

15.20 Biogasanlage 21

15.20.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 21 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 geschalteten Fermenter (2.036 m³), Nachgärer (2.036 m³) und zwei Gärrestlagern (2.389 m³ und 5.598 m³) (vgl. Abbildung 15-89). Vor Gärrestlager 2 wird das Gärsubstrat per Separator in fest/flüssig getrennt und nur das flüssige Gärsubstrat wird in Gärrestlager 2 gelagert.

Die Substratzufuhr erfolgt über einen Feststoffdosierer, welcher alle 20-25 Minuten über eine Mischschnecke und eine Zuführschnecke dem Fermenter Substrat zuführt. Flüssige Einsatzstoffe werden über eine Güllepumpe direkt in den Fermenter eingebracht. Der Transport des Gärmediums erfolgt per Überlaufprinzip. Im Fermenter sind identisch zu BGA 20 ein Mississippi-Rührwerk und ein Stabrührwerk eingebaut. In allen anderen Behältern sind je zwei Tauchmotorrührwerke installiert.

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases sind Nachgärer, Gärrestlager 1 und Gärrestlager 2 mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das Gasspeichervolumen beträgt 2.200 m³. 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 drei Gas-Otto-BHKW. Die installierte elektrische Nennleistung vor Ort beträgt 800 kW und extern 550 kW. Der produzierte Strom wird vollständig ins Stromnetz eingeleitet. Der Eigenstromverbrauch wird von BGA 20 gedeckt. Die produzierte Wärme wird neben der Beheizung der Gärbehälter auch zur Versorgung des Hofes samt Bürogebäude, eines Einkaufszentrums und für eine Klärschlamm-trocknung verwendet.

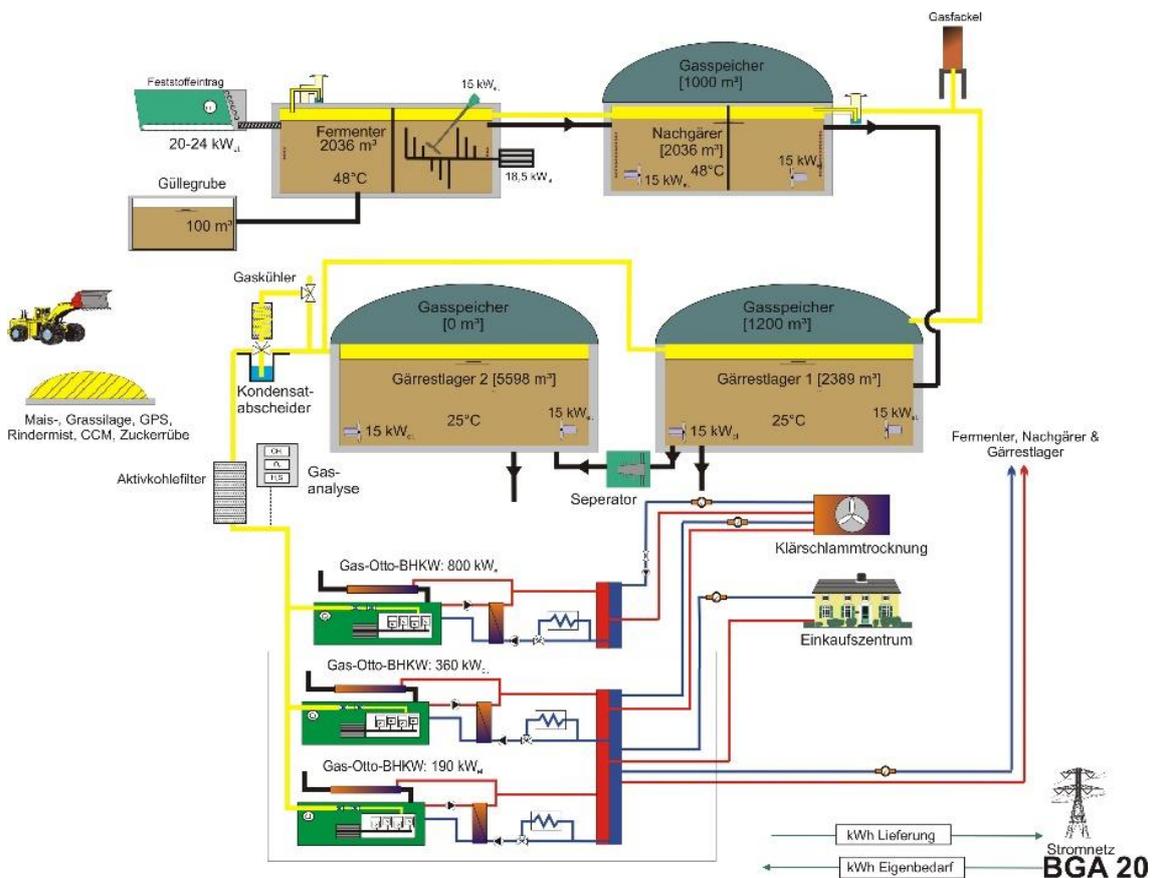


Abbildung 15-89: Anlagenschema BGA 21

15.20.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-58 aufgelistet. Die einzelnen Substrate werden per Wiegevorrichtung an dem Feststoffeintrag gemessen und können täglich ausgelesen werden. Die Stromzähler hingegen werden nur monatlich ausgelesen. Des Weiteren sind täglich Gasmengen und Gasqualität automatisch erfasst und per E-Mail verschickt worden. Die Technik war aber im Messzeitraum sehr fehleranfällig und fast in dem kompletten Messzeitraum konnten entweder gar keine oder nur fehlerhafte Daten angezeigt werden. Der Eigenstromverbrauch wird nur mit dem Eigenstromverbrauch der BGA 20 erfasst und kann nicht auseinander gerechnet werden, weshalb kein separater Wert vorliegt. Der Eigenwärmeverbrauch von Fermenter und Nachgärer werden monatlich manuell erfasst.

Tabelle 15-58: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 21

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Erfassung per Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag	Einzelmenngen gewogen und geloggt
Flüssige Einsatzstoffe	Erfassung mit Durchflusszähler	Täglich erfasst
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S	Täglich geloggt und per E-Mail verschickt
Gaszähler	Je BHKW Volumenstromzähler;	sehr fehleranfällig, meist nicht funktionsfähig
Stromzähler	Zähler am BHKW	Monatlich aufgeschrieben per Excel
Eigenstromverbrauch	Nicht gemessen	
Eigenwärmeverbrauch	Für Fermenter, Nachgärer	monatliche Erfassung

Die Probennahme des Fermenters erfolgte über einen Probehahn. Für die Probennahme des Nachgärers und des Gärrestlagers musste das Gärsubstrat jeweils in einen Zwischenschacht umgepumpt werden.

15.20.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 21 wurde im Zeitraum von September 2016 bis August 2017 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurden vorwiegend Mais-Ganzpflanzensilage (18 %), Rindergülle (28 %), Rindermist (30 %) und Zuckerrübe (14 %) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-90). Des Weiteren sind Triticale-Ganzpflanzensilage (3 %) und Grassilage (4 %) gefüttert worden. Die mittlere tägliche Fütterungsmenge betrug 56,5 t/d.

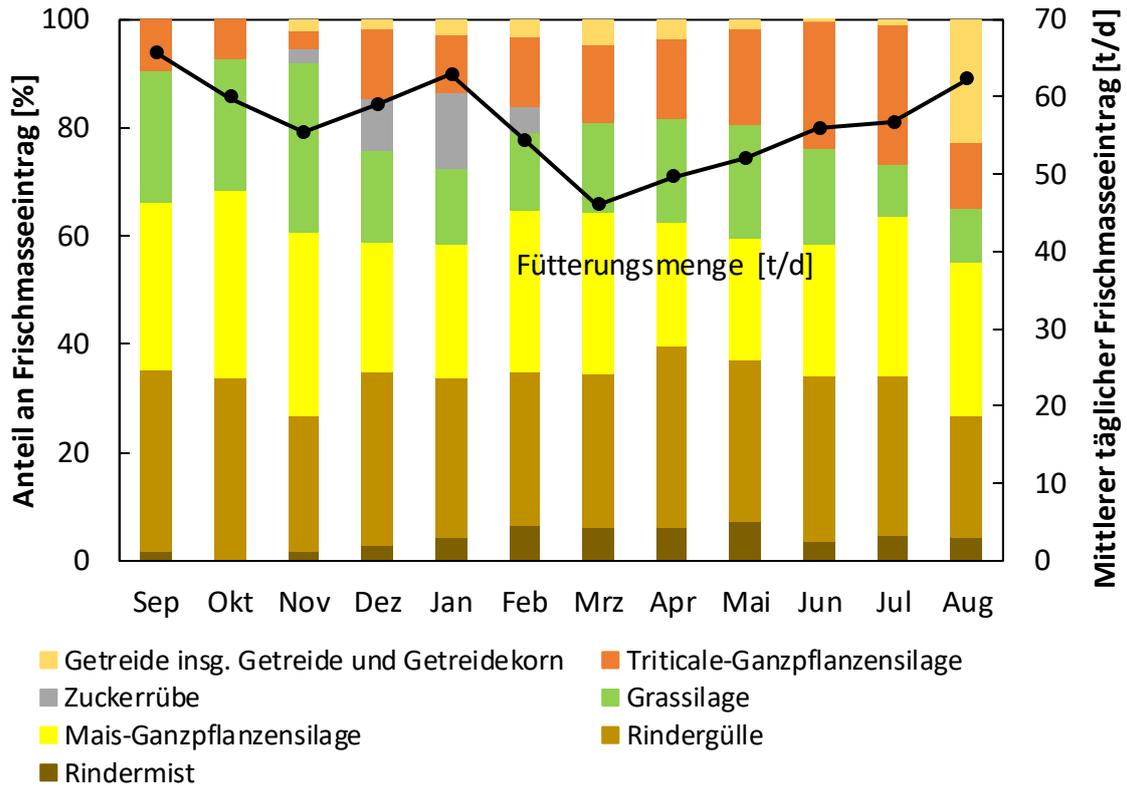


Abbildung 15-90: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Im Mai 2017 erhöhte sich der Trockensubstanzgehalt im Fermenter. Als Gegenmaßnahme hat der Landwirt entschieden Enzyme hinzugegeben. Effekte wurden anhand der im BMP III erhobenen Parameter nicht erkannt.

Der FOS/TAC-Wert im Fermenter war stabil unterhalb von 0,3 über den kompletten Messzeitraum (vgl. Abbildung 15-91), sodass von keiner biologischen Hemmung auszugehen ist, was im Widerspruch zum Eindruck des Betreibers stand.

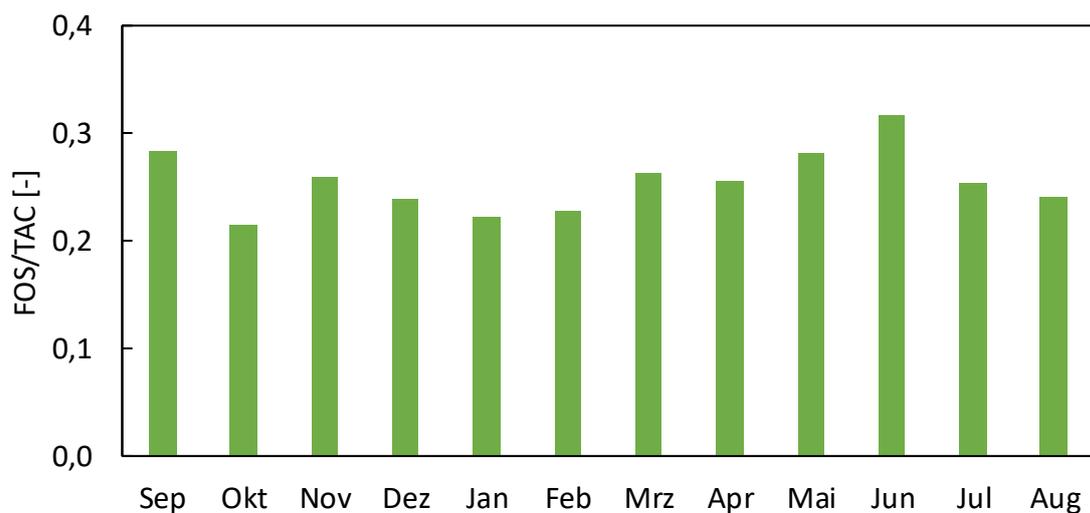


Abbildung 15-91: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter

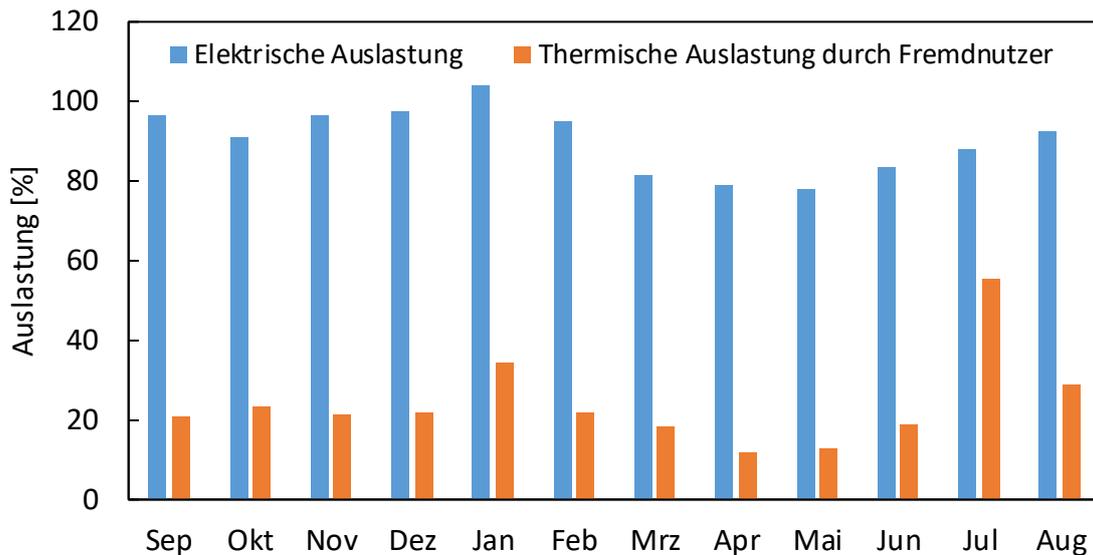


Abbildung 15-92: Elektrische Auslastung und Thermisch Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung

Die elektrische Auslastung der BHKW beträgt im Jahresdurchschnitt 90 % (vgl. Abbildung 15-92). Die thermische Auslastung durch Fremdnutzer, bzw. der Trocknungsanlage liegt im Jahresdurchschnitt bei 24%. Die Bereitstellung der Prozesswärme von BGA 20 und der Eigenwärmebedarf ist dabei nicht berücksichtigt. Dieser beläuft sich auf 28 % der Wärmeproduktion im Jahresdurchschnitt, so dass ca. 52 % der Wärme der Anlage genutzt werden.

Die Biogasanlage war mit einer organischen Raumbelastung von $3,3 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ und einer Verweilzeit von 72 Tagen im Fermentersystem gefahren (vgl. Tabelle 15-59). Die Raumbelastung ist vergleichsweise leicht höher und die Verweilzeit etwas kürzer als der Durchschnitt. Beides sollte allerdings unkritisch sein. Dies wird mit den Werten der FOS/TAC, der Essigsäureäquivalent und des relativen Restgaspotentials unterstützt.

