspeisetrafo	Tägliche Ablesung an den BHKW Monatlich am Trafo
Eigenstromverbrauch	Erfassung über Stromrechnung	Monatliche Erfassung
Eigenwärmeverbrauch	Messung für Gesamtanlage	In unregelmäßigen Abständen handschriftlich erfasst

Eine Emissionspotentialanalyse erfolgte einmal jährlich und Gärsubstrat aus dem Fermenter wurde monatlich vom Betreiber auf Säurekonzentrationen untersucht. Die Gülle musste aus einer Vorrube im Stall entnommen werden. Eine Durchmischung war nicht möglich. Eine homogene Probe zu ziehen wurde durch eine dicke Schwimmschicht weiter erschwert. Auf der Anlage wurde bis April 2016 aus zwei Mischsilagen aus Gras- und Maissilage bzw. Gras- und Ganzpflanzensilage siliert. Die Probennahme beider Gärsubstrates erfolgte per Umpumpen in einer Substratleitung zwischen Fermenter und Nachgärer.

15.16.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 17 wurde im Zeitraum von September 2016 bis August 2017 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurde ein breiter Substratmix eingesetzt (vgl. Abbildung 15-74). Dabei dominiert Gülle (29 %), Mais-Ganzpflanzensilage (30 %) und Getreide (18 %), sowie in kleineren Mengen Grassilage (7 %) Grünroggen-Ganzpflanzensilage (5 %) und Rindermist (5 %). Saisonal wurden zudem Zuckerrüben (6 %) eingesetzt. Außerdem werden Spurenelemente und Enzyme, sowie Eisenchlorid täglich hinzugegeben. Die mittlere tägliche Fütterungsmenge betrug 24,3 t/d.

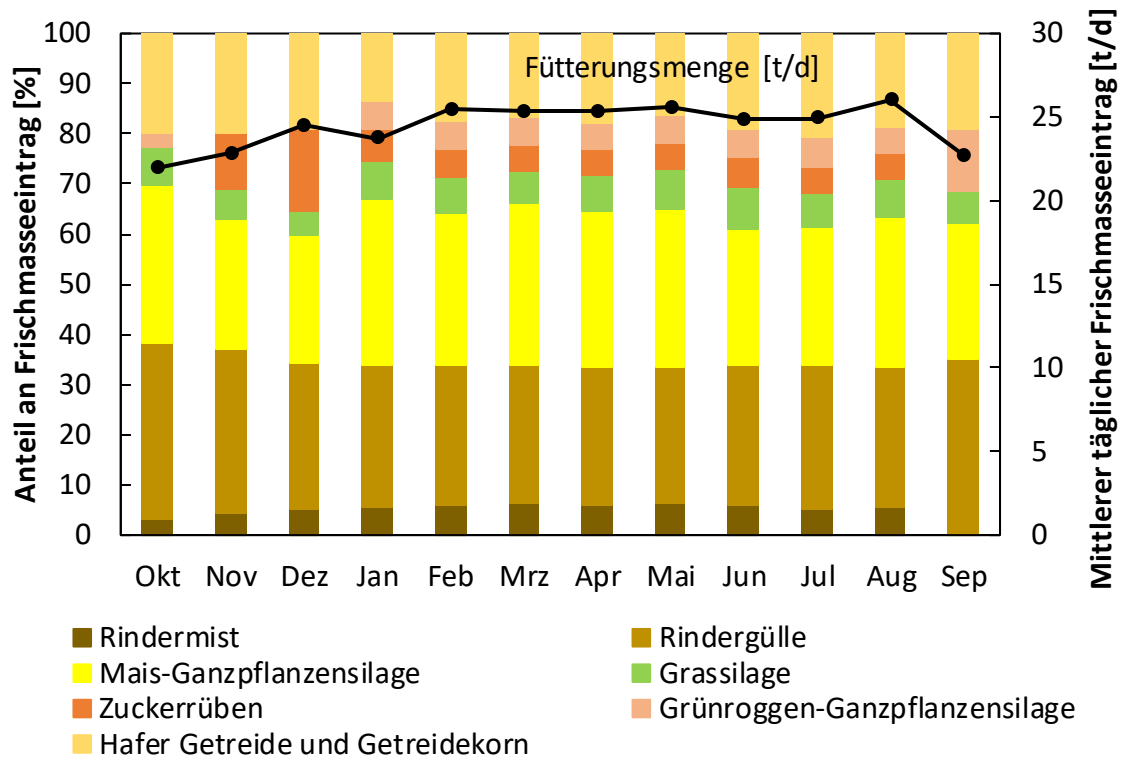


Abbildung 15-74: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Anfang September wurde der Fermenter planmäßig geleert um angesammeltes Sediment zu entnehmen. Der Betreiber berichtete davon, dass die Entleerung und das Wiederanlaufen der Gasproduktion mit Inokulum aus dem Lagerbehälter nur wenige Tage benötigte. Zudem wurde die Heizleistung durch die Säuberung deutlich erhöht.

Der FOS/TAC-Wert im Fermenter zeigte einige Schwankungen (vgl. Abbildung 15-75). Der Mittelwert lag bei 0,39. Auffällig sind der niedrige FOS/TAC-Wert im Dezember (0,21) und der hohe FOS/TAC-Wert im Juni (0,64). Die Ursache ist nicht bekannt, Futtermenge und –zusammensetzung wurden nicht geändert. Eine Inhibierung konnte im Juni in der Gasproduktion nicht festgestellt werden. Die wahrscheinlichste Ursache sind geänderte Bedingungen bei der Probenahme wie z. B. die Probenahme kurz nach einer Fütterung.

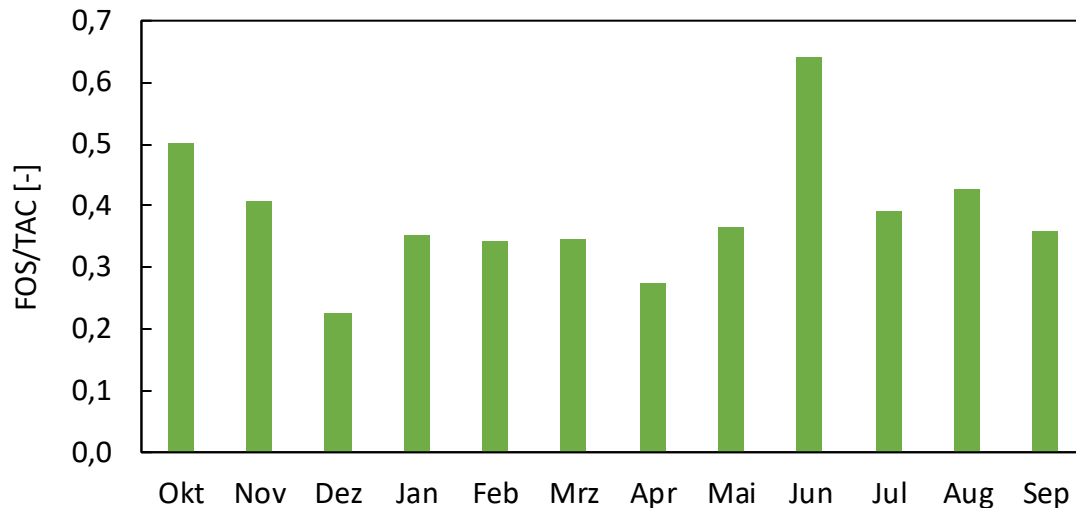


Abbildung 15-75: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter

Die elektrische Auslastung der BHKW lag im Jahresdurchschnitt bei 84 % (vgl. Abbildung 15-76). Aufgrund der Leerung des Fermenters kam es nur im September zu Auslastungen unterhalb von 80 %. Grundsätzlich lag ein stabiler Prozess in dem gesamten Messzeitraum vor. Die thermische Auslastung durch Fremdnutzer lag im Jahresdurchschnitt bei 57 %. In den Wintermonaten stieg der Verbrauch auf bis zu 67 % (Februar) an. Durch die vorhandene Scheitelholz Trocknung konnte allerdings auch im Sommer eine hohe Wärmeausnutzung sichergestellt werden.

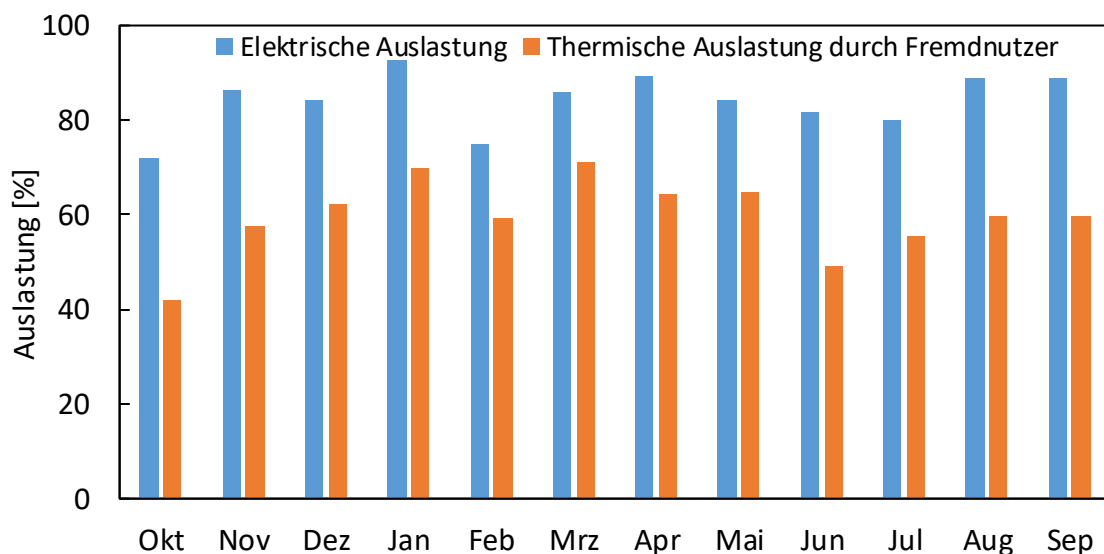


Abbildung 15-76: Elektrische Auslastung und Thermisch Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung

Die Biogasanlage wurde mit einer organischen Raumbelastung von 2,9 kg_{oTS}/(m³ d) im Fermentersystem gefahren. Die Verweilzeit betrug 101 Tage im beheizten System. Die hohen Essigsäureäquivalente und FOS/TAC-Werte deuten allerdings auf eine hohe Belastung der Mikrobiologie hin. Beide Werte sind im Nachgärer deutlich geringer gemessen worden, sodass nicht von einer Hemmung auszugehen ist. Das rel. Restgaspotential unterstützt diese These zusätzlich. Der Wert von 3,9 % deutet auf eine nahezu vollständige Ausnutzung des mit dem Inputsubstrat eingebrachten Methanpotentials hin. Dies wird vom Abbaugrad der FoTS und der oTS noch zusätzlich unterstützt.

Tabelle 15-48: Datenblatt der Biogasanlage 17

BGA 17							
Allgemeine Angaben:							
installierte elektrische Leistung	575 kW						
Inbetriebnahme	01.2010						
Zeitraum der Messphase	09.2016 - 08.2017						
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente						
Gasverwertung	2 VOV-BHKW						
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein						
Betriebsform	Einzelhofanlage, Anschluss an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Milchviehhaltung und Ackerbau						
Bauliche Anlagen:					Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM		
Anzahl		1	1		Gesamt-Jahresmenge	8.884 [t/a]	
Reaktorvolumen	[m³]	796	1.885	2.681	Gesamt-Tagesmenge	24,3 [t/d]	
Arbeitsvolumen	[m³]	730	1.728	2.458	Grassilage	7,1 [%]	
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend		Mais-Ganzpflanzensilage	29,6 [%]	
Gasspeichervolumen	[m³]	1.000	450	1.450	Rindergülle	29,5 [%]	
					Rindermist	5,1 [%]	
					Zuckerrüben	6,0 [%]	
					Grünroggensilage	4,9 [%]	
					Einsatzstoffmix		
					mittlerer TS-Gehalt in FM	32,6 [%]	
					mittlerer oTS-Gehalt in TS	89,6 [%]	
					mittlerer FoTS-Gehalt in TS	75,8 [%]	
					Gärrestlager:		
					Anzahl	5	
					Lagerkapazität gasdicht	0 [m³]	
					Lagerkap. nicht gasdicht / offen	3.600 [m³]	
					Gasspeichervolumen	0 [m³]	
					relatives Restmethanpotential	3,6 [%]	
					TS-Gehalt im Gärrest in FM	9,4 [%]	
					oTS-Gehalt im Gärrest in TS	80,3 [%]	
Gasverwertung:					Gasproduktion:		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	57	Messung keine				
					Gaszusammensetzung		
					[Vol-%]	CH ₄	-
					[Vol-%]	CO ₂	-
					[Vol-%]	O ₂	-
					[ppm]	H ₂ S	-
					Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix		
						Biogas	Methan
					[m³/ t] in FM	218	-
					[m³/t] in oTS	746	-
					Stromproduktion		
	[kWh/d]	11.021					
	[kWh/t]	397					
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas							
Eigenstrombedarf:					Wärmeverwertung:		
	[kWh/a]				[kWh/a]		
BGA gesamt	326.503	8	[% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	477.247	11 [% der Wärmeproduktion]	
				Trocknung	2.383.180	53 [% der Wärmeproduktion]	
				Wohnhäuser	481.779	11 [% der Wärmeproduktion]	

Tabelle 15-49: Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 17 im Wirtschaftsjahr 2017

BGA 17				
installierte elektrische Leistung	575	kW	eingespeiste Strommenge 2017	3.979.089 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	546	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	1.475.000 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	86,90	%	725.179	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	13,01	%	108.573	€/a
Sonstige Erlöse	0,09	%	714	€/a
Gesamterlöse	100	%	834.467	€/a
Kosten				
Substratkosten	47,52	%	336.985	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	34,32	€/t	88.480	€/a
Gras	24	€/t	16.944	€/a
Restliche NawaRo	85,63	€/t	223.827	€/a
Personalkosten	3,19	%	22.600	€/a
Instandhaltungskosten	18,03	%	127.838	€/a
Abschreibungen	15,44	%	109.474	€/a
Sonstige Betriebskosten	15,83	%	112.293	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug			49.688	€/a
Miete und Pacht			-	€/a
Maschinenmiete und Leasing			-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			14.503	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			6.800	€/a
Berufsgenossenschaft			1.044	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			9.639	€/a
Zinszahlungen ¹			17.180	€/a
Sonstiges			4.655	€/a
Buchführung und Verwaltung			8.784	€/a
Gesamtkosten	100	%	709.189	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			20,97	ct/kWh
Stromgestehungskosten			17,82	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			3,15	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			125.277	€/a

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

15.17 Biogasanlage 18

15.17.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 18 befindet sich im mittleren Südwesten von Deutschland und ist angeschlossen an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Ackerbau, Mastbullen, Mutterschweinen, Ferkeln und Mastschweinen. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage war 2009 und die Vergütung erfolgt nach EEG 2009. Die Anlage ist 4-stufig aufgebaut, bestehend aus in Reihe geschalteten Fermenter (1.728 m³), Nachgärer 1 (1.728 m³), Nachgärer 2 (2.091 m³) und zwei weiteren zueinander parallel geschalteten Gärrestlagern (Gärrestlager 1: 4.423 m³, Gärrestlager 2: 6.032 m³) (vgl. Abbildung 15-77).

Die Substratzufuhr erfolgt über einen Feststoffdosierer, welcher die Einsatzstoffe über drei Förderschnecken dem Fermenter zuführt. Flüssige Einsatzstoffe werden über eine Güllepumpe direkt in den Fermenter eingebracht. Der Transport des Gärmediums erfolgt per Überlaufprinzip. Im Fermenter sind drei Stabrührwerke und im Nachgärer ein Stabrührwerk und ein Tauchmotorrührwerk installiert. Tauchmotorrührwerke sind ebenfalls in allen Gärrestlagern eingebaut.

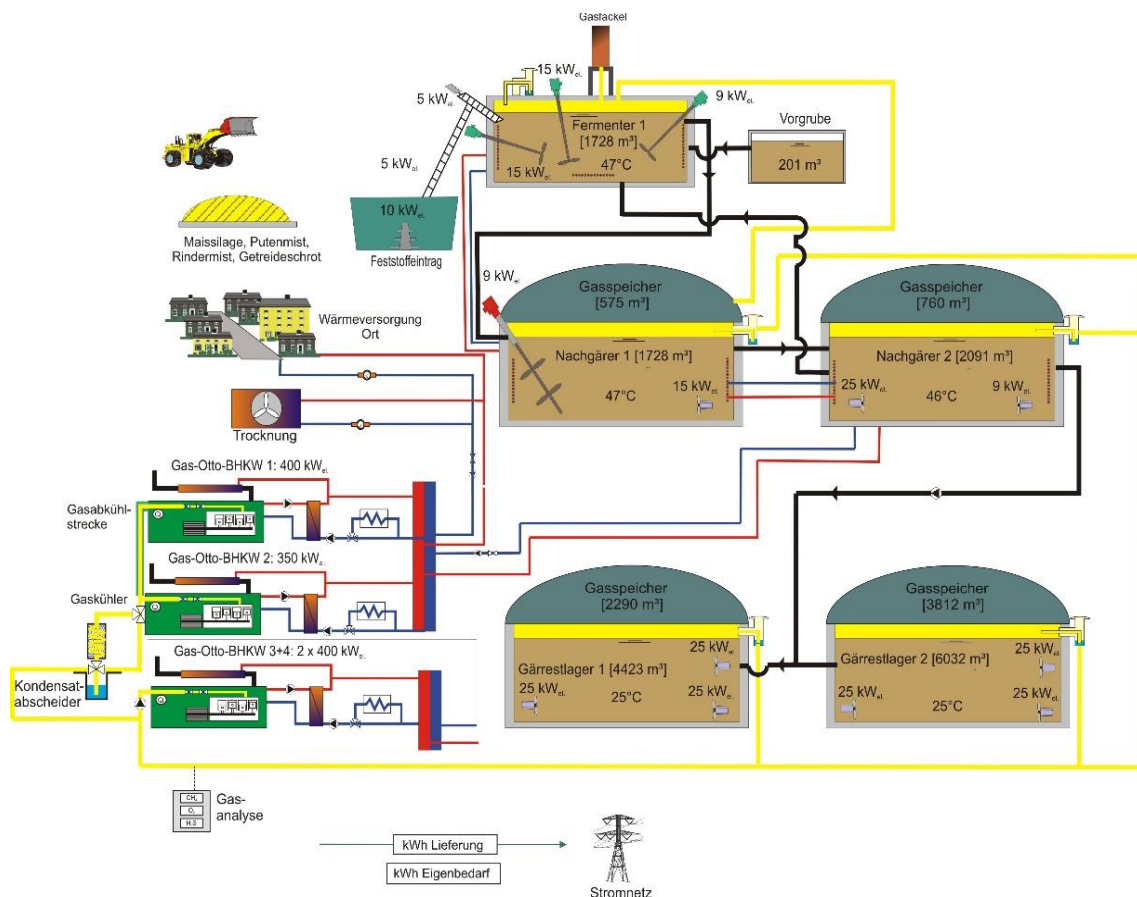


Abbildung 15-77: Anlagenschema BGA 18; BHKW 3+4 sind Satelliten-BHKW

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases sind alle Behälter mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das Gasspeichervolumen beträgt 7.437 m³. Das produzierte Biogas wird biologisch und per Eisenhydroxid entschwefelt. Vor den BHKW wird das Gas abgekühlt und austretende Kondensat abgetrennt. Die Gasverwertung erfolgt durch vier Gas-Otto-BHKW. Zwei davon stehen am Standort, während zwei weitere Satelliten-BHKW sind. Die Summe der installierten elektrischen Nennleistung beträgt 1550 kW. Der Strom wird vollständig in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die produzierte Wärme wird neben der Beheizung der Gärbehälter auch zur Wärmeversorgung von privaten Haushalten und von Bürogebäuden verwendet.