Tabelle 15-59: Datenblatt der Biogasanlage 21

BGA 21					
Allgemeine Angaben:					
installierte elektrische Leistung	1.405 kW				
Inbetriebnahme	2008				
Zeitraum der Messphase	09.2016 - 08.2017				
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkrememente				
Gasverwertung	1 VOV-BHKW, 2 Satelliten-BHKW				
Erhalt Flexibilitätsprämie	ja				
Betriebsform	Gemeinschaftsanlage mit 3 Betreibenden				
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:	
Benennung	Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM	
Anzahl	1	1		Gesamt-Jahresmenge	20.627 [t/a]
Reaktorvolumen	[m³] 2.262	2.260	4.522	Gesamt-Tagesmenge	56,5 [t/d]
Arbeitsvolumen	[m³] 2.036	2.036	4.072	Grassilage	3,6 [%]
stehend / liegend	[-] stehend	stehend		Mais-Ganzpflanzensilage	18,3 [%]
Gasspeichervolumen	[m³] 0	1.000	1.000	Rindergülle	28,2 [%]
				Rindermist	29,8 [%]
				Zuckerrüben	13,6 [%]
				Grünroggensilage	2,7 [%]
Betriebsparameter:				Einsatzstoffmix	
TS-Gehalt in FM	[%] 11,0	8,6		mittlerer TS-Gehalt in FM	25,5 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%] 75,1	73,5		mittlerer oTS-Gehalt in TS	93,1 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]		3,3 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	66,8 [%]
Verweilzeit	[d]		72 _{FS}	Gärrestlager:	
oTS-Abbau	[%]		79 _{GSY}	Anzahl	2
FoTS-Ausbeute	[%]		92 _{GSY}	Lagerkapazität gasdicht	7.987 [m³]
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]		1,2 _{FS}	Lagerkap. nicht gasdicht / offen	0 [m³]
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]		2,2 _{FS}	Gaspeichervolumen	1.200 [m³]
pH	[-] 8,0	8,1		relatives Restmethanpotential	3,1 [%]
Temperatur	[°C] 45	44		TS-Gehalt im Gärrest in FM	8,68 [%]
NH ₄ -N in FM	[g/kg] 3,4	4,4		oTS-Gehalt im Gärrest in TS	68,82 [%]
N _{ges} -N in FM	[g/kg] 5,5	6,0		Gasproduktion:	
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l] 472	241		Messung	
FOS/TAC	[-] 0,26	0,21		Gaszusammensetzung	
Gasverwertung:				[Vol-%]	CH ₄ 53,0
Netto-Methannutzungsgrad	[%] 63			[Vol-%]	CO ₂ -
				[Vol-%]	O ₂ -
				[ppm]	H ₂ S -
				Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix	
					Biogas Methan
				[m³/t] in FM	252 134
				[m³/t] in oTS	1.062 563
				Stromproduktion	
				[kWh/d]	29.507
				[kWh/t]	522
Wärmeverwertung:					
				[kWh/a]	
				Eigenbedarf BGA	605.280 5 [% der Wärmeproduktion]
				Trocknung	2.805.000 24 [% der Wärmeproduktion]

15.21 Biogasanlage 22

15.21.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 22 befindet sich im mittleren Südwesten von Deutschland und ist angeschlossen an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit eigenem Ackerbau und Mutterkühen, Mutterschafen, Schweine, Gänse und Puten. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte 2007 und die Vergütung erfolgt nach EEG 2009. Die Anlage ist 3-stufig aufgebaut, bestehend aus in Reihe geschalteten Fermenter (1.106 m³), Nachgärer (1.106 m³) und einem Gärrestlager (1.106 m³). Des Weiteren existiert noch ein nicht abgedecktes Gärrestlager mit 1.720 m³ (vgl. Abbildung 15-93). Vom Nachgärer und vom abgedeckten Gärrestlager kann jeweils Material per Separator in fest/flüssig getrennt werden.

Die Substratzufuhr erfolgt über einen Feststoffdosierer, welcher alle 30 Minuten über eine Zuführschnecke dem Fermenter Substrat zuführt. Das Substrat wird mittels Querstromzersetzer zerkleinert. Der Transport des Gärmediums erfolgt per Überlaufprinzip. Im Fermenter sind ein Stabrührwerk und ein Tauchmotorrührwerk und im Nachgärer zwei Tauchmotorrührwerke installiert. Des Weiteren ist im Gärrestlager ein Tauchmotorrührwerk eingebaut.



Abbildung 15-93: Container Trocknung von Gewürzen

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases sind der Nachgärer und das Gärrestlager mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das Gasspeichervolumen beträgt 2.212 m³. Das produzierte Biogas wird biologisch und über einen Aktivkohlefilter entschwefelt. Das Gas wird vor dem Aktivkohlefilter abgekühlt und ausgetretendes Kondensat wird abgetrennt. Die Gasverwertung erfolgt durch zwei Gas-Otto-BHKW am Standort. Die Summe der installierten elektrischen Nennleistung beträgt 384 kW. Der produzierte Strom wird vollständig eingespeist. Die produzierte Wärme wird neben der Beheizung der Gärbehälter auch zur Versorgung des Hofes, der Wohnhäuser und einer Trocknung von Kräutern verwendet.

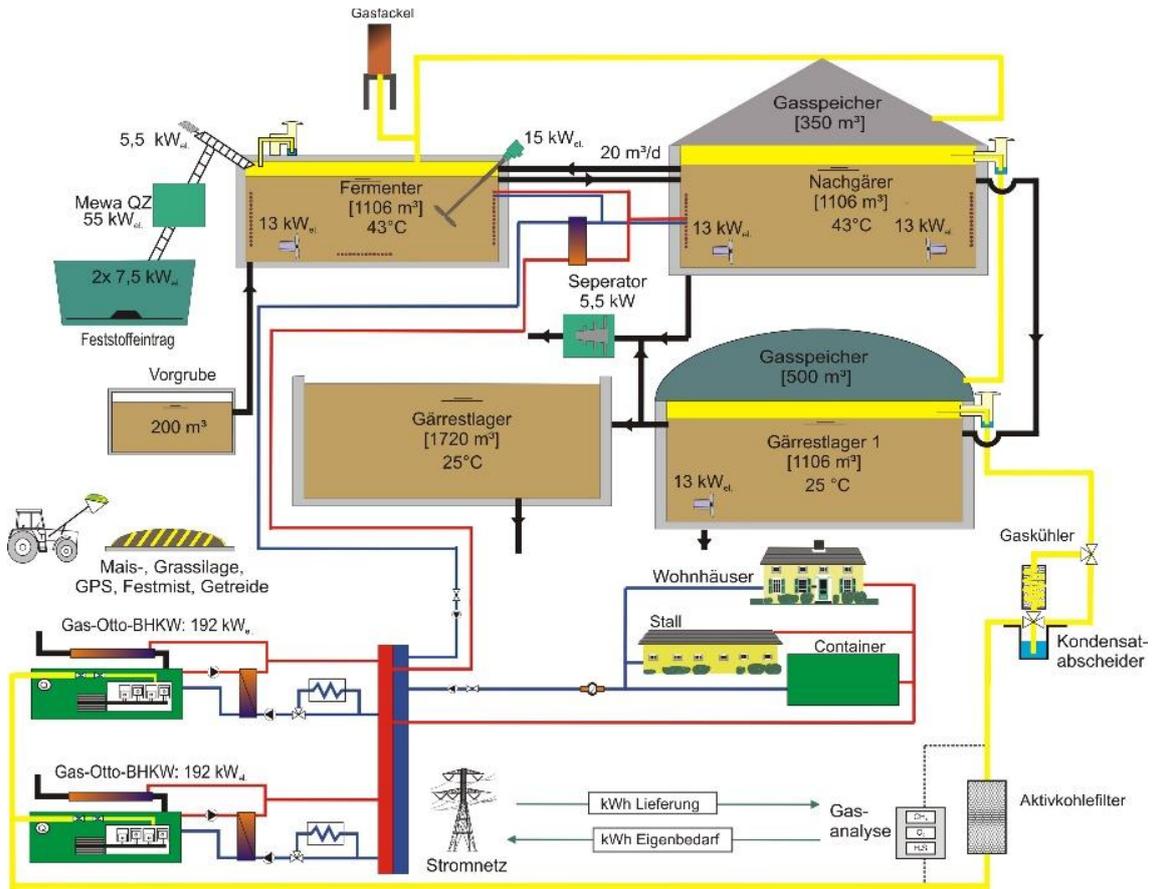


Abbildung 15-94: Anlagenschema BGA 22

15.21.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-60 aufgelistet. Die Substrate werden per Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag erfasst und per Hand jeweils anschließend im Fütterungstagebuch festgehalten. Stromzähler, Gasqualität und Gaszähler werden täglich morgens bei einer Kontrollrunde abgelesen und notiert. Die absoluten Werte des Gaszählers zeigten verglichen mit dem auf Basis des produzierten Stroms zu erwarteten Gasmengen zu geringe Werte an und wurden daher nicht verwendet. Zudem war von Dezember bis Ende März eine Gasqualitätsmessung nicht möglich, da das Messgerät kaputt war und eingeschickt wurde.

Tabelle 15-60: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 22

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Erfassung per Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag	Täglich per Hand aufgeschrieben
Flüssige Einsatzstoffe	keine	Wird nicht gefüttert
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S	Täglich per Hand aufgeschrieben
Gaszähler	Je BHKW Volumenstromzähler;	Täglich per Hand aufgeschrieben; große Abweichungen zu den berechneten Mengen
Stromzähler	Zähler am BHKW	Täglich per Hand aufgeschrieben
Eigenstromverbrauch	Zähler für mehrere Komponenten und Stromabrechnung	Monatlich per Hand aufgeschrieben
Eigenwärmeverbrauch	Keine Erfassung	

Die Probenahme der Behälter erfolgte jeweils über die Rezirkulation der Flüssigfütterung. Mais-Ganzpflanzen- und Grassilage, als auch Gras- und Ganzpflanzensilage wurden in einem Mischsilo siliert. Die Protokollierung im Einsatzstofftagebuch erfolgte allerdings getrennt. Synchron dazu wurden die Proben von allen Substraten ebenfalls getrennt gezogen.

15.21.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 22 wurde im Zeitraum von September 2016 bis August 2017 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurden vorwiegend Rindermist (38 %), Grassilage (22 %) und Triticale-Ganzpflanzensilage (20 %), sowie Maissilage (10 %), Getreide (5 %) und Zuckerhirse (5 %) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-95). Die mittlere tägliche Fütterungsmenge betrug 21,3 t/d. 50 t/d an Gärsubstrat wurden zudem rezirkuliert.

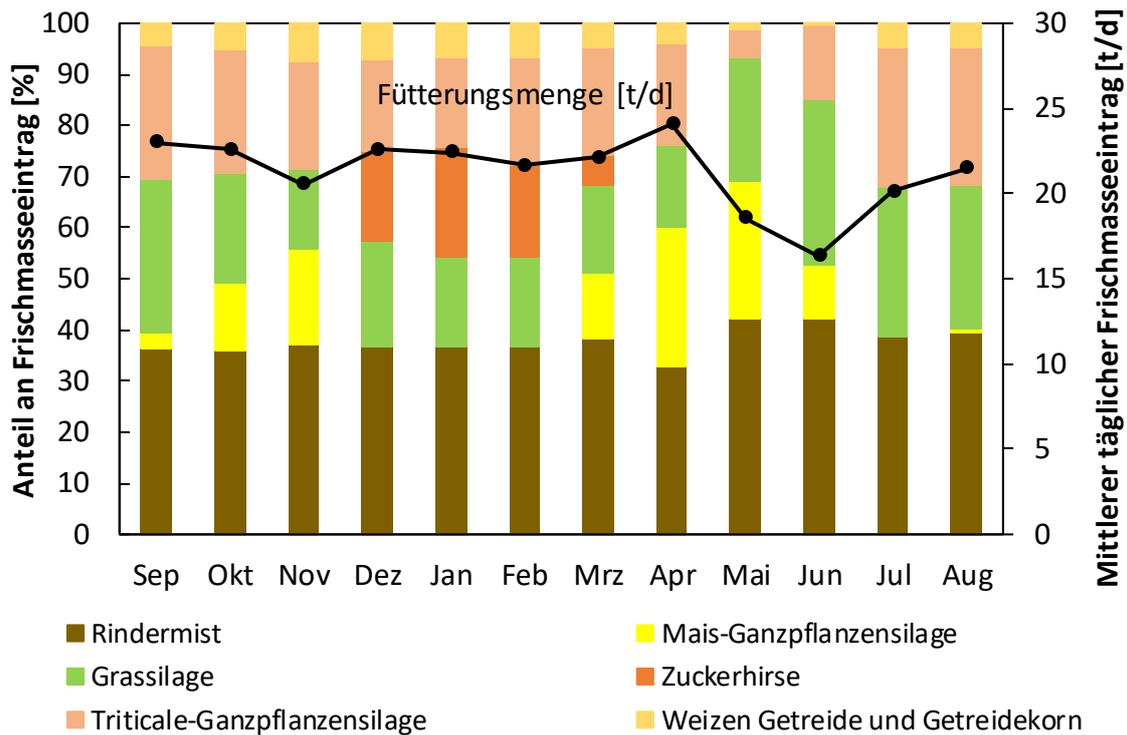


Abbildung 15-95: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Allerdings gab es des Öfteren kurze wartungsbedingte Ausfälle, wie z. B. der kurzzeitige Ausfall von einigen Pumpen und des Querstromzersetters (QZ) im Oktober 2016 oder der Ausfall eines BHKW für mehrere Stunden im Juli 2017. Aufgrund von verstopften Leitungen konnte zudem im Juni und Juli keine Fermenterprobe gezogen werden. In dem restlichen Untersuchungszeitraum war der FOS/TAC-Wert des Fermenters konstant und stets unterhalb von 0,3 (vgl. Abbildung 15-96).

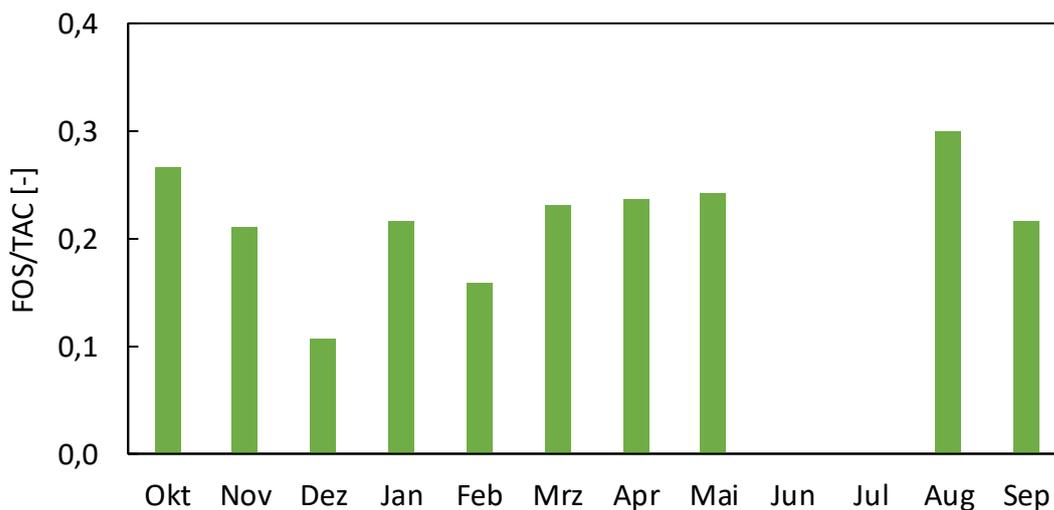


Abbildung 15-96: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter

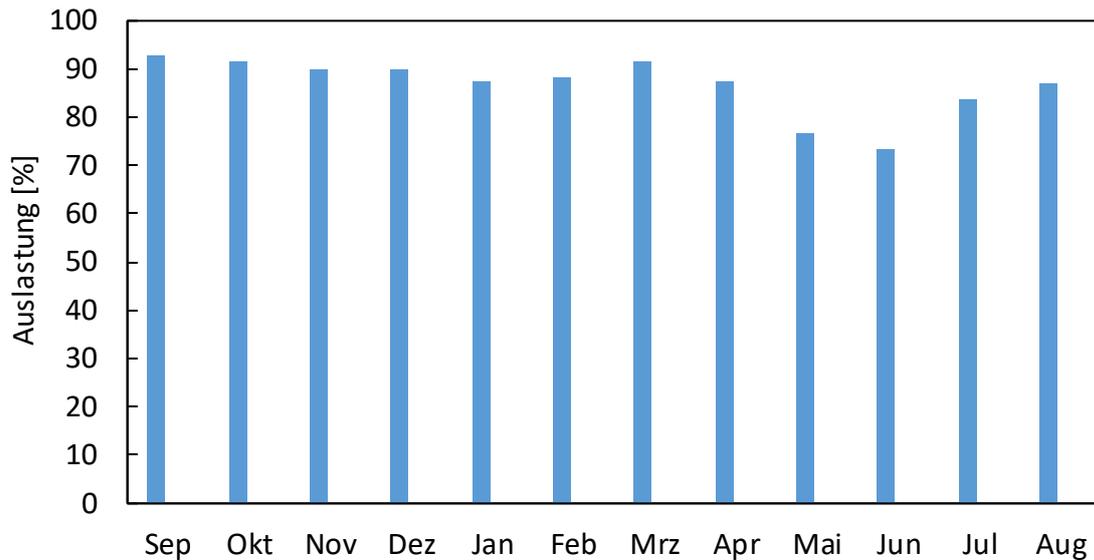


Abbildung 15-97: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung

Die elektrische Auslastung der BHKW betrug im Jahresdurchschnitt 86 % der Höchstbemessungsleistung (vgl. Abbildung 15-97). Nur im Mai und Juni 2017 sank die Auslastung unter 80 %, was auf Ausfälle der BHKW rückführbar ist. Die thermische Auslastung durch Fremdnutzer liegt im Jahresdurchschnitt bei 40 %. Dabei sind die Beheizung von Wohnhäusern und der Wärmeverbrauch der Trocknung von Kräutern, die zeitweise stattfand, zusammengefasst. Eine bildliche Darstellung des Monatsverlaufs war nicht möglich, da die Zähler nur einmal im Jahr abgelesen wurden.

Die Biogasanlage wurde mit einer organischen Raumbelastung von $3,1 \text{ kg}_{\text{oTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ und einer Verweilzeit von 104 Tagen im Fermentersystem gefahren (vgl. Tabelle 15-61). Beide Parameter liegen im Durchschnitt der Anlagen. Probleme bei dieser Fahrweise sind nicht zu erwarten. Dies wird durch die geringen Essigsäureäquivalente, FOS/TAC-Werte, hohen oTS-Abbau und hohe FoTS-Ausbeute unterstrichen. Das rel. Restgaspotential ist mit 1,8 % sehr gering.

Tabelle 15-61: Datenblatt der Biogasanlage 22

BGA 22						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	380 kW					
Inbetriebnahme	10.2007					
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 Tierhaltung und Ackerbau					
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM	
Anzahl		1	1		Gesamt-Jahresmenge	7.751 [t/a]
Reaktorvolumen	[m ³]	1.200	1.200	2.400	Gesamt-Tagesmenge	21,2 [t/d]
Arbeitsvolumen	[m ³]	1.106	1.106	2.212	Grassilage	22,3 [%]
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend		Mais-Ganzpflanzensilage	9,4 [%]
Gasspeichervolumen	[m ³]	0	350	350	Rindermist	37,7 [%]
Betriebsparameter:				Einsatzstoffmix		
TS-Gehalt in FM	[%]	11,4	9,7		Weizen Getreide und Getreidekc	4,9 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	72,3	71,0		Triticale-Ganzpflanzensilage	20,6 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m ³ d)]			3,1 _{FS}	Zuckerhirse	5,4 [%]
Verweilzeit	[d]			104 _{FS}	Einsatzstoffmix	
oTS-Abbau	[%]			85 _{GSV}	mittlerer TS-Gehalt in FM	36,2 [%]
FoTS-Ausbeute	[%]			112 _{GSV}	mittlerer oTS-Gehalt in TS	89,2 [%]
CH ₄ -Produktivität	[m ³ /(m ³ d)]			1,0 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	59,3 [%]
BG-Produktivität	[m ³ /(m ³ d)]			1,9 _{FS}	Gärrestlager:	
pH	[-]	7,5	7,5		Anzahl	2
Temperatur	[°C]	43	42		Lagerkapazität gasdicht	1.106 [m ³]
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,5	2,5		Lagerkap. nicht gasdicht / offen	1.720 [m ³]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	4,6	4,5		Gasspeichervolumen	500 [m ³]
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	153	133		relatives Restmethanpotential	1,7 [%]
FOS/TAC	[-]	0,22	0,22		TS-Gehalt im Gärrest in FM	9,7 [%]
Gasverwertung:				Gasproduktion:		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	54		Messung vor AKF		
		BHKW 1	BHKW 2	Gaszusammensetzung		
Motortyp		GO	GO	[Vol-%]	CH ₄	51,2
elektr. Nennleistung	[kW]	192	192	[Vol-%]	CO ₂	43,3
therm. Nennleistung	[kW]	230	230	[Vol-%]	O ₂	0
elektr. Wirkungsgrad	[%]	38,0	38,0	[ppm]	H ₂ S	19
therm. Wirkungsgrad	[%]	45,5	45,5	Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix		
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast	Volllast			
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	8.588	7.371		Biogas	Methan
theor. Volllaststunden	[h/a]	7.510	6.641	[m ³ /t] in FM	197	101
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	86	76	[m ³ /t] in oTS	610	312
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas				Stromproduktion		
Eigenstrombedarf:				Wärmeverwertung:		
BGA gesamt	[kWh/a]	350.824	13 [% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	[kWh/a]	400.000
				Trocknung + Wohnhäuser	1.630.000	12 [% der Wärmeproduktion]
						49 [% der Wärmeproduktion]

Tabelle 15-62: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 22 im Jahr 2017

BGA 22				
installierte elektrische Leistung	384	kW	eingespeiste Strommenge 2017	2.565.923 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	365	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	1.739.000 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	93,69	%	594.154	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	6,31	%	40.000	€/a
Sonstige Erlöse	0,00	%	-	€/a
Gesamterlöse	100	%	634.154	€/a
Kosten				
Substratkosten	34,83	%	185.072	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	35,70	€/t	28.060	€/a
Gras	30	€/t	52.260	€/a
Restliche NawaRo	33,13	€/t	51.454	€/a
Personalkosten	3,76	%	20.000	€/a
Instandhaltungskosten	20,74	%	110.200	€/a
Abschreibungen	18,20	%	96.721	€/a
Sonstige Betriebskosten	22,45	%	119.300	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug			59.531	€/a
Miete und Pacht			84	€/a
Maschinenmiete und Leasing			1.820	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			2.400	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			13.494	€/a
Berufsgenossenschaft			280	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			5.097	€/a
Zinszahlungen			25.010	€/a
Buchführung und Verwaltung			-	€/a
Sonstiges			11.584	€/a
Gesamtkosten	100	%	531.294	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			24,71	ct/kWh
Stromgestehungskosten			20,71	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			4,01	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			102.860	€/a

15.22 Biogasanlage 23

15.22.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 23 befindet sich im Südwesten von Deutschland, wird von einer Kapitalgesellschaft betrieben und nach EEG 2009 vergütet. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte 2006. Die Anlage ist 3-stufig aufgebaut, bestehend aus zwei parallel geschalteten Fermentern (jeweils 1.272 m³) und anschließend in Reihe geschalteten Nachgärer 1 (1.901 m³) und Nachgärer 2 (1.901 m³), sowie einem Gärrestlager (4.948 m³), in dem nach einer Separation nur der flüssige Anteil des Gärrestes eingeleitet wird (vgl. Abbildung 15-98). Zwischen den Fermentern und Nachgärer 1 wird zudem das Gärsubstrat über einen Kocher, geleitet. Im Kocher wird das Gärsubstrat erhitzt und zurück in den Fermenter rezirkuliert.

Die Substratzufuhr erfolgt über einen Feststoffdosierer, welcher alle 15 Minuten mittels Abschieber und Zufuhrschnecke dem Fermenter Substrat zuführt. Der Transport des Gärmediums erfolgt per Pumpe. In den Fermentern und Nachgärern sind jeweils zwei Paddelrührwerke und im Gärrestlager ein Tauchmotorrührwerk installiert.

Zur Zwischenspeicherung des produzierten Biogases sind alle Behälter mit einer Doppelmembrangasspeicherfolie abgedeckt. Das Gasspeichervolumen beträgt 8.074 m³. Das produzierte Biogas wird über zwei Mikrogasstationen geleitet und biologisch entschwefelt. Direkt vor den am Standort aufgestellten BHKW wird das am Standort verbrauchte Gas zudem zusätzlich mit einem Aktivkohlefilter entschwefelt. Die Gasverwertung erfolgt durch vier Gas-Otto-BHKW am Standort und 3 Satelliten-BHKW. Die Summe der installierten elektrischen Nennleistung vor Ort beträgt 1.210 kW und extern 1.374 kW. Der am Standort produzierte Strom wird vollständig eingespeist. Die produzierte Wärme wird neben der Beheizung der Gärbehälter auch zur Versorgung von diversen Wohnhäusern und öffentlichen Einrichtungen verwendet.

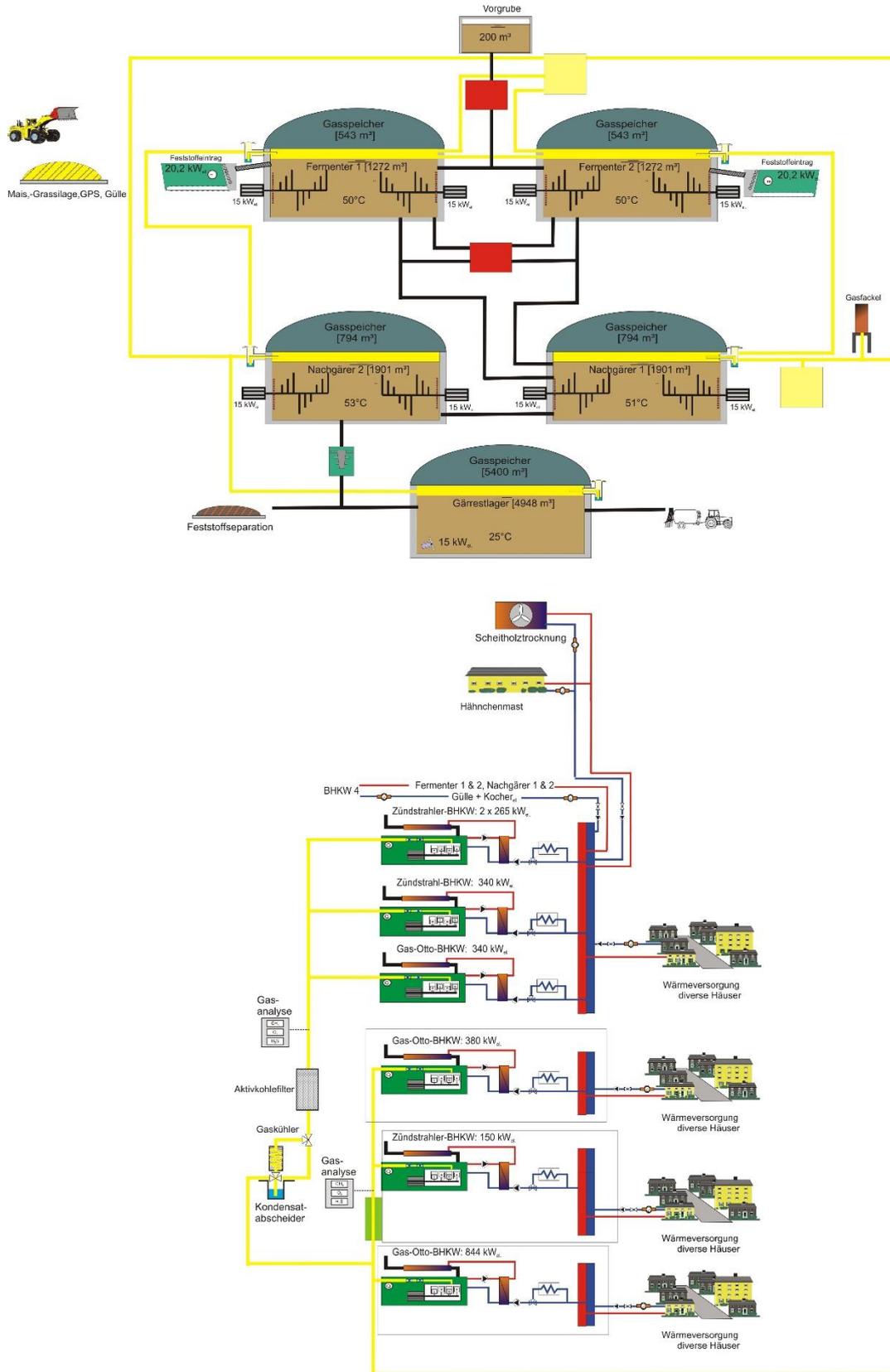


Abbildung 15-98: Anlagenschema BGA 23 in rot die Thermocracks

15.22.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist in Tabelle 15-63 aufgelistet. Die Fütterungsmengen der Substrate wurden per Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag gewogen und geloggt. Stromzähler, Gasqualität, Gaszähler, sowie Eigenstromverbrauch wurden ebenfalls automatisch geloggt und konnten per Steuerungssoftware ausgelesen werden. Der Eigenwärmeverbrauch wurde monatlich erfasst.

Tabelle 15-63: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 23

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Erfassung per Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag	Wird auf Steuerungssoftware automatisch geloggt
Flüssige Einsatzstoffe	Erfassung per Durchflusszähler	Wird auf Steuerungssoftware automatisch geloggt
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S	Dauerhaft automatisch geloggt
Gaszähler	Je BHKW Volumenstromzähler	Wird auf Steuerungssoftware automatisch täglich geloggt
Stromzähler	Zähler am BHKW	Wird auf Steuerungssoftware automatisch täglich geloggt
Eigenstromverbrauch	Zähler an unterschiedlichen Stellen	Wird auf Steuerungssoftware automatisch täglich geloggt
Eigenwärmeverbrauch	Ein Zähler eingebaut	Wird monatlich erfasst

Es werden regelmäßig Analysen gemacht. Jede Substratcharge wird direkt an der Biogasanlage auf Trockensubstanzgehalt untersucht. Nach Bedarf wird zudem der FOS/TAC und das Spektrum an Säuren untersucht. Vom Gärrest wird zudem regelmäßig der NPK-Gehalt bestimmt.

Die Anlage wird von externen Landwirten beliefert und die Substrate werden nur ca. 36 Stunden vor Ort gelagert. Dies hat starken Einfluss auf die Probennahme, da an jeden Tag eine andere Substratqualität möglich ist. Die Probenahmen erfolgten immer am Anfang des Monats. Von welcher Substratladung Proben gezogen wurden, konnte nicht beeinflusst werden, daher ist ein möglicher zufälliger Einfluss der Probennahme nicht zu verhindern gewesen.

15.22.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 23 wurde im Zeitraum von Oktober 2016 bis September 2017 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurden vorwiegend Mais-Ganzpflanzensilage (28 %), Grassilage (28 %) und Rindergülle (36 %) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-99). Des Weiteren sind Roggen-Ganzpflanzensilage (7 %), Getreide (1 %) und Anwelksilage (0,3 %) gefüttert worden. Die mittlere tägliche Fütterungsmenge betrug 152,8 t/d, wobei diese im Sommer aufgrund einer Entleerung der Behälter bis auf 120 t/d heruntergefahren wurde. 50 t/d an Gärsubstrat wurden rezirkuliert. Zudem wurden täglich Spurenelemente, Enzyme und Entschwefelungschemikalien hinzugegeben.