15.17.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-50 aufgelistet. Die Gesamtmenge wird per Wiegevorrichtung an dem Feststoffeintrag gemessen. Gas-, Stromzähler und Eigenstrombedarfe werden jeweils mit Zählern gemessen. Flüssige Einsatzstoffmengen können nur mittels der Daten aus der Datenbank des Herkunftssicherungs- und Informationssystems für Tiere abgeschätzt werden.

Tabelle 15-50: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 18

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Erfassung per Wiegevorrichtung	Gesamtmenge wird gewogen, Einzelmenge berechnet
Flüssige Einsatzstoffe	Wird nicht gemessen	Abschätzung über Pumpdauer
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S	Täglich digital per Excelsheet erfasst
Gaszähler	Je BHKW ein Volumenstromzähler	Wird täglich aufgeschrieben per Excelsheet Für BHKW 1 fehlerhaft
Stromzähler	Zähler am BHKW und am Einspeisetrafo	Tägliche Ablesung an den BHKW Monatlich am Trafo
Eigenstromverbrauch	Erfassung über Stromrechnung	Monatliche Erfassung
Eigenwärmeverbrauch	Für Fermenter, Nachgärer 1 und Nachgärer 2	Einmal im Monat erfasst

Spurenelemente wurden kontinuierlich jede Woche eingesetzt. Gärsubstrate von Fermenter, Nachgärer 1 und Nachgärer 2 werden vierteljährlich auf pH, TS/oTS, NH₄-N, FOS/TAC und Säurekonzentrationen untersucht. Die Probenahme des Gärsubstrats erfolgt im Fermenter und Nachgärer über ein seitlich angebrachtes Auslassventil. Das Gärsubstrat des Gärrestlagers und die Gülle wurden jeweils in die Vorgrube gepumpt.

15.17.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 18 wurde im Zeitraum von September 2016 bis August 2017 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurden vorwiegend Maissilage (44 %) und Rindergülle (35 %) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-78). Des Weiteren sind Getreideschrot (8 %), Rindermist (8 %) und Putenmist (5 %) gefüttert worden. Die mittlere tägliche Fütterungsmenge beträgt ohne Berücksichtigung des Augusts, in dem eine Havarie vorlag, 62 t/d (mit Havarie 58 t/d). 80 t/d an Gärsubstrat wird zudem aus dem Gärrestlager 1 in den Fermenter rezirkuliert. Als Additive wurden Spurenelemente und Eisenhydroxid hinzugegeben.

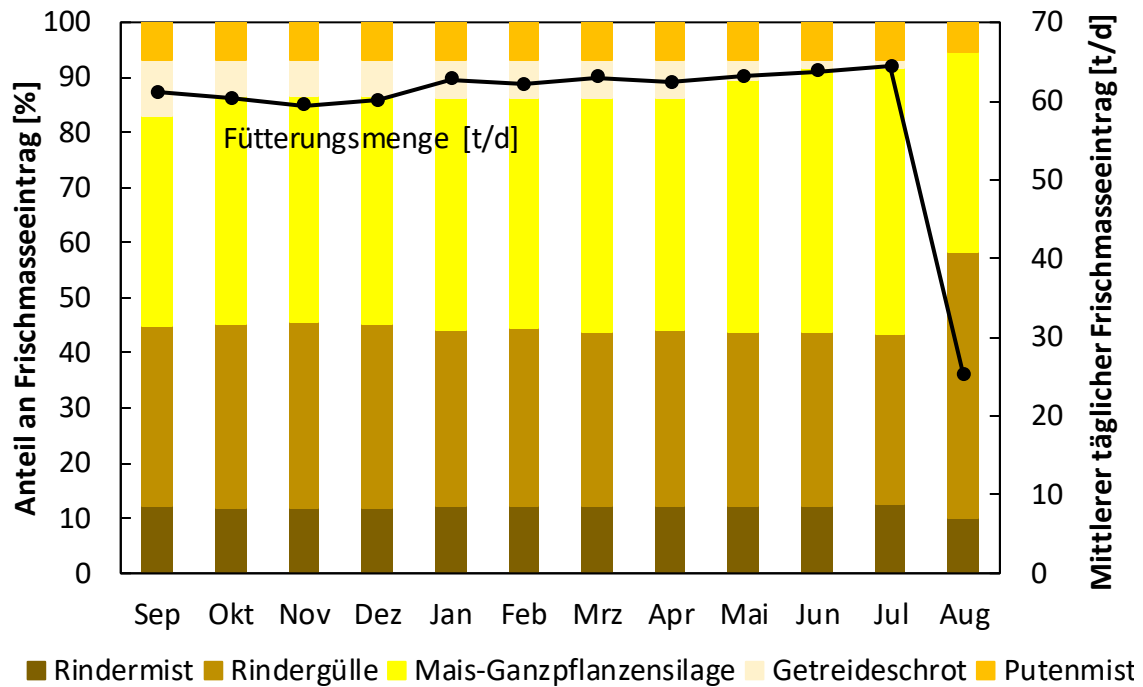


Abbildung 15-78: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Anfang August erfolgte die Entleerung des Fermenters. Aufgrund dessen wurde die Fütterungsmenge reduziert. Zeitgleich wurde ein zweiter Fermenter in Betrieb genommen. Dieser sollte zur Reduzierung der Raumbelastung führen. Der erste Fermenter wurde in dem Vorgang vom Sediment gereinigt.

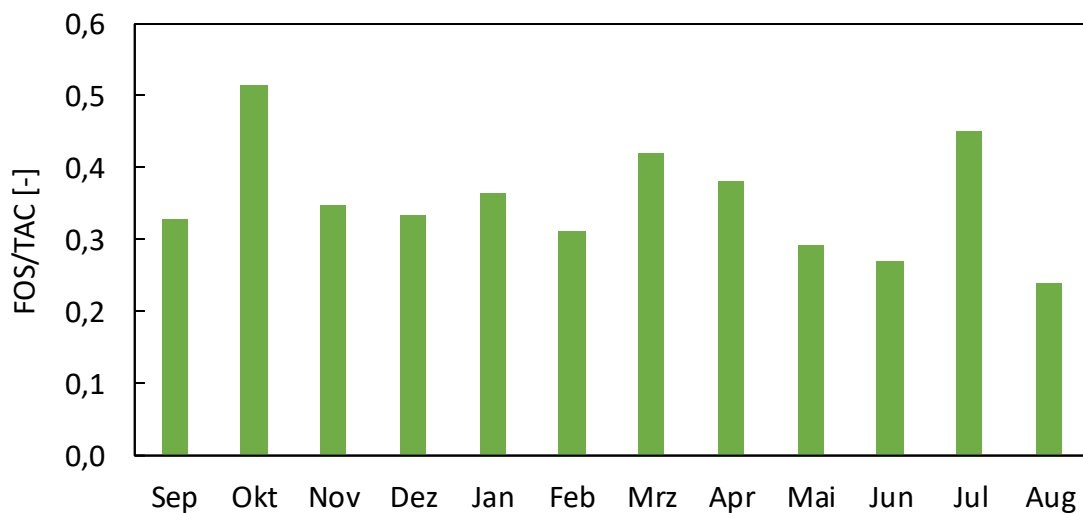


Abbildung 15-79: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter

Der FOS/TAC-Wert zeigte Schwankungen im Messzeitraum, z. B. ist im Oktober ein Wert von 0,51 und im Juli von 0,45 gemessen worden (vgl. Abbildung 15-79). Allerdings sind diese Schwankungen nur monatlich und nur im Fermenter festzustellen, weshalb die Werte vermutlich nicht mit Störungen der Prozessbiologie zu erklären sind.

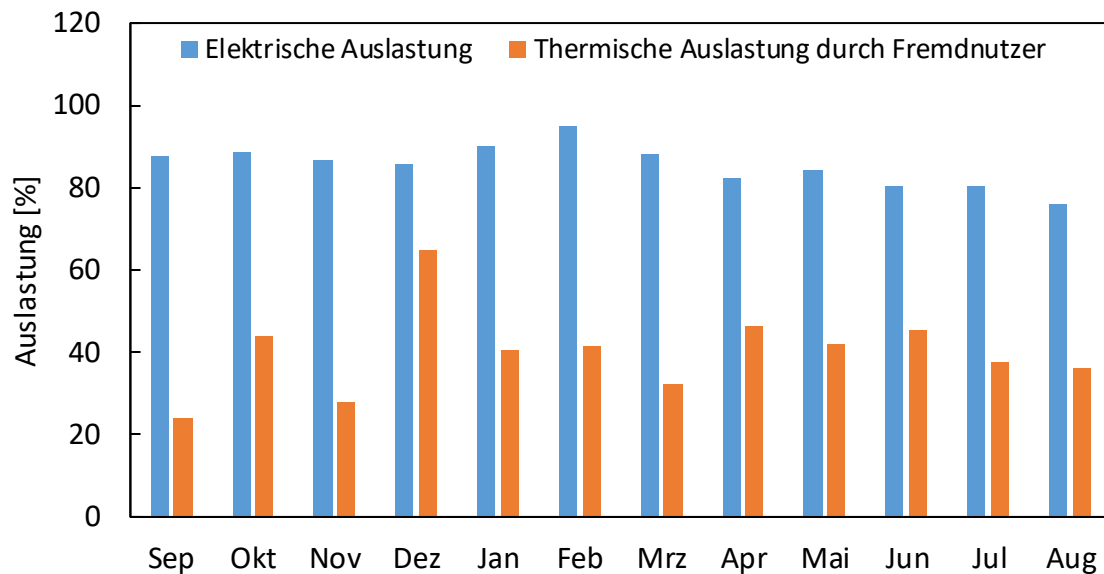


Abbildung 15-80: Elektrische Auslastung und Thermisch Auslastung (Trocknung nicht enthalten) bezogen auf die Höchstbemessungsleistung

Die elektrische Auslastung der BHKW beträgt im Jahresdurchschnitt 86 % und ist über das ganze Jahr konstant. Nur im August ist die Auslastung unterhalb von 80 %, was auf die Entleerung des Fermenters zurückzuführen ist. Die thermische Auslastung durch Fremdnutzer liegt im Jahresdurchschnitt bei 71 %. Die Wärme wird zur Trocknung, zum Eigenbedarf der BGA und für die Beheizung von einem angrenzenden Dorf verwendet. Der Verbrauch der Trocknung ist nicht monatlich abzulesen, weshalb dieser in Abbildung 15-80 nicht dargestellt wird und diese nur die Wärme für das angrenzende Dorf berücksichtigt.