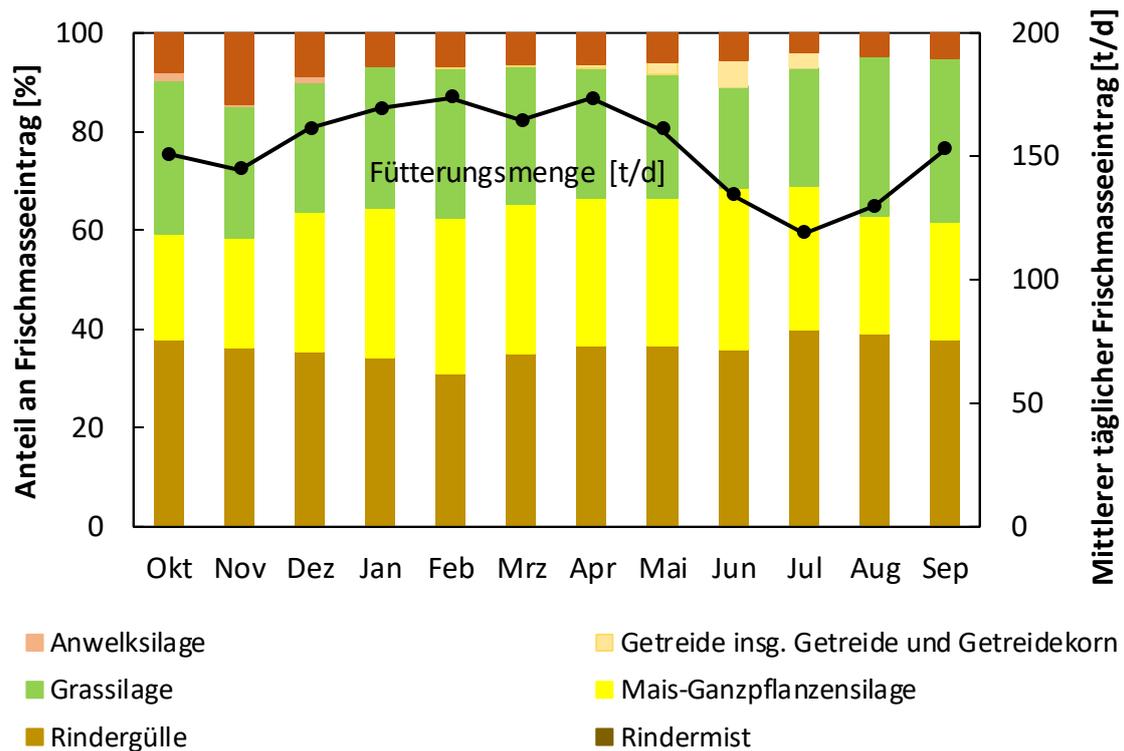


Abbildung 15-99: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Im April wurden Nachgärer 1 und 2 geleert. Zudem wurde im Dezember ein Thermocrack installiert, in dem das Substrat zwischen Fermenter und Nachgärer aufgeheizt wird (vgl. Abbildung 15-98). Dies soll einen besseren Aufschluss ermöglichen.

Der FOS/TAC-Wert lag im ganzen Jahr über 0,3 (vgl. Abbildung 15-100) und war somit überdurchschnittlich hoch. Im März stieg der Wert auf 1,3 an. Grund hierfür war die Leerung der Nachgärer. In den folgenden Monaten passte sich der Wert wieder auf das vorherige Niveau an, das über das gesamte Jahr relativ konstant war. Dies spricht für eine stabile Prozessbiologie.

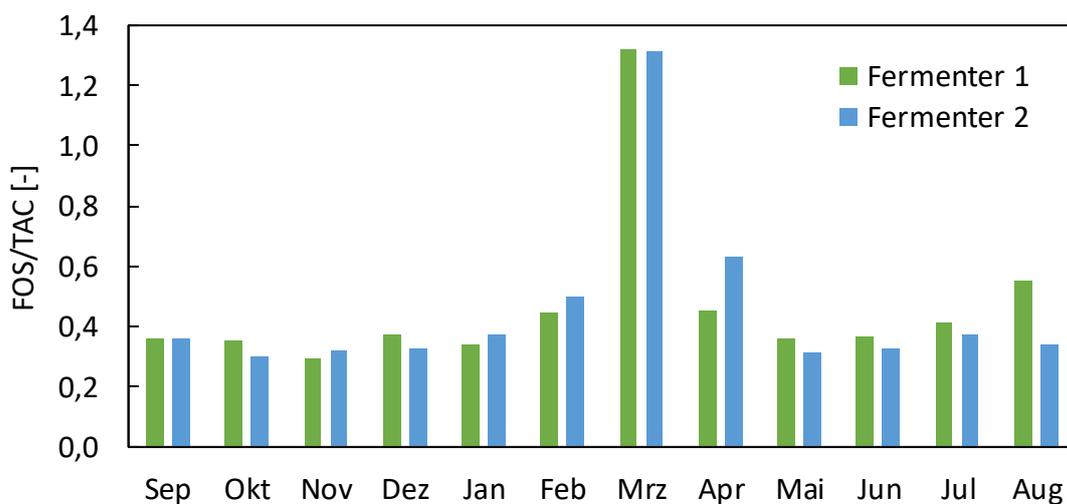


Abbildung 15-100: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter

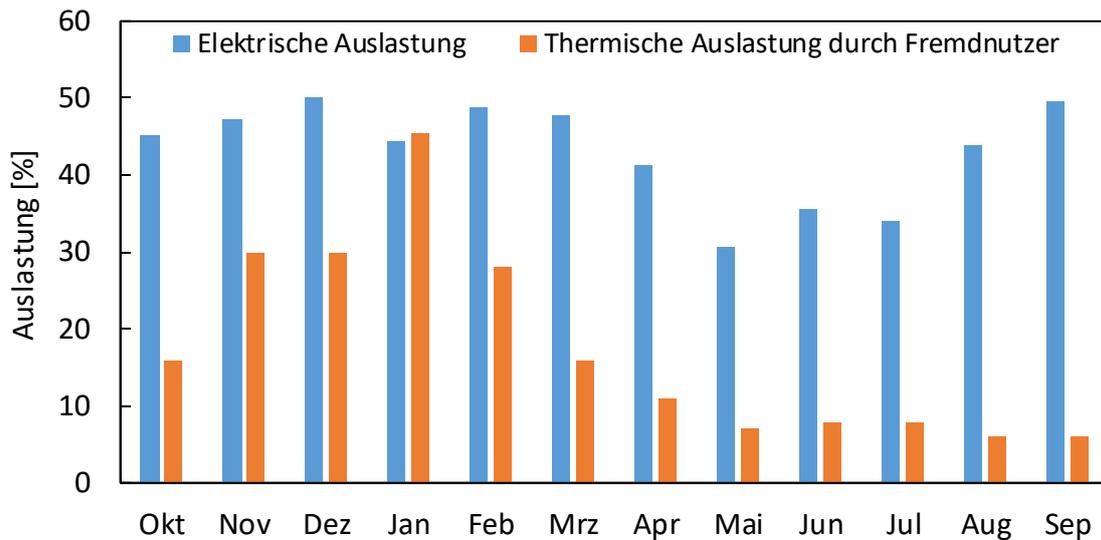


Abbildung 15-101: Elektrische Auslastung und thermische Auslastung durch Fremdnutzer bezogen auf die installierte Leistung

Die elektrische Auslastung bezogen auf die installierte Leistung der BHKW ist im Jahresdurchschnitt 43 % (vgl. Abbildung 15-101). Die thermische Auslastung durch Fremdnutzer liegt im Jahresdurchschnitt bei 22 %, wobei im Winter deutlich mehr Wärme durch Fremdnutzer verbraucht wird als im Sommer.

Die Biogasanlage wurde mit einer organischen Raumbelastung von $4,9 \text{ kg}_{\text{oTS}}/(\text{m}^3 \text{ d})$ und einer Verweilzeit von 42 Tagen im Fermentersystem gefahren (vgl. Tabelle 15-64). Die Verweilzeit wurde deutlich kürzer gewählt als bei den meisten anderen Anlagen und auch die organische Raumbelastung war sehr hoch. Dies lässt vermuten, dass keine vollständige Umsetzung erreicht wurde. Das relative Restgaspotential (4,4 %) und der oTS-Abbau (83 %) unterstützen dies allerdings nicht. Gegensätzlich dazu ist die geringe FoTS-Ausbeute. Die Essigsäureäquivalente und die FOS/TAC-Werte zeigen hingegen deutlich, dass ein Abbau entlang der Kaskade stattfindet.

Tabelle 15-64: Datenblatt der Biogasanlage 23

BGA 23										
Allgemeine Angaben:										
installierte elektrische Leistung	2584 kW									
Inbetriebnahme	12.2006									
Zeitraum der Messphase	10.2016 - 9.2017									
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente									
Gasverwertung	4 VOV-BHKW, 2 Satellit-BHKW									
Erhalt Flexibilitätsprämie	ja									
Betriebsform	sonst. Anlage									
Bauliche Anlagen:						Einsatzstoffe:				
Benennung		Fermenter 1	Fermenter 2	Nachgärer 1	Nachgärer 2	Fermentersystem	Mengenangaben in FM			
Anzahl		1	1	1	1		Gesamt-Jahresmenge	55.618 [t/a]		
Reaktorvolumen	[m³]	1.527	1.527	2.280	2.280	7.614	Gesamt-Tagesmenge	152,4 [t/d]		
Arbeitsvolumen	[m³]	1.272	1.272	1.901	1.901	6.346	Rindergülle	36,3 [%]		
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend	stehend	stehend		Mais-Ganzpflanzensilage	27,8 [%]		
Gasspeichervolumen	[m³]	543	543	794	794	2.674	Roggen-Ganzpflanzensilage	6,9 [%]		
Betriebsparameter:						Einsatzstoffmix				
TS-Gehalt in FM	[%]	10,6	10,7	9,0	8,6		Getreide insg. Getreide und Getr	1,0 [%]		
oTS-Gehalt in TS	[%]	76,8	76,6	72,5	72,1		Anwelsilage	0,3 [%]		
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]					4,9 _{FS}	Einsatzstoffmix			
Verweilzeit	[d]					42 _{FS}	mittlerer TS-Gehalt in FM	24,4 [%]		
oTS-Abbau	[%]					83 _{GSY}	mittlerer oTS-Gehalt in TS	91,5 [%]		
FoTS-Abbau	[%]					81 _{GSY}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	55,6 [%]		
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]					1,1 _{FS}	Gärrestlager:			
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]					2,2 _{FS}	Anzahl	1		
pH	[-]	7,7	7,7	7,8	7,9		Lagerkapazität gasdicht	4.948 [m³]		
Temperatur	[°C]	51	47	51	48		Lagerkap. nicht gasdicht / offen	0 [m³]		
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,9	2,9	3,4	3,5		Gaspeichervolumen	5.400 [m³]		
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	5,5	5,5	5,5	5,5		relatives Restmethanpotential	4,4 [%]		
Essigsäureäquivalent in FM	[g/l]	1908	2044	754	187		TS-Gehalt im Gärrest in FM	6,6 [%]		
FOS/TAC	[-]	0,46	0,46	0,28	0,23		oTS-Gehalt im Gärrest in TS	67,9 [%]		
Gasverwertung:						Gasproduktion:				
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	71					Messung am	vor AKF		
		BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3	BHKW 4	BHKW 5	Gaszusammensetzung			
Motortyp		Z5	Z5	Z5	GO	GO	[Vol-%]	CH ₄	51,6	
elektr. Nennleistung	[kW]	265	265	340	340	380	[Vol-%]	CO ₂	44,1	
therm. Nennleistung	[kW]	192	209	317	317		[Vol-%]	O ₂	1	
elektr. Wirkungsgrad	[%]	47,0	47,0	44,0	44,0	40,0	[ppm]	H ₂ S	43	
therm. Wirkungsgrad	[%]	34,0	37,0	41,0	41,0		Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix			
Betriebsweise BHKW	[-]	Start-Stop	Start-Stop	Start-Stop	Start-Stop	Start-Stop		Biogas	Methan	
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	-	-	-	-	-	[m³/t] in FM	90	46	
theor. Volllaststunden	[h/a]	5.758	4.221	7.371	4.958	4.436	[m³/t] in oTS	403	208	
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	66	48	84	57	51	Stromproduktion			
							[kWh/d]	59.788		
							[kWh/t]	392		
GO - Gas-Otto-Motor; Z5 - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas										
Eigenstrombedarf:					Wärmeverwertung:					
BGA gesamt	[kWh/a]	1.267.802	6	[% der Stromproduktion]		Eigenbedarf BGA	[kWh/a]	1.980.260	8	[% der Wärmeproduktion]
						Trocknung + Wohnhäuser		1.050.390	4	[% der Wärmeproduktion]
						Fernwärme		2.504.400	10	[% der Wärmeproduktion]

Tabelle 15-65: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 22 im Wirtschaftsjahr 2016/17 (01.10. – 30.09.)

BGA 23					
installierte elektrische Leistung	2.584	kW	eingespeiste Strommenge 2016/17 ¹	15.489.426	kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	2.455	kW	Gesamtinvestitionsvolumen ²	3.581.755	€
Leistungen					
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	53,87	%		1.868.270	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	3,83	%		132.998	€/a
Sonstige Erlöse (Rohbiogas)	42,29	%		1.466.760	€/a
Gesamterlöse	100	%		3.468.028	€/a
Kosten					
Substratkosten	56,86	%		1.795.149	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>					
<i>Mais</i>	59,12	€/t		968.707	€/a
<i>Gras</i>	38	€/t		619.312	€/a
<i>Restliche NawaRo</i>	65,42	€/t		276.649	€/a
Personalkosten	11,73	%		370.480	€/a
Instandhaltungskosten	11,98	%		378.248	€/a
Abschreibungen	5,46	%		172.322	€/a
Sonstige Betriebskosten	13,97	%		441.197	€/a
<i>davon</i>					
<i>Zündöl</i>				34.899	€/a
<i>Strombezug</i>				156.457	€/a
<i>Miete und Pacht</i>				10.500	€/a
<i>Maschinenmiete und Leasing</i>				12.555	€/a
<i>Prozessbetreuung und Beratung</i>				35.067	€/a
<i>Versicherungen, Beiträge und Abgaben</i>				30.122	€/a
<i>Berufsgenossenschaft</i>				4.255	€/a
<i>Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel</i>				12.112	€/a
<i>Zinszahlungen³</i>				41.612	€/a
<i>Buchführung und Verwaltung</i>				-	€/a
<i>Sonstiges</i>				103.616	€/a
Gesamtkosten	100	%		3.157.395	€/a
Bilanz					
Gesamterlöse				22,39	ct/kWh
Stromgestehungskosten				20,38	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				2,01	ct/kWh
Betriebszweigergebnis				310.633	€/a

¹ eingespeiste Strommenge vor Ort: 8.964.162 kWh; zzgl. rechnerisch ermitteltes Äquivalent von Rohbiogas: 6.525.264 kWh

² Abschätzung der Investitionsbedarfe einzelner BHKW inkl. Transport, Einbindung und Abnahme (ASUE, 2015)

³ Abschätzung der Zinszahlungen aus der Angabe von Kreditvolumen, Kreditlaufzeit und effektiven Jahreszins

15.23 Biogasanlage 24

15.23.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 24 befindet sich im Südwesten von Deutschland und wird von einer Universität als Forschungsbiogasanlage betrieben und nach EEG 2004 / 2009 vergütet. Die Inbetriebnahme der Biogasanlage erfolgte 2008. An der Anlage finden regelmäßig Versuche statt, die die Effizienz im Vergleich zu normalen Biogasanlagen verringern kann. Es handelt sich bei der Anlage um ein Forschungsgrößgerät, welches zum Ausgleich der erzeugten Stromüberschüsse bzw. zur Deckung des Fehlbedarfs an das Stromnetz angeschlossen ist. Die Anlage ist 2-stufig aufgebaut, bestehend aus zwei parallel geschalteten Fermentern (jeweils 846 m³ / 923 m³ brutto) und Nachgärer (846 m³ / 923 m³ brutto) (vgl. Abbildung 15-102). Der Nachgärer besitzt ein Gasspeichervolumen von 227 m³ (Abbildung 15-102). Der Gärrest kann mittels Pressschnecken-Separator in eine flüssige und feste Phase separiert werden. Das Gärsubstrat wird von Behälter zu Behälter gepumpt, wobei das jeweilige Volumen automatisch mit Durchflussmessern erfasst wird und in jede beliebige Richtung gepumpt werden kann.

Die Substratzufuhr erfolgt für jeden der beiden Hauptfermenter unabhängig voneinander über jeweils einen Feststoffdosierer. Dies ermöglicht einen direkten Vergleich der beiden Fermenter im Forschungsbetrieb. Zwischen Feststoffeintrag und Behälter ist beim Fermenter 1 noch zusätzlich ein Querstromzersetzer eingesetzt, die faserreichen Substrate wie z. B. Pferdemist besser aufschließen soll. In beiden Fermentern sind jeweils ein Tauchmotorrührwerk und ein Langachsührwerk eingebaut, im Nachgärer ist lediglich ein Tauchmotorrührwerk installiert.