Die Biogasanlage wurde mit einer organischen Raumbelastung von $4,2 \text{ kg}_{\text{oTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ im Fermentersystem gefahren. Dies ist im Vergleich zu anderen Anlagen ein hoher Wert. Der Anlagenbetreiber hat dementsprechend auch reagiert und ein zweiter Fermenter gebaut. Die hohen Essigsäureäquivalente und FOS/TAC-Werte des Fermenters deuten zusätzlich auf eine hohe Belastung der Mikrobiologie hin. Diese werden allerdings in hohem Maße abgebaut in der Fermenterkaskade. Der Abbaugrad der oTS, FoTS und das rel. Restgaspotential deuten ebenfalls auf einen intakten Gärprozess hin.

Tabelle 15-51: Datenblatt der Biogasanlage 18

BGA 18									
Allgemeine Angaben:									
installierte elektrische Leistung	1.550 kW								
Inbetriebnahme	2009								
Zeitraum der Messphase	09.2016 - 08.2017								
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente								
Gasverwertung	2 VOV-BHKW, 2 Satelliten-BHKW								
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein								
Betriebsform	Einzelhofanlage, Anschluss an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Tierhaltung und Ackerbau								
Bauliche Anlagen:						Einsatzstoffe:			
Benennung		Fermenter	Nachgärer 1	Nachgärer 2	Fermentersystem	Mengenangaben in FM			
Anzahl		1	1	1		Gesamt-Jahresmenge 21.479 [t/a]			
Reaktorvolumen	[m³]	1.880	1.880	2.280	6.040	Gesamt-Tagesmenge 58,8 [t/d]			
Arbeitsvolumen	[m³]	1.728	1.728	2.091	5.547	Mais-Ganzpflanzensilage 42,9 [%]			
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend	stehend		Putenmist 6,7 [%]			
Gasspeichervolumen	[m³]	0	575	760	1.335	Rindergülle 32,8 [%]			
						Rindermist 12,1 [%]			
						Weizenkleie 5,5 [%]			
Betriebsparameter:						Einsatzstoffmix			
TS-Gehalt in FM	[%]	12,2	10,7	10,0		mittlerer TS-Gehalt in FM 29,1 [%]			
oTS-Gehalt in TS	[%]	79,7	76,8	75,0		mittlerer oTS-Gehalt in TS 86,5 [%]			
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]				4,3 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS 73,4 [%]			
Verweilzeit	[d]				59 _{FS}				
oTS-Abbau	[%]				80 _{GSV}				
FoTS-Ausbeute	[%]				116 _{GSV}				
CH ₄ -Produktivität	[m³ /((m³ d)]				1,1 _{FS}				
BG-Produktivität	[m³ /((m³ d)]				2,2 _{FS}				
pH	[-]	7,9	8,1	8,1		Gärrestlager:			
Temperatur	[°C]	50	49	45		Anzahl 2			
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	4,5	4,8	4,8		Lagerkapazität gasdicht 10.446 [m³]			
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	7,1	7,0	7,0		Lagerkap. nicht gasdicht / offen 0 [m³]			
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	2.255	218	220		Gasspeichervolumen 6.102 [m³]			
FOS/TAC	[-]	0,37	0,22	0,23		relatives Restmethanpotential 4,0 [%]			
						TS-Gehalt im Gärrest in FM 9,7 [%]			
						oTS-Gehalt im Gärrest in TS 75,2 [%]			
Gasverwertung:						Gasproduktion:			
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	57				Messung vor BHKW			
		BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3	BHKW 4	Gaszusammensetzung			
Motortyp		GO	GO	GO	GO	[Vol.-%] CH ₄ 50,6			
elektr. Nennleistung	[kW]	400	350	400	400	[Vol.-%] CO ₂ 42,7			
therm. Nennleistung	[kW]	420	360	420	420	[Vol.-%] O ₂ 0			
elektr. Wirkungsgrad	[%]	38,0	38,0	38,0	38,0	[ppm] H ₂ S 39			
therm. Wirkungsgrad	[%]	42,4	42,5	42,4	42,4	Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix			
Betriebsweise BHKW	[-]	Start-Stop	Volllast	Volllast	Start-Stop	[m³/t] in FM 208 105			
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	5.422	4.213	8.682	5.036	[m³/t] in oTS 827 417			
theor. Volllaststunden	[h/a]	4.914	3.960	8.169	4.369	Stromproduktion			
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	56	45	93	50	[kWh/d] 23.394			
						[kWh/t] 398			
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas									
Eigenstrombedarf:						Wärmeverwertung:			
	[kWh/a]					[kWh/a]			
BGA gesamt	692.594	8 [% der Stromproduktion]		Eigenbedarf BGA		434.704		5	[% der Wärmeproduktion]
davon BHKW	79.550	1 [% der Stromproduktion]		Trocknung		3.494.099		37	[% der Wärmeproduktion]
				Fernwärme		2.740.994		29	[% der Wärmeproduktion]

Tabelle 15-52: Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 18 im Wirtschaftsjahr 2017

BGA 18					
installierte elektrische Leistung	1.550	kW	eingespeiste Strommenge 2017	8.573.752	kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	1.140	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	4.000.000	€
Leistungen					
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	87,07	%		1.647.543	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	12,93	%		244.688	€/a
Sonstige Erlöse	0,00	%		-	€/a
Gesamterlöse	100	%		1.892.231	€/a
Kosten					
Substratkosten	45,70	%		569.562	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>					
Mais	40,00	€/t		418.720	€/a
Gras	30	€/t		18.000	€/a
Restliche NawaRo	120,00	€/t		75.240	€/a
Personalkosten	1,93	%		24.000	€/a
Instandhaltungskosten	7,86	%		98.000	€/a
Abschreibungen	24,31	%		302.976	€/a
Sonstige Betriebskosten	20,20	%		251.724	€/a
<i>davon</i>					
Zündöl				-	€/a
Strombezug				112.164	€/a
Miete und Pacht				5.000	€/a
Maschinenmiete und Leasing				-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung				35.000	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben				20.000	€/a
Berufsgenossenschaft				1.000	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel				16.000	€/a
Zinszahlungen ¹				57.560	€/a
Buchführung und Verwaltung				-	€/a
Sonstiges				5.000	€/a
Gesamtkosten	100	%		1.246.262	€/a
Bilanz					
Gesamterlöse				22,07	ct/kWh
Stromgestehungskosten				14,54	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				7,53	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				645.968	€/a

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

15.18 Biogasanlage 19

15.18.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 19 befindet sich im mittleren Südwesten von Deutschland und ist angeschlossen an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit eigenem Ackerbau. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte 2009. Der am Standort produzierte Strom wird nach EEG 2009 vergütet. Ein Großteil des Gases wird unaufbereitet verkauft. Die Anlage ist 4-stufig aufgebaut, bestehend aus in Reihe geschalteten Fermenter (1.400 m³), Nachgärer 1 (1.400 m³), Nachgärer 2 (2.700 m³) und einem gasdicht abgedeckten Gärrestlager (7.634 m³) (vgl. Abbildung 15-81).

Die Substratzufuhr erfolgt über einen Feststoffdosierer, welcher die Einsatzstoffe über einen Abschieber und drei Zuführschnecken dem Fermenter zuführt. Flüssige Einsatzstoffe werden über eine Güllepumpe direkt in den Fermenter eingebracht. Der Transport des Gärmediums erfolgt per Überlaufprinzip. Im Fermenter sind zwei Stabührwerke und ein Tauchmotorrührwerk eingebaut. Im Nachgärer 1 sind zwei Tauchmotorrührwerke und im Nachgärer 2 und Gärrestlager je drei Tauchmotorrührwerke installiert. Seit März 2017 wird zudem 50 m³/d des Fermenterinhalt durch eine Ultraschalldesintegrationsanlage mit vorgeschalteten Rotocat aufbereitet.

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases sind Nachgärer 1, Nachgärer 2 und Gärrestlager mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das Gasspeichervolumen beträgt 5.660 m³. Das produzierte Biogas wird mittels Eisenhydroxid und Eisenfilter (BHKW am Standort) und Aktivkohlefilter (Gasverkauf) entschwefelt. Das Gas wird jeweils abgekühlt und austretendes Kondensat abgetrennt. Die Gasverwertung erfolgt durch zwei Gas-Otto-BHKW am Standort und durch ein weiteres Satelliten-BHKW. Das Satelliten-BHKW wird allerdings nicht vom Betreiber der Biogasanlage betrieben, stattdessen verkauft dieser das Gas an den Betreiber des BHKW. Die Summe der installierten elektrischen Nennleistung vor Ort beträgt 350 kW, das externe BHKW hat 400 kW. Der am Standort produzierte Strom wird vollständig in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die produzierte Wärme wird neben der Beheizung der Gärbehälter auch zur Versorgung des Wohnhauses und Hofes verwendet.

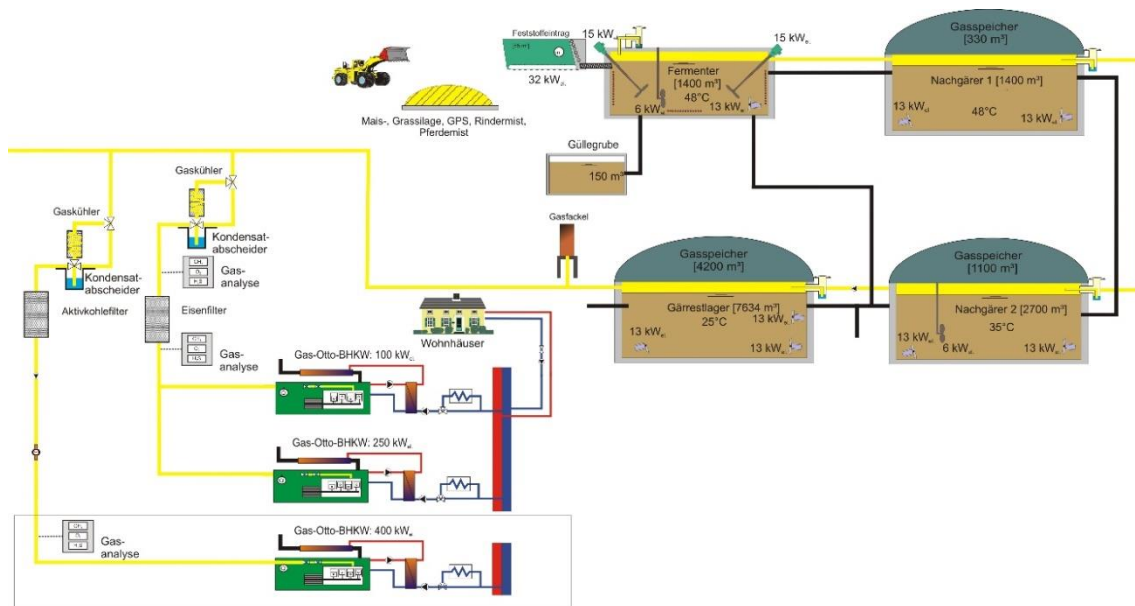


Abbildung 15-81: Anlagenschema BGA 19

15.18.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-53 aufgelistet. Die Gesamtfütterungsmenge wird per Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag gemessen. Per Durchflusszähler können die flüssigen Einsatzstoffe gemessen werden. Auch eine Erfassung der Gas- und Strommengen für jedes BHKW ist möglich. Der Eigenstrom wird mit zwei Zählern erfasst. Ein Zähler erfasst den Stromverbrauch aller BHKW und ein weiterer den Verbrauch aller anderen Verbraucher an der Anlage. Der Eigenwärmeverbrauch wurde ebenfalls täglich gemessen.

Tabelle 15-53: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 19

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Erfassung per Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag	Einzelmengen gewogen und geloggt
Flüssige Einsatzstoffe	Durchflusszähler	Wird täglich geloggt
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S	Täglich geloggt Vor und nach Aktivkohle
Gaszähler	Je BHKW und an der Mikrogasstation ein Volumenstromzähler;	Wird täglich geloggt
Stromzähler	Zähler am BHKW und am Einspeisetrafo	Tägliche an BHKW geloggt Monatlich am Trafo
Eigenstromverbrauch	Zähler an BHKW und Biogasanlage	tägliche Erfassung
Eigenwärmeverbrauch	Für Fermenter, Nachgärer1 und Nachgärer 2	Tägliche Erfassung

Alle Gärsubstratproben konnten per Probehahn an den Behältern gezogen werden. Die Probennahme der Gülleprobe erfolgte direkt an der Vorgrube von oben per Eimer. Es gab Mischsilagen. So wurde Roggen- und Gerste-Ganzpflanzensilage als eine Probe gezogen und auch als „GPS“ im Fütterungstragebuch vermerkt. Die Ganzpflanzensilagen wurden zudem mit Grassilage siliert. Sowohl bei der Probennahme als auch im Betriebstagebuch wurden diese beiden Einsatzstoffe jeweils separat voneinander betrachtet.

15.18.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 19 wurde im Zeitraum von September 2016 bis August 2017 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurden vorwiegend Mais-Ganzpflanzensilage (24 %), Rindergülle (44 %), Rindermist (10 %) und eine Mischung aus Roggen- und Gerste-Ganzpflanzensilage (11 %) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-82). Des Weiteren sind Getreide (1 %) und Pferdemist (5 %) gefüttert worden. Unregelmäßig wurden kleine Mengen Pflanzenkohle hinzugegeben. Die mittlere tägliche Fütterungsmenge betrug 53,7 t/d. 40 - 60 t/d an Gärsubstrat wurde zudem aus Nachgärer 2 in den Fermenter rezirkuliert.

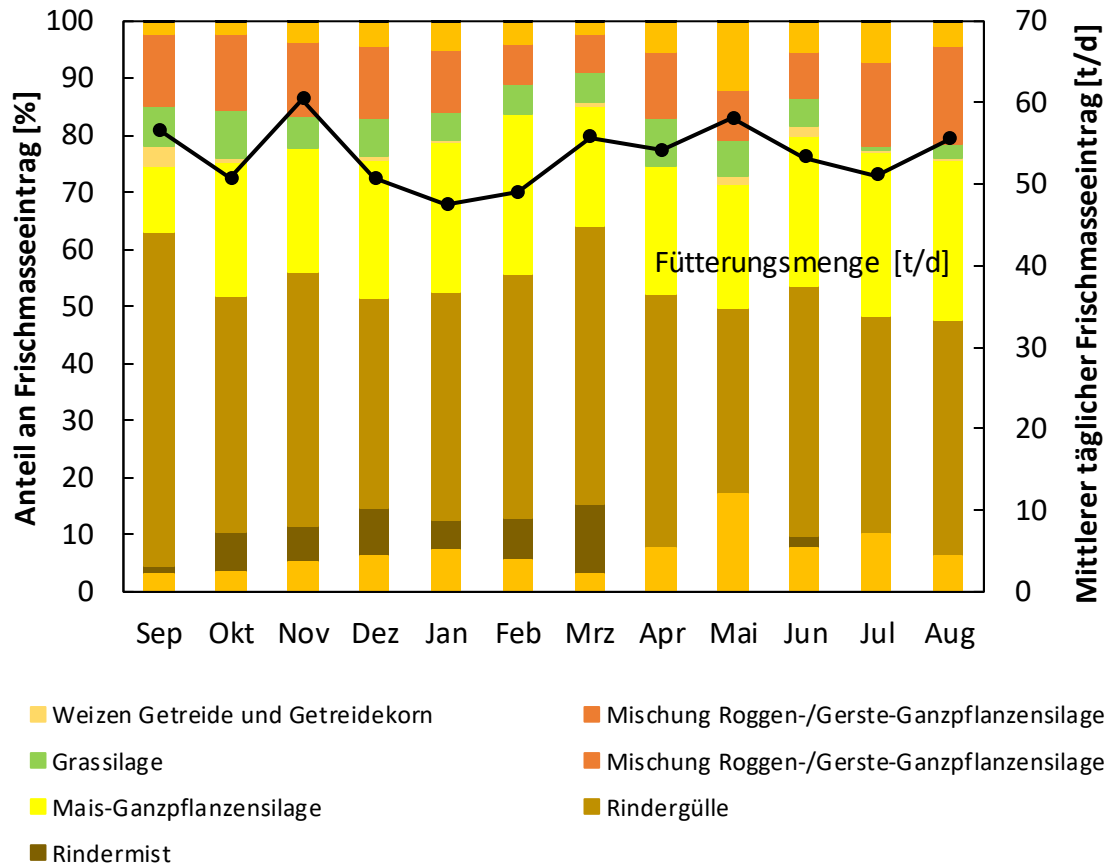


Abbildung 15-82: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Im Juni wurde ein Tauchmotorrührwerk im Fermenter und im Mai der Temperaturfühler im Nachgärer 1 getauscht, da dieser in den Monaten zuvor unrealistisch hohe Werte angezeigt hat. Im März wurde des Weiteren eine Ultraschalldesintegrationsanlage hinzugebaut und in Betrieb genommen.