Das produzierte Biogas wird im Fermenter biologisch entschwefelt und anschließend über einen Rohrbündelwärmetauscher mit einem Kühlaggregat entwässert. Zusätzlich erfolgt eine weitere Entschwefelung mit einem Aktivkohlefilter. Die Gasverwertung erfolgt durch ein Gas-Otto-BHKW am Standort mit einer installierten elektrischen Nennleistung von 355 kW. Der produzierte Strom wird zum Eigenverbrauch der BGA und zur Versorgung des umliegenden landwirtschaftlichen Versuchsbetriebes genutzt. Der überschüssige Strom wird ins Netz eingespeist. Die produzierte Wärme wird zur Beheizung der Gärbehälter und zur Beheizung der Wohn-, Wirtschafts- und Bürogebäude sowie der Ställe des Versuchsstandortes verwendet.

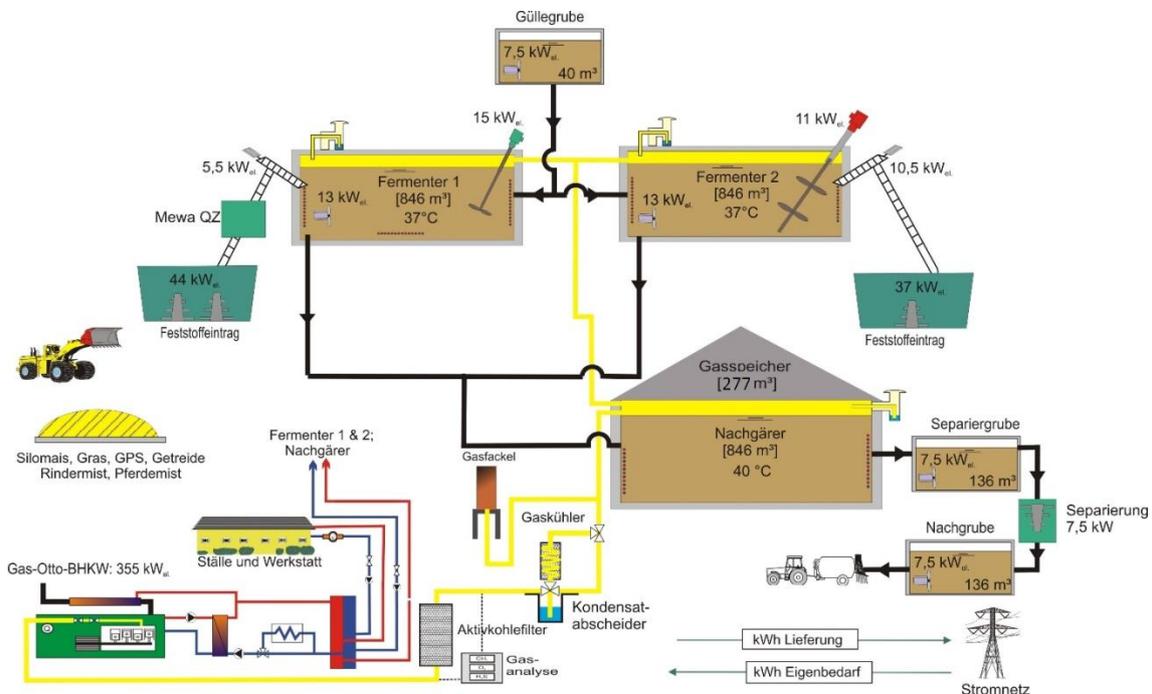


Abbildung 15-102: Anlagenschema BGA 24

15.23.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung der BGA ist für jeden Fermenter separat verfügbar und im Vergleich zu den anderen Anlagen herausragend, da diese für die Versuchsanstellung und -auswertung notwendig ist (vgl. Tabelle 15-66). Die Fütterungsmengen der Substrate werden per Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag gewogen und geloggt. Stromzähler, Gasqualität, Gaszähler, Eigenwärme- sowie Eigenstromverbrauch werden ebenfalls automatisch geloggt und können per Steuerungssoftware ausgelesen werden. Des Weiteren wird noch eine Vielzahl weiterer Parameter erfasst.

Tabelle 15-66: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 23

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Feste Einsatzstoffe	Erfassung per Wiegevorrichtung am Feststoffeintrag	Wird auf Steuerungssoftware automatisch geloggt
Flüssige Einsatzstoffe	Erfassung per induktivem Durchflusszähler	Wird auf Steuerungssoftware automatisch geloggt
Gasqualität	Gasanalysegerät CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S, O ₂	Dauerhaft automatisch geloggt, Messstellenumschaltung zur Erfassung an 6 versch. Punkten in der Anlage
Gaszähler	Volumenstromzähler vor dem BHKW sowie am Ausgang jedes der Fermenter	Wird auf Steuerungssoftware automatisch geloggt
Stromzähler	Zähler am BHKW	Wird auf Steuerungssoftware automatisch geloggt
Eigenstromverbrauch	Erfassung des Gesamtverbrauchs sowie individuell für jede elektr. Komponente	Wird auf Steuerungssoftware automatisch geloggt
Eigenwärmeverbrauch	Zähler für: F1, F2, Nachgärer, Übergabe Fernwärme, Notkühler, Gemischkühler, Beheizung Aktivkohlefilter	Wird auf Steuerungssoftware automatisch geloggt

Es werden im normalen Betrieb wöchentlich Proben gezogen und Analysen vom Gärsubstrat (FOS/TAC, Säureanalytik) und Substrat (TS / oTS) durchgeführt. Bei Versuchen werden die Probenahmehäufigkeit und die untersuchten Parameter deutlich erhöht. Die Probenahme an den Behältern erfolgte im BMP III jeweils an Probenahmehähnen, die in 3 Metern Höhe angebracht waren.

15.23.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Biogasanlage 24 wurde im Zeitraum von September 2016 bis August 2017 messtechnisch begleitet. In diesem Zeitraum wurden vorwiegend Mais-Ganzpflanzensilage (16 %), Grassilage (23 %), Rindermist (9 %), Pferdemist (11 %) und Rindergülle (33 %) eingesetzt (vgl. Abbildung 15-103). Des Weiteren sind Grünroggen-Ganzpflanzensilage (3 %) und Getreidekorn (5 %) gefüttert worden. Die mittlere tägliche Fütterungsmenge betrug 17,8 t/d.

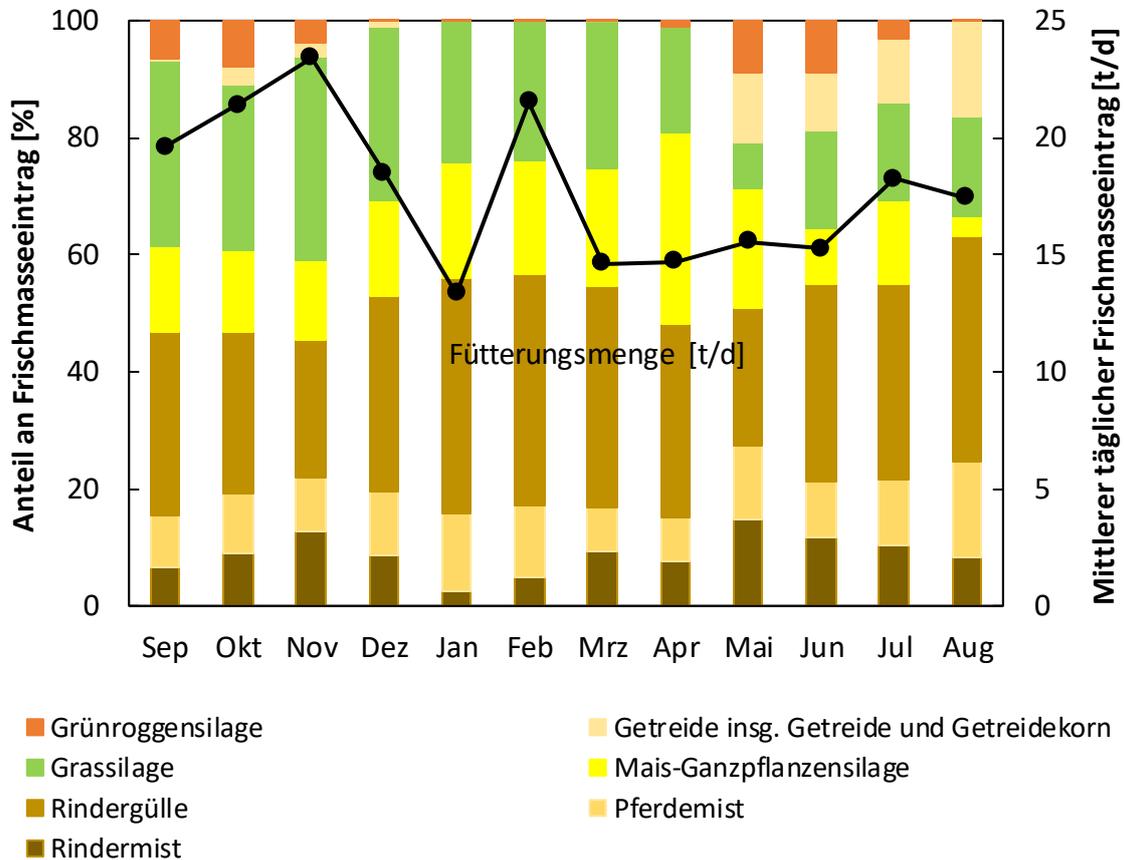


Abbildung 15-103: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Prozessstörungen traten im Betrachtungszeitraum nicht auf. Es sei aber darauf verwiesen, dass während des Messzeitraumes gezielt Versuche zur Flexibilisierung gefahren wurde und daher schwankende Betriebsbedingungen vorlagen.

Der FOS/TAC-Wert lag im ganzen Jahr unter 0,3, außer im September (vgl. Abbildung 15-104). Der FOS/TAC-Wert deutet auf eine stabile Prozessbiologie hin. Der erhöhte Wert im September ist vermutlich mit einem Fehler in der Probennahme zu erklären.

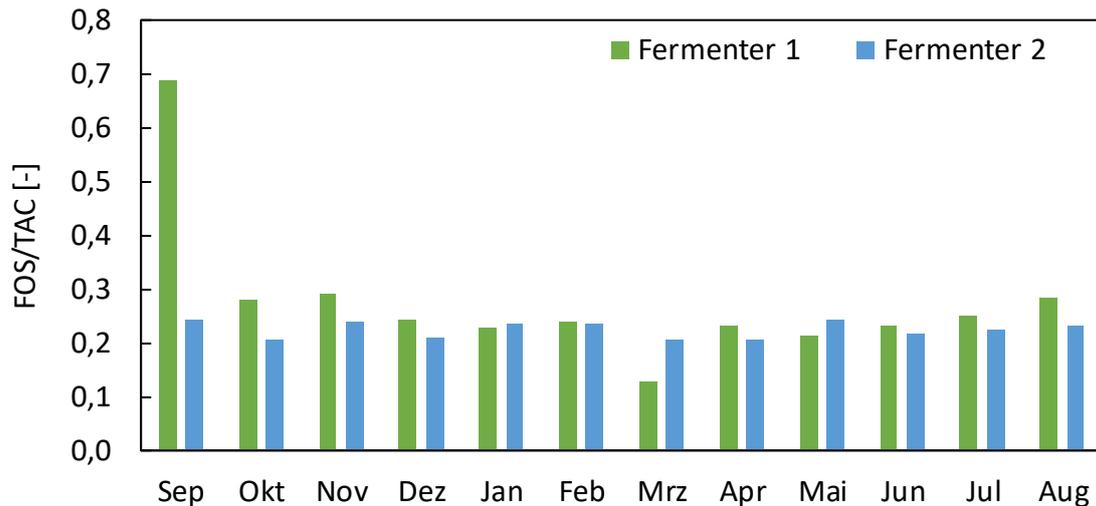


Abbildung 15-104: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter

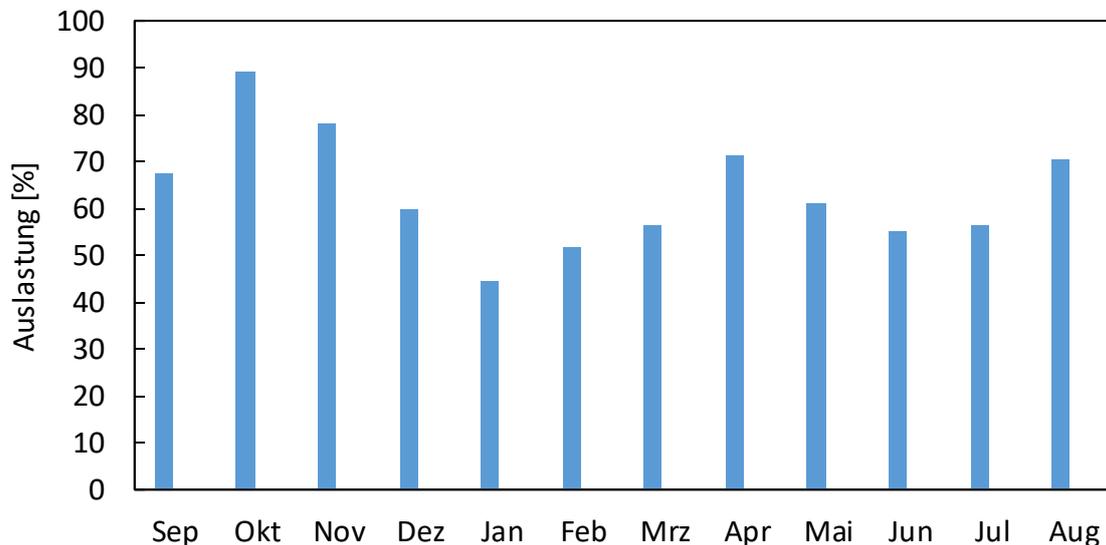


Abbildung 15-105: Elektrische Auslastung durch Fremdnutzer bezogen auf die Höchstbemessungsleistung

Das BHKW der Versuchsanlage ist für eine bedarfsorientierte, lastflexible Betriebsweise ausgelegt. Die installierte elektrische Leistung beträgt 355 kW, die Höchstbemessungsleistung der Anlage 195 kW zuzüglich dem Strombedarf des Versuchsstandortes (Überschusseinspeisung). Resultierend ergibt sich eine durchschnittliche elektrische Auslastung bezogen auf die installierte Leistung der BHKW von 64 % (vgl. Abbildung 15-105). Es sind leichte Schwankungen festzustellen. Die Ursachen sind vielfältig und hängen mit der Nutzung der Biogasanlage zusammen. Durchschnittlich ca. 70 % der erzeugten Wärmeenergie wurden zur Beheizung der Fermenter bzw. des Versuchsstandortes verwendet. Damit konnten 50 – 60 % des Wärmebedarfs des Standortes gedeckt werden.

Die Verweilzeit ist mit 142 Tagen sehr hoch gewählt und die organische Raumbelastung (1,8 kg_{oTS}/(m³ d) sehr gering (vgl. Tabelle 15-67). Diese Fahrweise ist aufgrund der besonderen Zielsetzung möglich. Die Raumbelastung wurde nach dem Messzeitraum nach Zubau eines Gärrestlagers deutlich erhöht. Der oTS-Abbau und das rel. Restgaspotential ist in einem normalen Bereich. Die FoTS-Ausbeute hat im Vergleich einen geringen Wert (95 %).