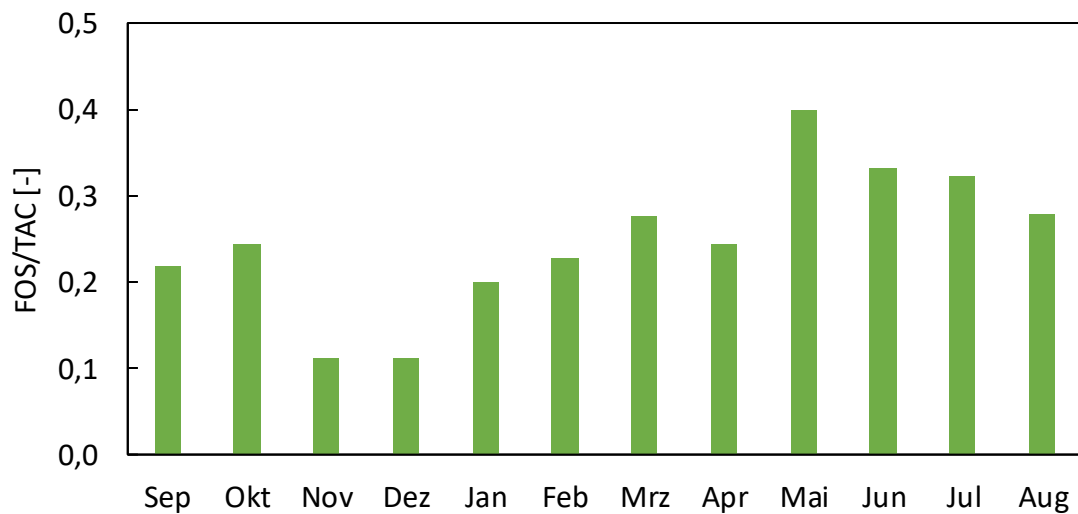


Abbildung 15-83: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter

Der FOS/TAC-Wert des Fermenters zeigt Schwankungen. Bis in den Mai lagen die FOS/TAC-Werte jeweils deutlich unter 0,3 (vgl. Abbildung 15-83). Mit zunehmender Projektlaufzeit nahm der FOS/TAC-Wert allerdings leicht zu und lag im Juni-August im Bereich zwischen 0,3 – 0,4. In dem Zeitraum ist eine Ultraschall-desintegrationsanlage, in der Material vom Fermenter zirkuliert wird, eingebaut worden. In wie weit ein Zusammenhang dazu besteht ist nicht bekannt.

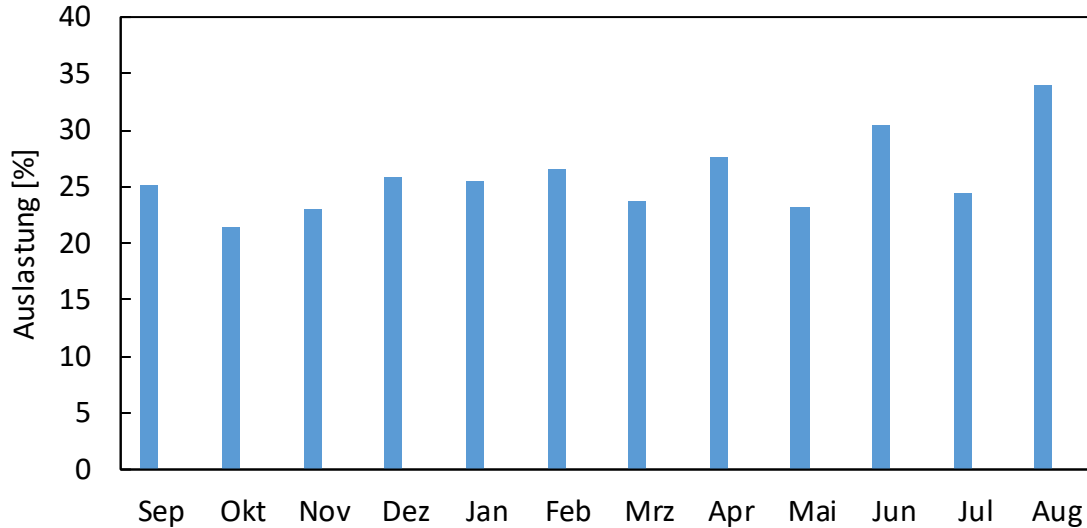


Abbildung 15-84: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung

Die elektrische Auslastung der BHKW bezogen auf die Höchstbemessungsleistung ist im ganzen Jahr zwischen 20 – 30 % (vgl. Abbildung 15-84). Der niedrige Wert kommt dadurch zustande, da ein Teil des produzierten Gases direkt verkauft und nicht vor Ort verstromt wurde. Da nur die Biogasmenge bekannt ist, konnte die Auslastung des Satelliten-BHKW nicht ermittelt werden und somit in der Abbildung 15-84 aufgetragenen Auslastung nicht mit berücksichtigt werden. Eine thermische Auslastung durch Fremdnutzer war am Standort nicht gegeben.

Die Biogasanlage wurde mit einer organischen Raumbelastung von $2,0 \text{ kg}_{\text{oTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ und einer Verweilzeit von 103 Tagen im Fermentersystem gefahren (vgl. Tabelle 15-54). Die Werte liegen in einem mittleren Bereich der untersuchten Anlagen. Eine unvollständige Vergärung aufgrund der Verweilzeit oder der organischen Raumbelastung ist nicht zu erwarten. Sowohl die Essigsäureäquivalente als auch die FOS/TAC-Werte zeigen einen deutlichen Abbau der organischen Substanz in der Fermenterkaskade. Der Abbaugrad der oTS, FoTS und das rel. Restgaspotential deuten ebenfalls auf einen intakten Gärprozess hin.

Tabelle 15-54: Datenblatt der Biogasanlage 19

BGA 19								
Allgemeine Angaben:								
installierte elektrische Leistung	750 kW							
Inbetriebnahme	2009							
Zeitraum der Messphase	09.2016 - 08.2017							
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente							
Gasverwertung	2 VOV-BHKW, 1 Satelliten-BHKW							
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein							
Betriebsform	Einzelhofanlage, Anschluss an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Ackerbau							
Bauliche Anlagen:						Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter	Nachgärer 1	Nachgärer 2	Fermentersystem	Mengenangaben in FM		
Anzahl		1	1	1		Gesamt-Jahresmenge 19.503 [t/a]		
Reaktorvolumen	[m³]	1.526	1.526	2.950	6.002	Gesamt-Tagesmenge 53,4 [t/d]		
Arbeitsvolumen	[m³]	1.400	1.400	2.700	5.500	Grassilage 5,6 [%]		
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend	stehend		Mais-Ganzpflanzensilage 23,6 [%]		
Gasspeichervolumen	[m³]	0	330	1.100	1.430	Pferdemist 4,9 [%]		
Betriebsparameter:						Weizen Getreide und Getreidekorn 0,7 [%]		
						Rindergülle 43,9 [%]		
						Rindermist 10,2 [%]		
						Mischung Roggen und Gerste-Ganzpflanzen: 11,4 [%]		
						Einsatzstoffmix		
						mittlerer TS-Gehalt in FM 23,2 [%]		
						mittlerer oTS-Gehalt in TS 90,0 [%]		
						mittlerer FoTS-Gehalt in TS 61,9 [%]		
						Gärrestlager:		
						Anzahl 1		
						Lagerkapazität gasdicht 7.634 [m³]		
						Lagerkap. nicht gasdicht / offen 0 [m³]		
						Gasspeichervolumen 4.200 [m³]		
						relatives Restmethanpotential 1,8 [%]		
						TS-Gehalt im Gärrest in FM 7,9 [%]		
oTS-Gehalt im Gärrest in TS 69,1 [%]								
Gasverwertung:						Gasproduktion:		
						Messung	nach AKF	
						Gaszusammensetzung		
						[Vol.-%]	CH ₄	52,9
						[Vol.-%]	CO ₂	44,5
						[Vol.-%]	O ₂	0
						[ppm]	H ₂ S	1
						Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix		
							Biogas	Methan
						[m³/t] in FM	133	70
						[m³/t] in oTS	637	337
						Stromproduktion		
						[kWh/d]	4.538	
						[kWh/t]	85	
						Biogasaufbereitung		
						[kWh/d]	10081	
[m³/h]	178							
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas								
Eigenstrombedarf:		Wärmeverwertung:						
	[kWh/a]					[kWh/a]		
BGA gesamt	371.464	22	[% der Stromproduktion]		Eigenbedarf BGA	188.191	11	
davon BHKW	82.690	5	[% der Stromproduktion]				[% der Wärmeproduktion]	

Tabelle 15-55: Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 19 im Wirtschaftsjahr 2017

BGA 19					
installierte elektrische Leistung	750	kW	eingespeiste Strommenge 2017 ¹	5.407.814	kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	713	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	4.000.000	€
Leistungen					
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	31,49	%		361.837	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	0,00	%		-	€/a
Sonstige Erlöse (Rohbiogas)	68,51	%		787.358	€/a
Gesamterlöse	100	%		1.149.195	€/a
Kosten					
Substratkosten	48,91	%		503.288	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>					
Mais	36,76	€/t		245.373	€/a
Gras	31	€/t		32.146	€/a
Restliche NawaRo	57,66	€/t		186.703	€/a
Personalkosten	2,43	%		24.960	€/a
Instandhaltungskosten	8,24	%		84.783	€/a
Abschreibungen ²	21,17	%		217.792	€/a
Sonstige Betriebskosten	19,26	%		198.178	€/a
<i>davon</i>					
Zündöl				-	€/a
Strombezug				80.854	€/a
Miete und Pacht				4.050	€/a
Maschinenmiete und Leasing				-	€/a
Prozessbetreuung und Beratung				-	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben				27.943	€/a
Berufsgenossenschaft				585	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel				-	€/a
Zinszahlungen				38.607	€/a
Buchführung und Verwaltung				-	€/a
Sonstiges				46.139	€/a
Gesamtkosten	100	%		1.029.001	€/a
Bilanz					
Gesamterlöse				21,25	ct/kWh
Stromgestehungskosten				19,03	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				2,22	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				120.194	€/a

¹ eingespeiste Strommenge vor Ort: 1.803.499 kWh; zzgl. rechnerisch ermitteltes Äquivalent von Rohbiogas: 3.604.305 kWh² Bewertungsansatz für Abschreibungen: nach DLG-Standard (DLG, 2010)

15.19 Biogasanlage 20

15.19.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 20 befindet sich im Südwesten von Deutschland und wird in Kooperation von drei Landwirten betrieben. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte 2005. Die Anlage ist 3-stufig aufgebaut, bestehend aus in Reihe geschaltetem Fermenter (2.036 m³), Nachgärer (2.036 m³) und einem gasdicht abgedeckten Gärrestlager (1.710 m³) (vgl. Abbildung 15-85). Die Substratzufuhr erfolgt über einen Feststoffdosierer, welcher alle 20 - 25 Minuten über einen Abschieber dem Fermenter Substrat zuführt. Der Transport des Gärmediums erfolgt per Überlaufprinzip. Im Fermenter sind große langsam laufende Rührwerke, sogenannte „Mississippi-Rührwerke“ und ein Stabrührwerk und im Nachgärer sind zwei Stabrührwerke eingebaut. In allen anderen Behältern sind je zwei Tauchmotorrührwerke installiert.