Tabelle 15-67: Datenblatt der Biogasanlage 24

BGA 24							
Allgemeine Angaben:							
installierte elektrische Leistung	355 kW						
Inbetriebnahme	2008						
Zeitraum der Messphase	09.2016 - 08.2017						
Einsatzstoffe	NaWaRo, tierische Exkrememente						
Gasverwertung	1 VOV-BHKW						
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein						
Betriebsform	Forschungsbiogasanlage						
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:			
Benennung		Fermenter	Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM	
Anzahl		1	1	1		Gesamt-Jahresmenge 6.508 [t/a]	
Reaktorvolumen	[m³]	923	923	923	2.769	Gesamt-Tagesmenge 17,8 [t/d]	
Arbeitsvolumen	[m³]	846	846	846	2.538	Grassilage 22,8 [%]	
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend	stehend		Mais-Ganzpflanzensilage 16,5 [%]	
Gasspeichervolumen	[m³]	0	0	227	227	Getreide insg. Getreide und Getreidekorn 4,7 [%]	
Betriebsparameter:				Einsatzstoffmix			
TS-Gehalt in FM	[%]	12,4	10,3	9,4		Rindergülle 33,0 [%]	
oTS-Gehalt in TS	[%]	74,3	72,6	71,3		Rindermist 8,9 [%]	
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]				1,8 _{FS}	Pferdemist 10,7 [%]	
Verweilzeit	[d]				142 _{FS}	Einsatzstoffmix	
oTS-Abbau	[%]				80 _{GSV}	mittlerer TS-Gehalt in FM 28,7 [%]	
FoTS-Ausbeute	[%]				95 _{GSV}	mittlerer oTS-Gehalt in TS 89,4 [%]	
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]				0,5 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS 73,2 [%]	
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]				1,0 _{FS}	Gärrestlager:	
pH	[-]	7,9	7,9	8,02		Anzahl	
Temperatur	[°C]	45	42	33		Lagerkapazität gasdicht 0 [m³]	
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	4,4	4,3	4,3		Lagerkap. nicht gasdicht / offen 0 [m³]	
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	6,4	6,0	5,5		Gasspeichervolumen 0 [m³]	
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	869	257	123		relatives Restmethanpotential 5,4 [%]	
FOS/TAC	[-]	0,27	0,22	0,21		TS-Gehalt im Gärrest in FM 8,6 [%]	
Gasverwertung:				Gasproduktion:			
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	50					
		BHKW 1					
Motortyp		GO					
elektr. Nennleistung	[kW]	355					
therm. Nennleistung	[kW]	386					
elektr. Wirkungsgrad	[%]	42,5					
therm. Wirkungsgrad	[%]	42,5					
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast					
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	7.898					
theor. Volllaststunden	[h/a]	5.113					
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	58					
				Messung vor BHKW			
				Gaszusammensetzung			
				[Vol-%]	CH ₄	51,4	
				[Vol-%]	CO ₂	46,1	
				[Vol-%]	O ₂	-	
				[ppm]	H ₂ S	60	
				Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix			
				[m³/t] in FM	Biogas	Methan	
				[m³/t] in oTS	138	71	
					538	277	
				Stromproduktion			
				[kWh/d]	4.973		
				[kWh/t]	279		
				Wärmeverwertung:			
Eigenstrombedarf:	[kWh/a]					[kWh/a]	
BGA gesamt	238.816	13	[% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	602.454	33	[% der Wärmeproduktion]

Tabelle 15-68: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 24 im Jahr 2017

BGA 24				
installierte elektrische Leistung	355	kW	ingespeiste Strommenge 2017	1.134.351 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	195	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	1.803.866 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	81,97	%	354.110	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	18,03	%	77.864	€/a
Sonstige Erlöse	0,00	%	-	€/a
Gesamterlöse	100	%	431.974	€/a
Kosten				
Substratkosten	44,34	%	163.111	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	44,80	€/t	47.489	€/a
Gras	40	€/t	54.094	€/a
Restliche NawaRo	63,09	€/t	38.737	€/a
Personalkosten	18,38	%	67.613	€/a
Instandhaltungskosten	15,94	%	58.645	€/a
Abschreibungen ¹	17,14	%	63.043	€/a
Sonstige Betriebskosten ²	4,19	%	15.424	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug ³			-	€/a
Miete und Pacht			-	€/a
Maschinenmiete und Leasing			94	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			2.478	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			-	€/a
Berufsgenossenschaft			-	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			2.502	€/a
Zinszahlungen ⁴			-	€/a
Buchführung und Verwaltung			-	€/a
Sonstiges			2.594	€/a
Gesamtkosten	100	%	367.836	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			38,08	ct/kWh
Stromgestehungskosten			32,43	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			5,65	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			64.138	€/a

¹ Bewertungsansatz für Abschreibungen: nach DLG-Standard (DLG, 2010)

² Summe beinhaltet zusätzlich die Kosten der Gärrestverbringung i.H.v. 7.757 €/a

³ Überschusseinspeisung

⁴ entfällt

15.24 Biogasanlage 25

15.24.1 Anlagenbeschreibung

Die in Kooperation mit einem Münchner Planungsbüro konzipierte und weitgehend in Eigenregie errichtete Biogasanlage 25 ist seit dem Jahr 2004 in Betrieb. Bei der Anlage handelt es sich um eine typische NawaRo-Biogasanlage, die ihren Strom gemäß den Konditionen des EEG 2004 ins Netz einspeist.

Wie im Fließschema in Abbildung 15-106 dargestellt, verfügt die Anlage über zwei parallel geschaltete, baugleiche Hauptfermenter mit einem Arbeitsvolumen von je 900 m³. Die beiden Fermenter sind mit Betondecke ausgeführt und werden mithilfe von Wandheizungen auf 42°C temperiert. Durchmischt werden die Behälter jeweils mittels der Kombination eines FU-gesteuerten langsam laufenden Langachsührwerks und eines Stabmixers. Zur Vermeidung von Sedimentation wurde in die Behälter zusätzlich jeweils noch ein Tauchmotorührwerk eingebaut, das in Bodennähe betrieben wird. Ein 50 m³ fassender Zweischnecken-Vertikalmischer beschickt über eine Konstruktion aus Steig- und Stopfschnecken beide Fermenter simultan mit Feststoffen.

Im Jahr 2010 wurde zwischen den beiden Hauptfermentern eine Umlaufstrecke nachgerüstet. In diese wurden eine Drehkolbenpumpe mit Lochscheiben-Nasszerkleinerer und eine elektrokinetische Desintegrationseinheit eingebaut. Beim Verfahren der elektrokinetischen Desintegration wird durch Anlegen eines Hochspannungsimpulses (28 kV) ein elektrischer Durchschlag durch den Materialstrom erreicht, wodurch die Zellwände in den Substratpartikeln zum Platzen gebracht werden sollen. Hauptziele dieser Substrataufbereitung sind neben der Verringerung der Partikelgröße die Senkung des Strombedarfs für das Durchmischen der Fermenter und die Steigerung des Abbaugrades.

Den Hauptfermentern sind zwei gleichgroße Nachgärer mit einem Arbeitsvolumen von jeweils 1.250 m³ in Reihe nachgeschaltet. Nachgärer 1 ist mit einem Tragluftdach zur Gasspeicherung ausgerüstet und wird über eine Wandheizung auf ca. 40°C temperiert. Eine Drehkolbenpumpe beschickt den Behälter mit Gärsubstrat aus den beiden Hauptfermentern. Durchmischt wird Nachgärer 1 mittels einer Kombination aus Stabmixer und Langachsührwerk. Über einen freien Überlauf gelangt das Gärgemisch in die zweite Nachgärstufe, die eine EPDM-Gasspeicherhaube besitzt und nicht zusätzlich beheizt wird. Die Behälterwand von Nachgärer 2 ist jedoch gedämmt und es wurde eine durchschnittliche Temperatur von 27°C im Gärgemisch gemessen. Nachgärer 2 ist mit einer Kombination von Tauchmotorührwerk und Stabmixer ausgerüstet.

Aus dem Nachgärer 2 wird der Gärrest über eine zentrale Pumpstation mit Drehkolbenpumpe in das mit einem Tragluftdach und zwei Tauchmotorührwerken ausgestattete Gärrestlager (Kapazität: 4.100 m³) gepumpt. Das Gärrestlager ist nicht wärmegeklämt, so dass der Gärrest vor der Ausbringung abkühlen kann.

Insgesamt verfügt die Biogasanlage über eine Gasspeicherkapazität von etwa 2.700 m³. Das erzeugte Biogas wird in einem im Boden verlegten Gasregister und zusätzlich mithilfe einer aktiven Gaskühlung mit Klimagerät entfeuchtet. Das entfeuchtete Biogas wird von drei Gas-Otto-BHKW mit je 250 kW installierter elektrischer Leistung in Strom und Wärme umgewandelt. Die Biogasanlage deckt ihren Strombedarf selbst und betreibt damit eine sogenannte Überschusseinspeisung ins Stromnetz. Seit Mitte des Jahres 2014 ist die Biogasanlage Teilnehmer an einem Direktvermarktungspool.

Die nicht für die Beheizung der Gärbehälter benötigte BHKW-Wärme wird zur Beheizung von Wohnhäusern in einem Nahwärmenetz, eines nahen gelegenen Seniorenheims sowie zur Trocknung von Scheitholz und Holzhackschnitzeln verwendet. Seit 2015 ist das Nahwärmenetz erweitert, so dass weitere Wohnhäuser der nahegelegenen Ortschaft mit Wärme versorgt werden können.

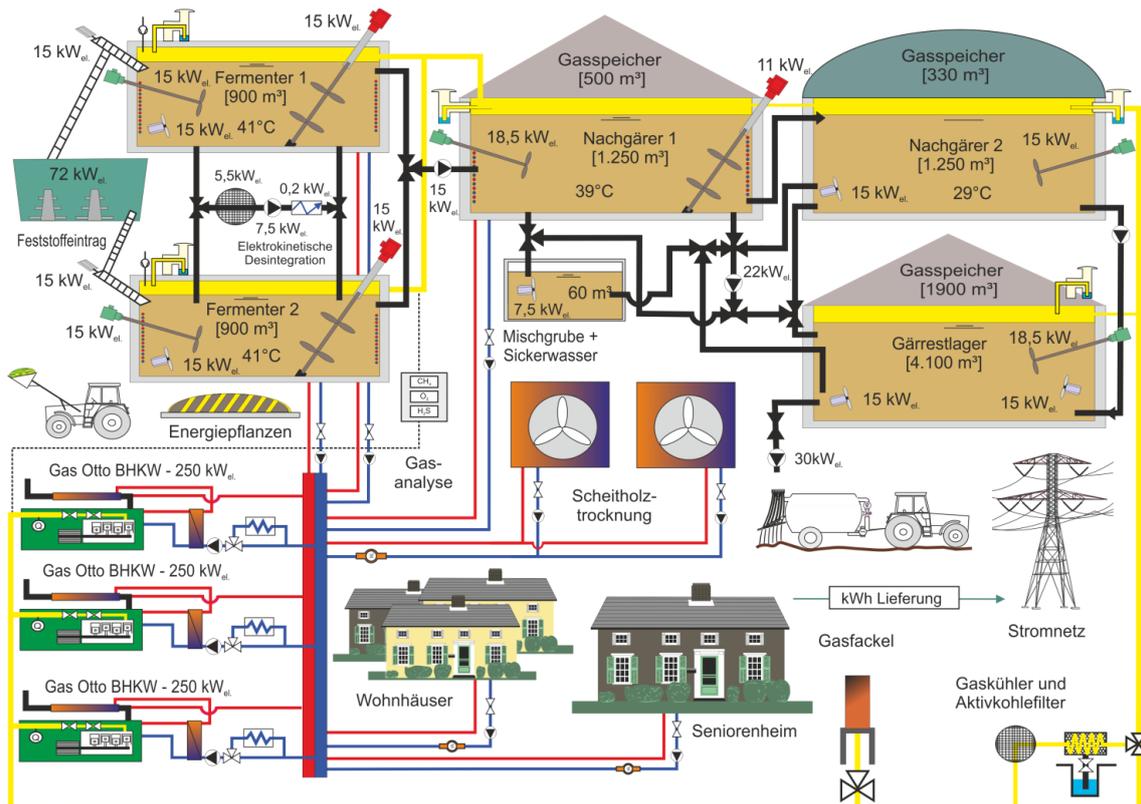


Abbildung 15-106: Anlagenschema der BGA 25

15.24.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die Anlage verfügt über eine gute messtechnische Ausstattung. In den Betriebstagebüchern wurden die gemessenen Daten in täglicher Auflösung schriftlich dokumentiert und in dieser Form den Projektarbeitern für die Auswertung zur Verfügung gestellt.

Tabelle 15-69: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 25

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Menge der festen Einsatzstoffe	Wägezellen am Feststoffeintrag	
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	Wasseruhr	nur Wasser (kein Gülleeinsatz)
Gaszusammensetzung	Gasanalysator mit Sensoren für CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Messung regelmäßig; Dokumentation einmal täglich
Gasmenge	Massenstromgaszähler	Gemeinsamer Zähler für BHKW 1 und 3; separater Zähler für BHKW 2
Stromerzeugung	Zähler für BHKW-Strom und Einspeisung	Tägliche Ablesung am BHKW, monatlich am Trafo
Eigenstrombedarf	Keine separaten Zähler zur Erfassung des Stromverbrauchs	Überschusseinspeisung - Verbrauch = Produktion abzüglich Einspeisung (inkl. Trafoverluste)
Eigenwärmebedarf	Keine Erfassung	Keine Wärmemengenzähler vorhanden

15.24.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Der Substratmix von BGA 25, die von September 2016 bis August 2017 beobachtet wurde, bestand praktisch ausschließlich aus Mais-Ganzpflanzensilage und Grassilage. Nur zu Beginn des Untersuchungszeitraumes, im September, wurden ca. 8 % Triticale-Ganzpflanzensilage eingesetzt (vgl. Abbildung 15-107).

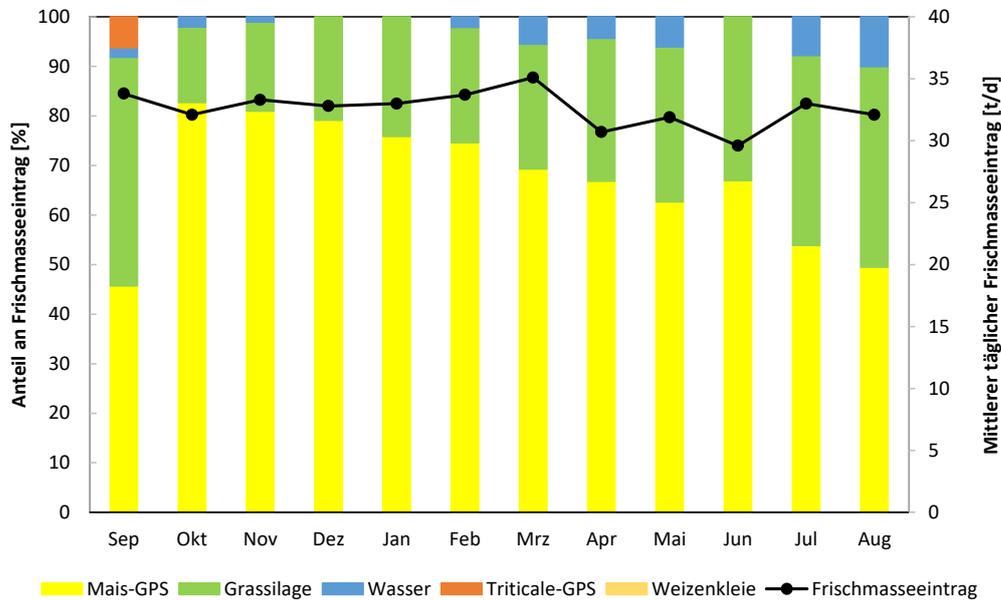


Abbildung 15-107: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Ab Oktober 16 stiegen die TS-Gehalte in der ersten Stufe kontinuierlich an und erreichten mit knapp 10 % im Februar ihren Höhepunkt. Daraufhin wurde regelmäßig Wasser zugegeben, sodass ab Mai wieder Werte unter 8,5 % erreicht und bis zum Ende der Messperiode nicht mehr überschritten wurden. Inklusiv Wasser wurden im Durchschnitt täglich knapp 33 t Frischmasse eingetragen. Werden nur die Feststoffe betrachtet, fällt auf, dass von April bis August die Fütterungsmenge im Mittel um etwa 10 % verringert wurde (vgl. Abbildung 15-107).

Der FOS/TAC-Wert in Proben aus der ersten Vergärungsstufe lag über den gesamten Beobachtungszeitraum auf einem vergleichsweise hohen Niveau: Im Mittel betrug er knapp 0,5 und die Marke von 0,3 wurde stets deutlich überschritten (vgl. Abbildung 15-108). Dies dürfte auf die Einsatzstoffe zurückzuführen sein, denn durch den Verzicht auf Wirtschaftsdünger wird die Pufferkapazität herabgesetzt. Betrachtet man andere Prozessindikatoren, so wirkte sich dies allerdings nicht negativ auf die Prozessstabilität aus. So lag insbesondere der Propionsäuregehalt stets deutlich unterhalb der verwendeten Warnschwelle von 1000 mg/l. Die Verhältnisse an dieser Anlage sind ein Beispiel dafür, dass beim FOS/TAC-Wert stets der anlagenspezifische Trend ausgewertet werden sollte.