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases ist das Gärrestlager mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das Gasspeichervolumen beträgt dort 650 m³. Zusätzlich können 400 m³ Gas in einen externen Gasspeicher gespeichert werden, der auf dem Weg zum BHKW immer durchströmt wird. Das produzierte Biogas wird biologisch, chemisch per Eisenchlorid und über einen Aktivkohlefilter entschwefelt. Das Gas wird jeweils abgekühlt und austretendes Kondensat wird abgetrennt. Die Gasverwertung erfolgt durch zwei Gas-Otto-BHKW am Standort. Die Summe der installierten elektrischen Nennleistung vor Ort beträgt 1.000 kW. Der am Standort produzierte Strom wird zum Betrieb von BGA 20 und BGA 21 und einer Trocknung verwendet. Der Überschussstrom wird ins Stromnetz eingeleitet. Die produzierte Wärme wird neben der Beheizung der Gärbehälter auch zur Versorgung des Hofes samt Bürogebäude und für eine Klärschlamm-trocknung verwendet.

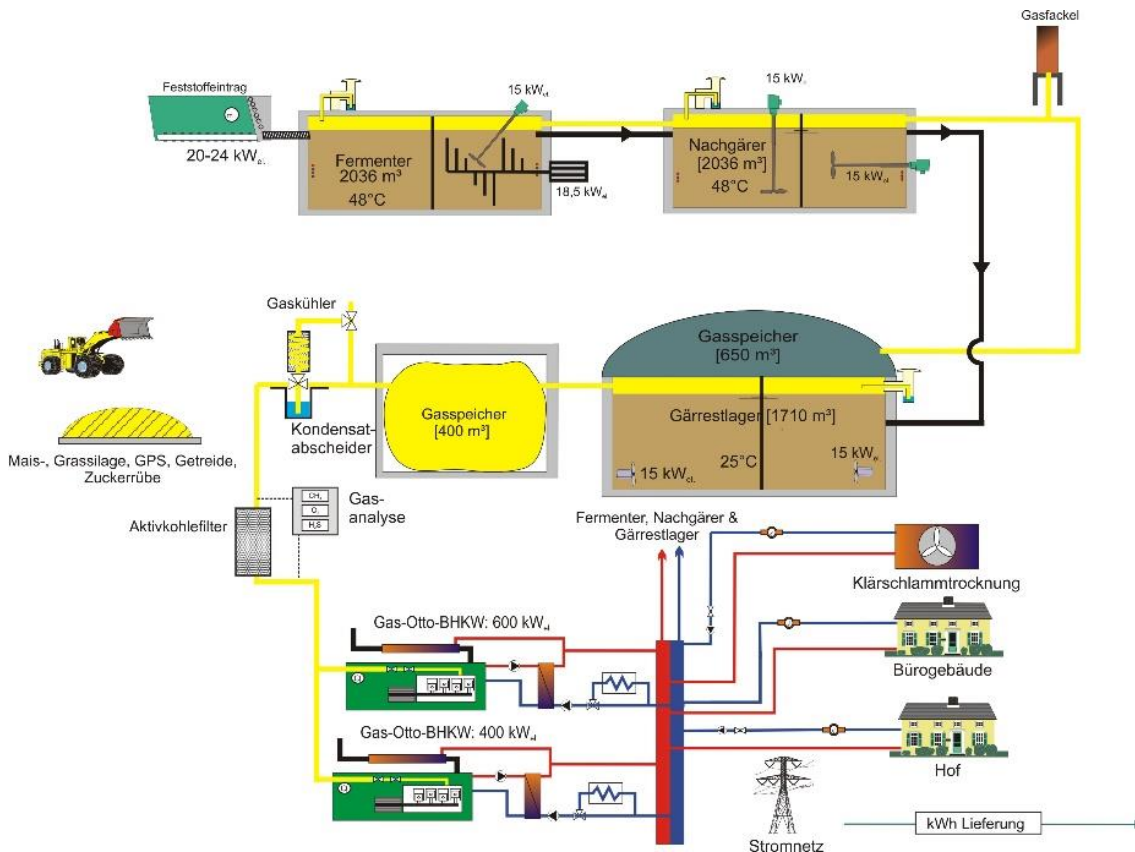


Abbildung 15-85: Anlagenschema BGA 20

15.19.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-56 aufgelistet. Die Einzelkomponenten der Fütterung wurden per Wiegevorrichtung an dem Feststoffeintrag gemessen. Stromzähler sind monatlich ausgelesen worden. Des Weiteren sind täglich Gasmengenzähler und Gasqualität automatisch erfasst und per E-Mail verschickt worden. Die Technik war sehr fehleranfällig und fast in dem kompletten Messzeitraum konnten entweder gar keine oder nur fehlerhafte Daten angezeigt werden. Der Eigenstromverbrauch wurde gemeinsam mit dem Eigenstromverbrauch von BGA 21 erfasst und konnte nicht auseinander gerechnet werden, weshalb keine separaten Werte für beide Anlagen vorliegen. Eigenwärmeverbrauch von Fermenter und Nachgärer wurden monatlich manuell erfasst.

Tabelle 15-56: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 20

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Erfassung per Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag	Einzelmenen gewogen und geloggt
Flüssige Einsatzstoffe	Nicht gemessen	Kein flüssiger Eintrag
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S	Täglich geloggt und per E-Mail verschickt
Gaszähler	Je BHKW Volumenstromzähler;	sehr fehleranfällig, an den meisten Tagen nicht funktionsfähig
Stromzähler	Zähler am BHKW	Monatlich Aufschrieb per Excel
Eigenstromverbrauch	Nicht gemessen	
Eigenwärmeverbrauch	Für Fermenter, Nachgärer	monatliche Erfassung

Die Probennahme des Gärsubstrats erfolgte jeweils über einen Probehahn. Das Gärrestlager konnte nur über das Umpumpen in einen Zwischenschacht beprobt werden. Mais-, Gras- und Triticale-Ganzpflanzensilage wurden gemeinsam siliert. Die Probennahme erfolgte für jedes Substrat separat.

15.19.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 20 wurde im Zeitraum von September 2016 bis August 2017 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurden vorwiegend Maissilage (45 %), Grassilage (23 %) und Ganzpflanzensilage (23 %), sowie zeitweise Anteile and Getreideschrot (2 %), Feuchtmals (1 %), also Mais der nicht siliert wurde und Zuckerrübe (5 %) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-86). Die mittlere tägliche Fütterungsmenge betrug 30,6 t/d.

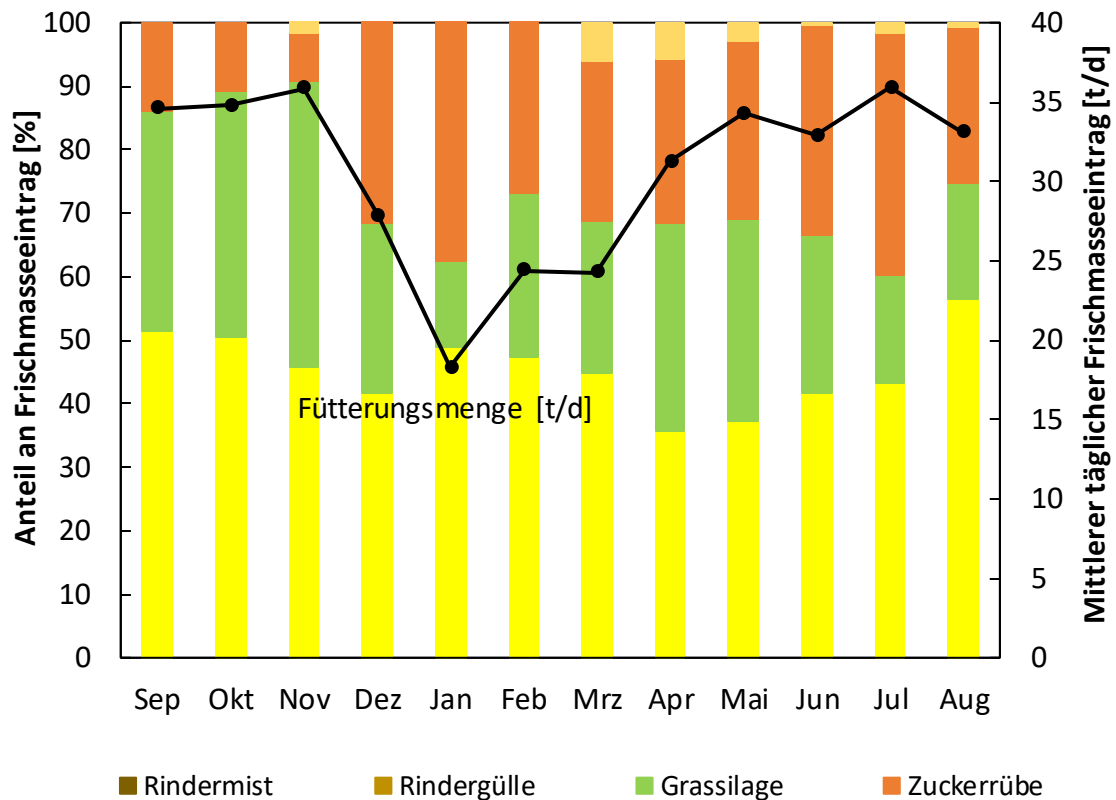


Abbildung 15-86: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Der FOS/TAC-Wert im Fermenter war stabil unterhalb von 0,3 über den kompletten Messzeitraum (vgl. Abbildung 15-87), sodass von keiner biologischen Hemmung auszugehen ist.