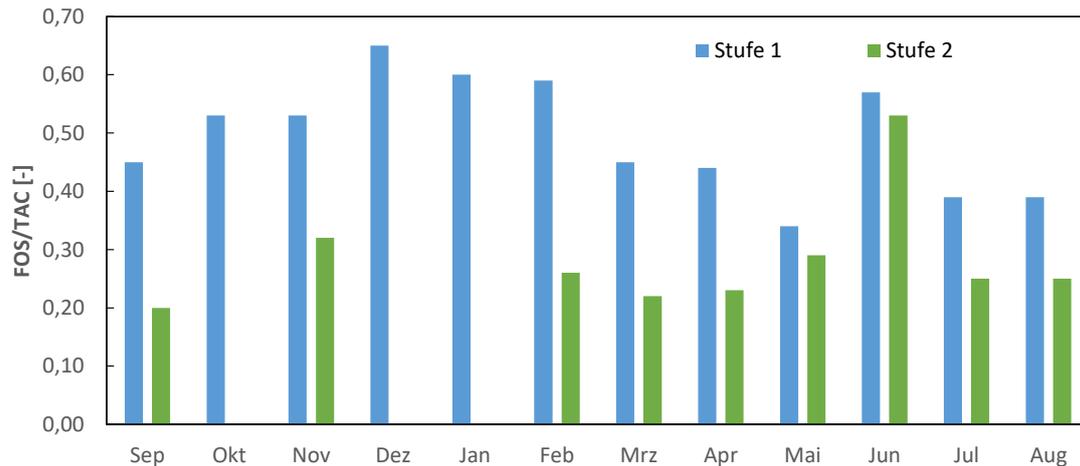


Abbildung 15-108: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe

Die Auslastung der installierten elektrischen Leistung betrug über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg im Mittel knapp 97 % (vgl. Abbildung 15-109). Dies ist unter Berücksichtigung der relativ einseitigen Futtermischung ohne Einsatz von Wirtschaftsdüngern ein sehr gutes Ergebnis. Die genutzten Wärmemengen konnten hier nicht monatlich ausgewertet werden. Im gesamten Untersuchungszeitraum wurden etwas mehr als 6.000 MWh thermische Energie abgesetzt, was rund 89 % der verfügbaren BHKW-Wärme entspricht. Dieser hervorragende Wert ist das Ergebnis einer langjährigen Erschließung lokaler Wärmesenken in Form eines Seniorenheims und eines Nahwärmenetzes in Verbindung mit der ganzjährigen Holz Trocknung.

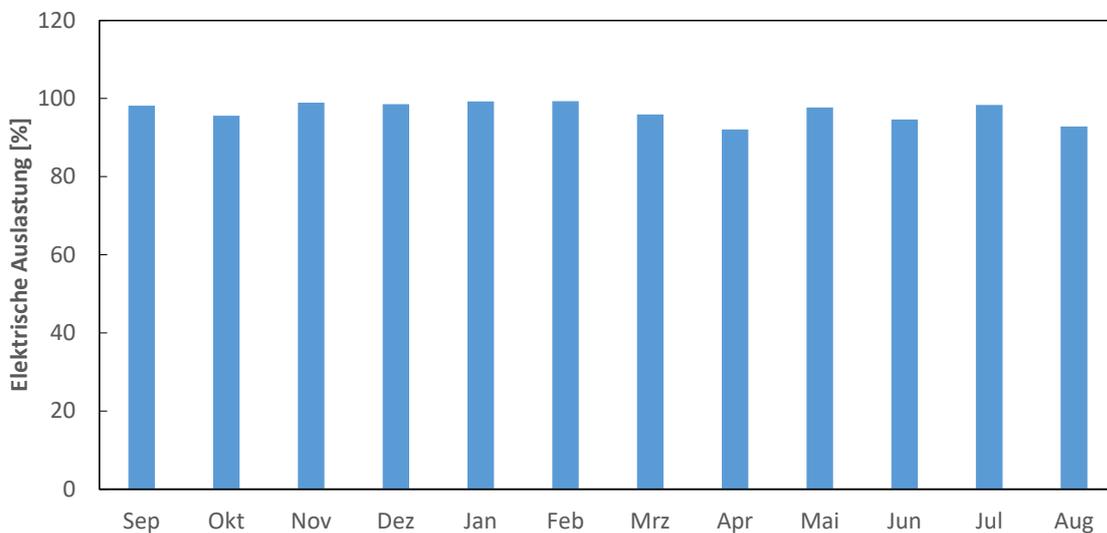


Abbildung 15-109: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW

In Tabelle 15-70 sind die wichtigsten Betriebs- und Leistungsparameter von Anlage 25 in einer Übersicht zusammengestellt. Hinsichtlich der über den Beobachtungszeitraum ermittelten mittleren Gasausbeuten schneidet diese BGA mit mehr als 260 m³ Biogas pro t Frischmasse überdurchschnittlich gut ab. Die hohen Gasausbeuten spiegeln sich im Abbaugrad der organischen Substanz wider. Darüber hinaus wurden außerordentlich hohe elektrische Auslastungsgrade und zwar an allen drei im Einsatz befindlichen BHKW festgestellt. Mit über 89 % liegt der thermische Nutzungsgrad in einem Bereich, der unter Praxisbedingungen nicht mehr zu steigern ist. Der Eigenstrombedarf fiel mit knapp über 7 % Anteil am Produktionsstrom

vergleichsweise niedrig aus. Die Daten zeigen, dass der Anlagenbetrieb während des Beobachtungsjahres effizient und störungsfrei verlief.

Tabelle 15-70: Datenblatt der Biogasanlage 25

BGA 25						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	750 kW					
Inbetriebnahme	2004					
Zeitraum der Messphase	09.2016 - 08.2017					
Einsatzstoffe	NawaRo					
Gasverwertung	3 VOV-BHKW					
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein					
Betriebsform	Einzelhofanlage, Anschluss an einen landwirtschaftlichen Betrieb ohne Tierhaltung					
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:		
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Mengenangaben in FM	
Anzahl		2	2		Gesamt-Jahresmenge	11.901 [t/a]
Reaktorvolumen	[m³]	1.900	2.600	4.500	Gesamt-Tagesmenge	32,6 [t/d]
Arbeitsvolumen	[m³]	1.800	2.500	4.300	Grassilage	29,7 [%]
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend		Mais-Ganzpflanzensilage	69,7 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	0	830	830	Triticale-Ganzpflanzensilage	0,5 [%]
					Wasser	3,6 [%]
Betriebsparameter:				Einsatzstoffmix		
TS-Gehalt in FM	[%]	8,6	7,5		mittlerer TS-Gehalt in FM	35,4 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	79,6	77,9		mittlerer oTS-Gehalt in TS	95,3 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			2,6 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	79,4 [%]
Verweilzeit	[d]			132 _{FS}		
oTS-Abbau	[%]			83 _{GSV}		
FoTS-Ausbeute	[%]			132 _{GSV}		
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]			1,0 _{FS}		
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]			2,0 _{FS}		
pH	[-]	7,7	7,8		Gärrestlager:	
Temperatur	[°C]	41	39		Anzahl	1
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,0			Lagerkapazität gasdicht	4.100 [m³]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	4,6			Lagerkap. nicht gasdicht / offen	[m³]
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	2.040			Gaspeichervolumen	1.900 [m³]
FOS/TAC	[-]	0,49	0,28		relatives Restmethanpotential	4,2* [%]
					TS-Gehalt im Gärrest in FM	7,2 [%]
					oTS-Gehalt im Gärrest in TS	74,9 [%]
					*Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter	
Gasverwertung:				Gasproduktion:		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	63				
			BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3	
Motortyp			GO	GO	GO	
elektr. Nennleistung	[kW]		250	250	250	
therm. Nennleistung	[kW]		266	269	266	
elektr. Wirkungsgrad	[%]		38,9	38,5	39,0	
therm. Wirkungsgrad	[%]		41,4	41,4	41,5	
Betriebsweise BHKW	[-]		Volllast	Volllast	Volllast	
Jahresbetriebsstunden	[h/a]		8.695	8.727	8.697	
theor. Volllaststunden	[h/a]		8.401	8.516	8.514	
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]		95,9	97,2	97,2	
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas						
Eigenstrombedarf:				Wärmeverwertung:		
BGA gesamt	[kWh/a]	467.835	7	[% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	[kWh/a]
					externe Wärmemenge	6.100.000
					davon Holzrocknung	3.400.000
					davon Nahwärmenetz	2.700.000
						89
						50
						39
						[% der Wärmeproduktion]
						[% der Wärmeproduktion]
						[% der Wärmeproduktion]

Tabelle 15-71: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 25 im Jahr 2017

BGA 25			
installierte elektrische Leistung	750 kW	eingespeiste Strommenge 2017	5.791.435 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	713 kW	Gesamtinvestitionsvolumen	1.469.000 €
Leistungen			
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	78,40 %		1.000.936 €/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	21,60 %		275.745 €/a
Sonstige Erlöse	0,00 %		- €/a
Gesamterlöse	100 %		1.276.681 €/a
Kosten			
Substratkosten	72,20 %		365.080 €/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>			
<i>Mais</i>	35,00 €/t		279.755 €/a
<i>Gras</i>	25 €/t		85.325 €/a
<i>Restliche NawaRo</i>	- €/t		- €/a
Personalkosten	2,99 %		15.100 €/a
Instandhaltungskosten	0,99 %		5.000 €/a
Abschreibungen	15,45 %		78.105 €/a
Sonstige Betriebskosten	8,38 %		42.570 €/a
<i>davon</i>			
<i>Zündöl</i>			- €/a
<i>Strombezug¹</i>			- €/a
<i>Miete und Pacht</i>			- €/a
<i>Maschinenmiete und Leasing</i>			- €/a
<i>Prozessbetreuung und Beratung</i>			5.500 €/a
<i>Versicherungen, Beiträge und Abgaben</i>			2.500 €/a
<i>Berufsgenossenschaft</i>			- €/a
<i>Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel</i>			11.390 €/a
<i>Zinszahlungen</i>			20.180 €/a
<i>Buchführung und Verwaltung</i>			- €/a
<i>Sonstiges</i>			3.000 €/a
Gesamtkosten	100 %		505.855 €/a
Bilanz			
Gesamterlöse			22,04 ct/kWh
Stromgestehungskosten			8,73 ct/kWh
Betriebszweigergebnis			13,31 ct/kWh
Betriebszweigergebnis			770.826 €/a

¹ Überschusseinspeisung

15.25 Biogasanlage 26

15.25.1 Anlagenbeschreibung

Die von der Firma Niederlöhner & Quirrenbach (NQ) geplante und mit einem großen Anteil an Eigenleistung errichtete Biogasanlage 26 ist seit Ende 2007 in Betrieb. Trotz der Integration in einen Hähnchenmastbetrieb werden überwiegend nachwachsende Rohstoffe eingesetzt. Es besteht Anspruch auf den Trockenfermentationsbonus gemäß EEG 2004. Daher werden die in der Vorrube (ca. 150 m³) gesammelten Sickersäfte und der Oberflächenabfluss von der Fahrsiloanlage auch direkt in das Gärrestlager geleitet. Funktionsprinzip und Stoffströme von BGA 26 sind schematisch in Abbildung 15-110 dargestellt.

Die Anlage verfügt über vier baugleiche Behälter mit jeweils 1.800 m³ Nutzvolumen, Betondecke und Wärmedämmung auf der Innenseite (Betonschutz und Besiedelungsfläche für Schwefelbakterien). Die beiden Hauptfermenter sind parallelgeschaltet und werden auf 46°C temperiert. Deren Durchmischung erfolgt mittels jeweils eines stehenden, langsam drehenden Paddelrührwerks und eines schnell drehenden Stabmixers. Die festen Einsatzstoffe werden aus einem 60 m³ fassenden Schubbodencontainer mittels Fräsrollen in eine seelenlose lange Trogschnecke dosiert und über eine zentrale Steigschnecke und zwei Stopfschnecken in die beiden Hauptfermenter gefördert. Der Feststoffvorlagebehälter mit Wiegeeinrichtung ist witterungsgeschützt.

Nachgärer 1 wird auf knapp 40°C temperiert und verfügt über die gleiche Rührwerksausstattung wie die beiden Hauptfermenter. Das Gärrestlager ist nicht beheizt und es wurde dort eine mittlere Temperatur im Gärgemisch von ca. 34°C gemessen. Der Lagerbehälter verfügt nur über ein Paddelrührwerk. Die vier baugleichen Paddelrührwerke in den vier Behältern verfügen über ein schwimmendes oberes Paddel, wodurch die Bildung von Schwimmschichten verhindert wird.

Die typische Bauweise der Firma NQ sieht eine zentrale Pumpstation mit leistungsstarker Drehkolbenpumpe vor, mittels derer das Gärgemisch von einem zum anderen Behälter gepumpt oder in denselben Gärbehälter recirkuliert werden kann. Der Drehkolbenpumpe ist ein sogenannter Hacker mit zwei gegenläufigen Messerwellen vorgeschaltet. Dieser soll die Substratpartikel zerreißen und somit die Durchmischung der Gärsuspension erleichtern.

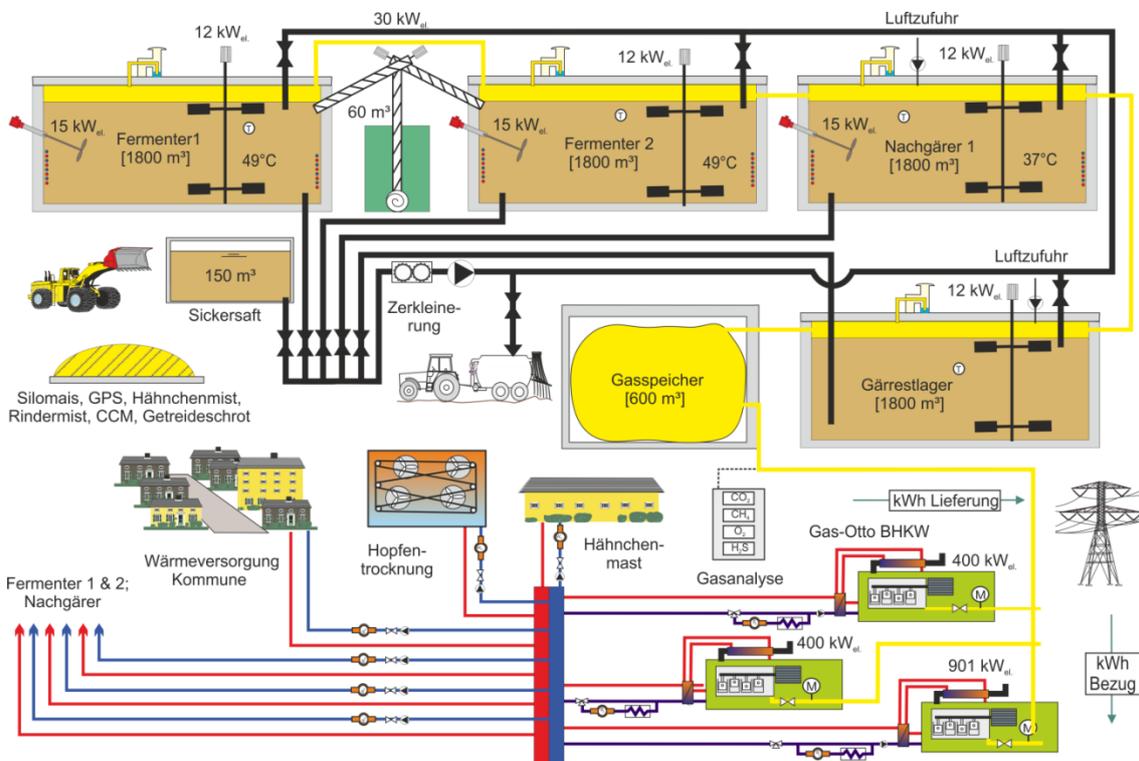


Abbildung 15-110: Anlagenschema von BGA26

Da alle Behälter von BGA 26 mit einer Betondecke versehen sind, erfolgt die Gaslagerung in einem separaten Betonbehälter mit integriertem Gasspeichersack (Kapazität: ca. 600 m³). Die Entfeuchtung des erzeugten Gases erfolgt mittels Klimagerät. Als Besonderheit wurde dieses Klimagerät so dimensioniert, dass damit im Falle einer Selbsterwärmung der Gärbehälter diese über einen Bypass auch gekühlt werden können trotz des Standorts der Anlage im Außenbereich kann ein großer Anteil der BHKW-Wärme genutzt werden, um Hähnchenmastställe, ein Nahwärmenetz in der Ortschaft sowie eine benachbarte Hopfentrocknungsanlage zu versorgen. Während der Hopfenerntekampagne übersteigt der Wärmebedarf für die Trocknung sogar die Wärmeleistung der Biogas-BHKW.