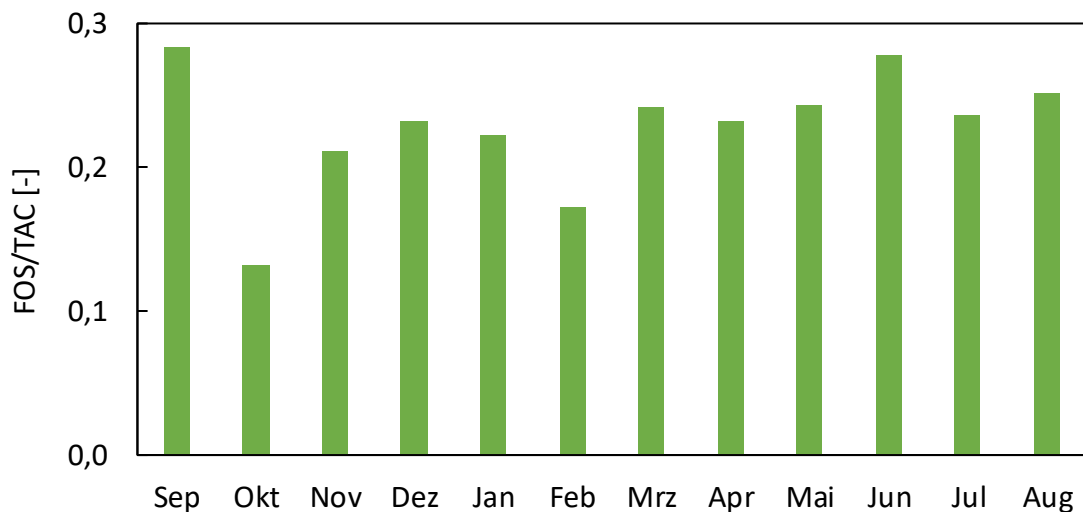


Abbildung 15-87: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter

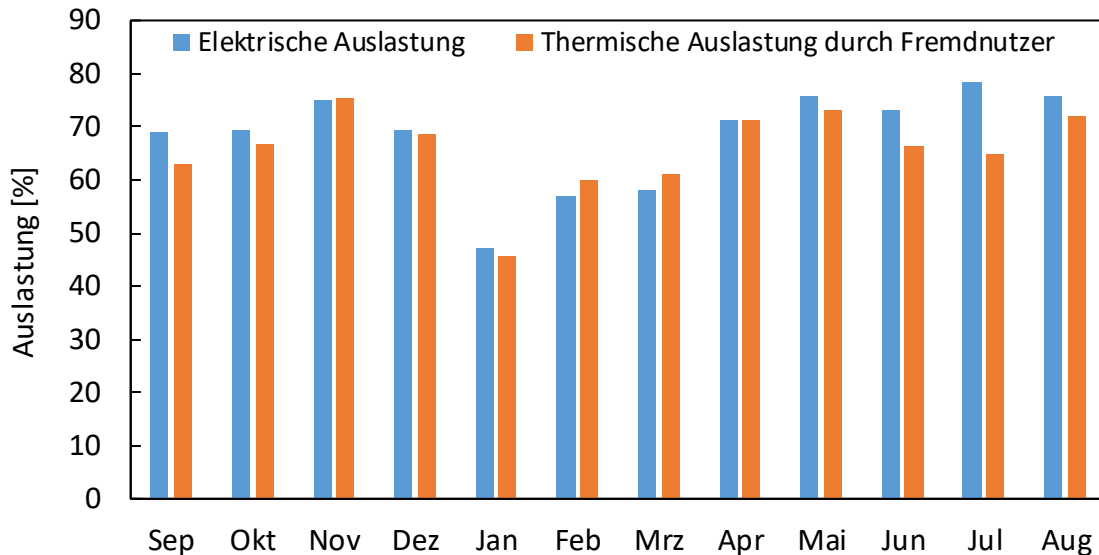


Abbildung 15-88: Elektrische Auslastung und Thermisch Auslastung bezogen auf die installierte Leistung

Die elektrische Auslastung der BHKW bezogen auf die installierte Leistung war im Jahresdurchschnitt mit 65 % aufgrund der Überbauung vergleichsweise gering (vgl. Abbildung 15-88). Bezogen auf die Höchstbemessungsleistung bedeutet dies allerdings eine sehr hohe elektrische Auslastung von mehr als 98%. Die Auslastung variierte dabei nur leicht mit Ausnahme vom Januar, in dem auch weniger Substrat gefüttert wurde. Die erzeugte elektrische Leistung bezieht sich dabei auf die Zählerstände der BHKW, da die Abrechnung vom Netzbetreiber nicht vorlag. Somit erfolgte der Bezug an dieser Stelle nicht mit der eingespeisten Strommenge, sondern mit erzeugter Strommenge (Eigenstrombedarf, der nicht eingespeist wird, ist inklusive). Die thermische Auslastung durch Fremdnutzer liegt im Jahresdurchschnitt bei 66 % und damit sogar leicht höher als die elektrische Auslastung. Diese hohe Wärmenutzung über das ganze Jahr ist aufgrund der Klärschlamm-trocknung gegeben. Da Biogasanlage 20 und 21 gemeinsam betrieben werden, ist eine klare Abtrennung der Wärmemengen nicht möglich.

Die Biogasanlage wurde mit einer organischen Raumbelastung von $2,5 \text{ kg}_{\text{oTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ und einer Verweilzeit von 133 Tagen im Fermentersystem gefahren (vgl. Tabelle 15-57). Die Werte liegen in einem durchschnittlichen Bereich, bzw. die Verweilzeit im beheizten System ist überdurchschnittlich lang. Somit ist von einer vollständigen Vergärung auszugehen. Dies wird unterstützt durch die hohen Werte von der oTS- und FoTS-Ausbeute als auch vom niedrigen rel. Restgaspotential.

Tabelle 15-57: Datenblatt der Biogasanlage 20

BGA 20						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	1.000 kW					
Inbetriebnahme	2005					
Zeitraum der Messphase	09.2016 - 08.2017					
Einsatzstoffe	NawaRo					
Gasverwertung	2 VOV-BHKW					
Erhalt Flexibilitätsprämie	ja					
Betriebsform	Gemeinschaftsanlage mit 3 Betreibenden					
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM	
Anzahl		1	1		Gesamt-Jahresmenge	11.151 [t/a]
Reaktorvolumen	[m³]	2.262	2.260	4.522	Gesamt-Tagesmenge	30,6 [t/d]
Arbeitsvolumen	[m³]	2.036	2.036	4.072	Getreide insg. Getreide und Getr	2,3 [%]
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend		Grassilage	28,6 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	0	0	0	Mais-Ganzpflanzensilage	45,5 [%]
					Triticale-Ganzpflanzensilage	22,9 [%]
Betriebsparameter:					Zuckerrübe	4,0 [%]
TS-Gehalt in FM	[%]	10,4	8,5		Feuchtmals	1,0 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	77,3	73,4		Einsatzstoffmix	
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			2,5 _{FS}	mittlerer TS-Gehalt in FM	34,3 [%]
Verweilzeit	[d]			133 _{FS}	mittlerer oTS-Gehalt in TS	98,8 [%]
oTS-Abbau	[%]			88 _{GSV}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	67,8 [%]
FoTS-Ausbeute	[%]			131 _{GSV}		
CH ₄ -Produktivität	[m³ / (m³ d)]			1,0 _{FS}	Gärrestlager:	
BG-Produktivität	[m³ / (m³ d)]			1,8 _{FS}	Anzahl	1
pH	[-]	8,0	8,1		Lagerkapazität gasdicht	1.710 [m³]
Temperatur	[°C]	45	43		Lagerkap. nicht gasdicht / offen	0 [m³]
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	3,7	4,4		Gaspeichervolumen	1.050 [m³]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	5,8	5,9		relatives Restmethanpotential	1,4 [%]
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	368	306		TS-Gehalt im Gärrest in FM	8,0 [%]
FOS/TAC	[-]	0,23	0,20		oTS-Gehalt im Gärrest in TS	68,5 [%]
Gasverwertung:				Gasproduktion:		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	76			Messung	nach AKF
					Gaszusammensetzung	
					[Vol-%]	CH ₄ 52,8
					[Vol-%]	CO ₂ -
					[Vol-%]	O ₂ -
					[ppm]	H ₂ S -
					Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix	
						Biogas Methan
Motortyp		BHKW 1	BHKW 2		[m³/ t] in FM	241 127
elektr. Nennleistung	[kW]	GO	GO		[m³/t] in oTS	710 375
therm. Nennleistung	[kW]	600	400		Stromproduktion	
elektr. Wirkungsgrad	[%]	42,5	42,5		[kWh/d]	15.570
therm. Wirkungsgrad	[%]	40,0	40,0		[kWh/t]	510
Betriebsweise BHKW	[-]	Dauer	Start-Stop			
Jahresbetriebsstunden	[h/a]					
theor. Volllaststunden*	[h/a]	1.557				
elektr. Arbeitsausnutzung*	[%]	65				
* Durchschnitt für beide BHKW GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas						
Eigenstrombedarf:				Wärmeverwertung:		
				[kWh/a]		
wird nicht erfasst				Eigenbedarf BGA	932.742	17 [% der Wärmeproduktion]
				Trocknung	5.169.420	97 [% der Wärmeproduktion]
				Wohnhäuser	243.902	5 [% der Wärmeproduktion]