15.25.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die Anlage verfügt über ein Prozessleitsystem, aus dem die gespeicherten Messdaten ausgelesen werden können. In Tabelle 15-72 sind die wichtigsten Messaufgaben aufgelistet. Aufgrund einer durch eine Serverumstellung verursachten Störung wurden die Wärmedaten ab 1. Januar 2017 nicht mehr ausgelesen.

Tabelle 15-72: Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA26

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Masse der festen Einsatzstoffe	Wägezellen am Eintragscontainer	Tagesgenaue elektronische Erfassung der Beschickungsmengen
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	-	flüssige Einsatzstoffe wegen Trockenfermentationsbonus nicht gestattet
Gaszusammensetzung	Gasanalysator: Sensoren für CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Messung automatisch, elektronische Erfassung
Gasmenge	Volumenstrommesser an jedem BHKW; zusätzlich Temperatur- und Druckerfassung	Elektronische Erfassung
Stromerzeugung	Zähler für Produktion und Einspeisung	Elektronische Erfassung der täglichen Produktion; Einspeisung: monatlich
Eigenstromverbrauch	Messung durch Stromversorger	Daten über monatliche Stromabrechnung
Eigenwärmeverbrauch	Wärmemengenzähler: Hauptfermenter, Nachgärer, Notkühler, einzelne Wärmeabnehmer	Elektronische Erfassung nur bis Ende 2017, danach keine Daten vorhanden

15.25.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Daten von BGA 26 wurden von September 2016 bis August 2017 erhoben. Der Substratmix bestand überwiegend aus Energiepflanzen, wobei hier die Mais-Ganzpflanzensilage mit mehr als 70 % Frischmasseanteil dominierte und die übrigen pflanzlichen Zuschlagsstoffe eher eine untergeordnete Rolle spielten. Wirtschaftsdünger wurde ausschließlich in Form von Festmist aus der Hühner- und Rinderhaltung zu einem Frischmasseanteil von insgesamt rund 6 % eingesetzt. Die täglich gefütterte Menge an Substrat schwankte zwischen 25 und 36 t. Dies ist darauf zurückzuführen, dass trockensubstanzreiche Maiskornsilage mit hohem Energiepotential im zweiten Versuchsabschnitt durch Roggen-Ganzpflanzensilage mit vergleichsweise hohem

Wasseranteil und entsprechend niedrigem Energieinhalt ersetzt wurde. Insgesamt wurden im Mittel täglich 31 t Frischmasse eingetragen (vgl. Abbildung 15-111).

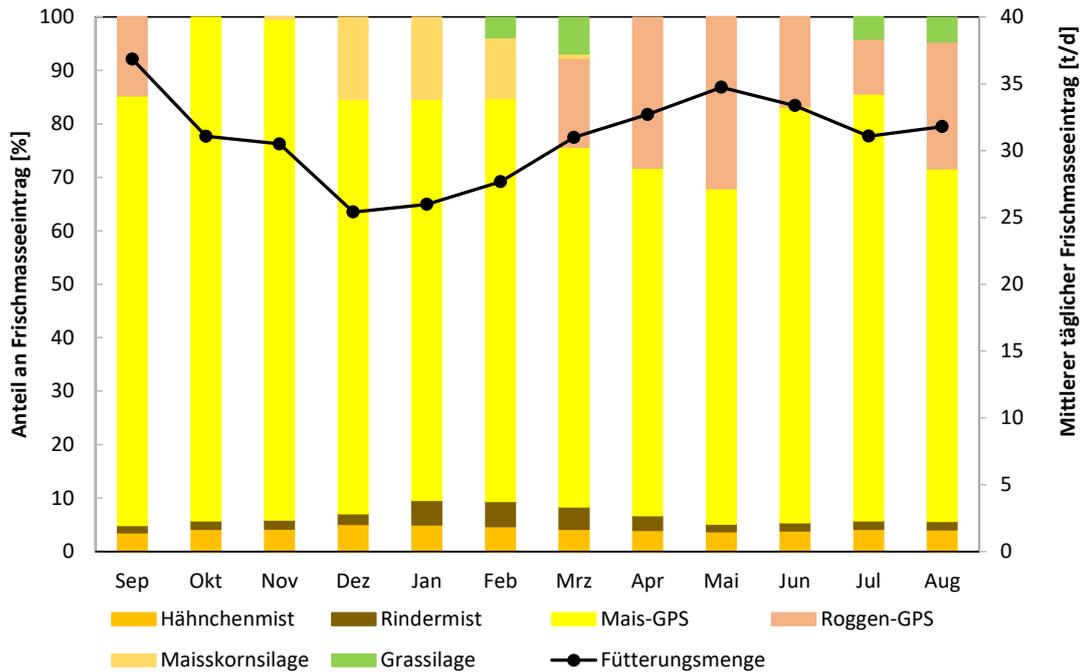


Abbildung 15-111: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Der FOS/TAC-Wert in Proben aus der ersten Vergärungsstufe schwankte über den gesamten Beobachtungszeitraum um einen mittleren Wert von 0,3, was unter Berücksichtigung der energiepflanzenbetonten Futtermischung als gut bewertet werden kann. Ob der Anstieg des FOS/TAC-Werts gegen Ende der Untersuchung durch die Zugabe von Grassilage und vermehrt Roggen-Ganzpflanzensilage verursacht wurde und sich hierdurch eine Prozessstörung andeutete, kann durch die verfügbaren Daten nicht belegt werden. Die gleiche Maßnahme im Februar und März hatte keine Auswirkungen auf diesen Prozessindikator (vgl. Abbildung 15-112).

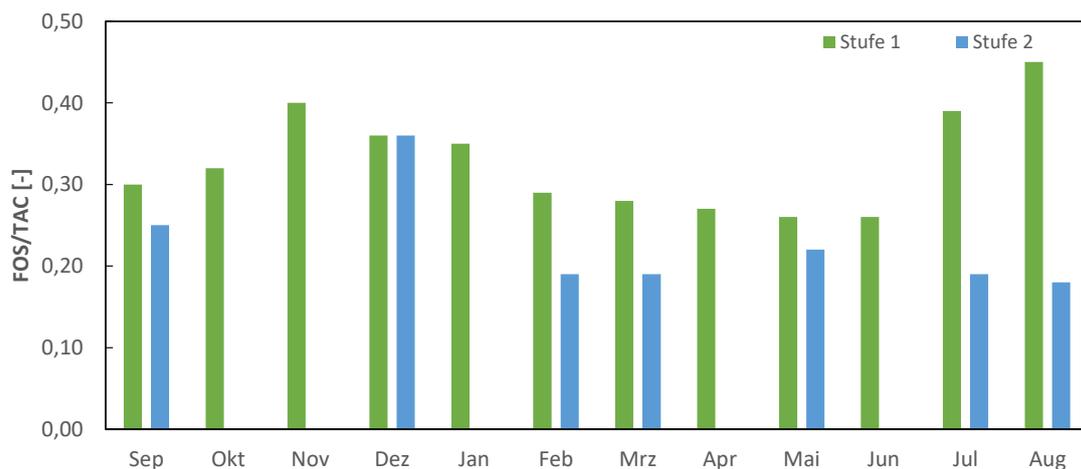


Abbildung 15-112: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe

Die Auslastung der installierten elektrischen Leistung betrug über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg im Mittel etwas mehr als 89 %. Dies ist unter Berücksichtigung der sehr trockensubstanzreichen Einsatzstoffe, die häufig technische Störungen verursachen, ein sehr respektables Ergebnis. Die genutzten Wärmemengen wurden monatlich erfasst. Im betrachteten Untersuchungszeitraum wurden insgesamt etwas mehr als 4.300 MWh thermische Energie genutzt. Die Versorgung eines kommunalen Nahwärmenetzes, einer Masthähnchenanlage sowie einer saisonal betriebenen Anlage zur Hopfentrocknung ermöglichten die Nutzung von 65 % der verfügbaren BHKW-Wärme (vgl. Abbildung 15-113).

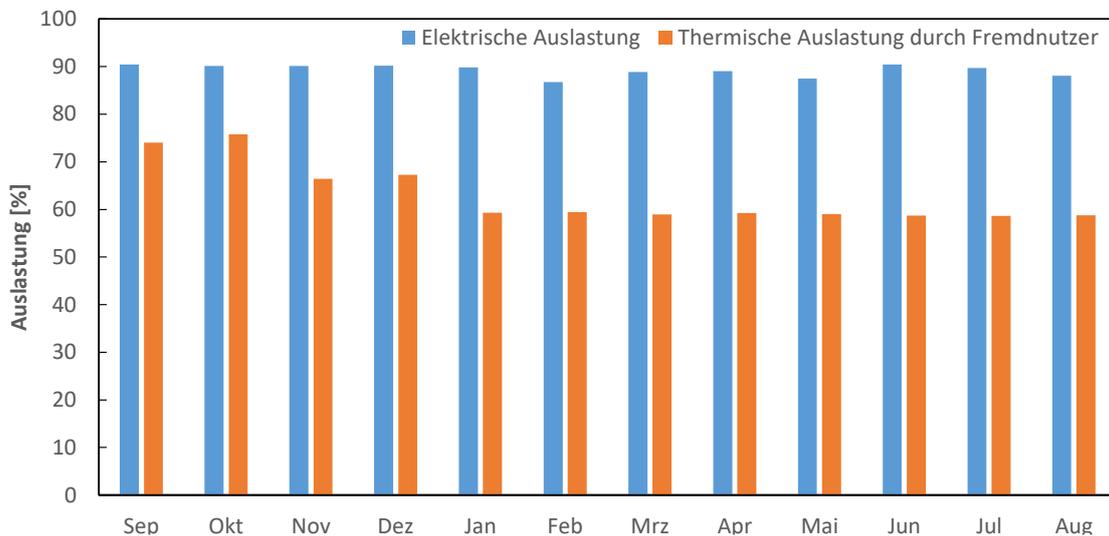


Abbildung 15-113: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie

In Tabelle 15-73 sind die wichtigsten Betriebs- und Leistungsparameter von Anlage 26 in einer Übersicht zusammengestellt. Hinsichtlich der über den Beobachtungszeitraum gemittelten Gasausbeute schneidet auch diese BGA mit mehr als 300 m³ Biogas pro t Frischmasse überdurchschnittlich gut ab. Entsprechend hoch fällt der Abbaugrad der Organik aus. Darüber hinaus wurden hohe elektrische und thermische Auslastungsgrade sowie ein vergleichsweise niedriger Eigenstrombedarf für den Anlagenbetrieb festgestellt. Aufgrund dieser Ergebnisse ist der Anlagenbetrieb während des Untersuchungszeitraums als effizient und erfolgreich zu werten.

Tabelle 15-73: Datenblatt der Biogasanlage 26

BGA 26					
Allgemeine Angaben:					
installierte elektrische Leistung	800 kW				
Inbetriebnahme	06.2005				
Zeitraum der Messphase	09.2016 bis 08.2017				
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente				
Gasverwertung	1 VOV-BHKW				
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein				
Betriebsform	Einzelhofanlage, Anschluss an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Hähnchenmast				
Bauliche Anlagen:					
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Einsatzstoffe:
Anzahl		2	1		Mengenangaben in FM
Reaktorvolumen	[m ³]	3.770	1.885	5.655	Gesamt-Jahresmenge
Arbeitsvolumen	[m ³]	3.600	1.800	5.400	Gesamt-Tagesmenge
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend		Grassilage
Gasspeichervolumen	[m ³]	0	0	0	Hühner trockenkot
Betriebsparameter:					
TS-Gehalt in FM	[%]	13,3	8,8		Mais-Ganzpflanzensilage
oTS-Gehalt in TS	[%]	81,1	78,7		Rindermist
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m ³ d)]			2,3 _{FS}	Roggen-Ganzpflanzensilage
Verweilzeit	[d]			175 _{FS}	Maiskornsilage
oTS-Abbau	[%]			89 _{GSV}	Einsatzstoffmix
FoTS-Ausbeute	[%]			106 _{GSV}	mittlerer TS-Gehalt in FM
CH ₄ -Produktivität	[m ³ /(m ³ d)]			0,6 _{FS}	mittlerer oTS-Gehalt in TS
BG-Produktivität	[m ³ /(m ³ d)]			1,8 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS
pH	[-]	8,1	8,0		Gärrestlager:
Temperatur	[°C]	49	37		Anzahl
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	3,4	3,7		Lagerkapazität gasdicht
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	7,3	5,8		Lagerkap. nicht gasdicht / offen
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	742	306		Gaspeichervolumen
FOS/TAC	[-]	0,33	0,23		relatives Restmethanpotential
Gasverwertung:					
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	56			TS-Gehalt im Gärrest in FM
		BHKW 1	BHKW 2		oTS-Gehalt im Gärrest in TS
Motortyp		GO	GO		Gasproduktion:
elektr. Nennleistung	[kW]	400	400		Messung
therm. Nennleistung	[kW]	432	432		am BHKW
elektr. Wirkungsgrad	[%]	38	38		Gaszusammensetzung
therm. Wirkungsgrad	[%]	41	41		[Vol-%] CH ₄
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast	Volllast		[Vol-%] CO ₂
Jahresbetriebsstunden	[h/a]				[Vol-%] O ₂
theor. Volllaststunden	[h/a]	7.722	7.917		[ppm] H ₂ S
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	88,2	90,4		Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas					
Eigenstrombedarf:					
BGA gesamt	[kWh/a]	423.088	7	[% der Stromproduktion]	Wärmeverwertung:
					Eigenbedarf BGA
					externe Wärmemenge
					[kWh/a]
					4.366.664
					65
					[% der Wärmeproduktion]

15.26 Biogasanlage 27

15.26.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage 27 wurde von der Firma Agraferm geplant und errichtet. Sie ist in einen tierhaltenden, ökologisch wirtschaftenden Betrieb integriert und speist seit dem Jahr 2005 Strom in das Netz ein. Da im Ökolandbau kein synthetischer Stickstoffdünger eingesetzt werden darf, baut der Betrieb zur Stickstofffixierung mehrjähriges Klee gras an, das in Form von Silage für die Biogasproduktion genutzt wird. Durch die Schnittnutzung und energetische Verwertung des Klee grasses wird nicht nur die Stickstofffixierleistung gesteigert, sondern dem Betrieb steht zusätzlich mit dem Gärrest auch ein gut dosierbares Düngemittel für die bedarfsgerechte Versorgung der Pflanzen zur Verfügung. Die Anlage wird ohne Zugabe flüssiger Einsatzstoffe betrieben und realisiert damit den Trockenfermentationsbonus gemäß EEG 2004. Außer der Klee grasssilage werden Maissilage, Getreideschrot und Putenmist nur in geringen Mengen zur Feinstuerung der Anlage eingesetzt.

Es handelt sich bei der Biogasanlage laut Hersteller um eine „Hochleistungsanlage“, welche durch ein einstufiges System mit einem im Verhältnis zur installierten elektrischen BHKW-Leistung knapp dimensionierten Fermentationsvolumen gekennzeichnet ist. Funktionsprinzip und Stoffströme von Biogasanlage 27 sind schematisch in Abbildung 15-114 dargestellt.

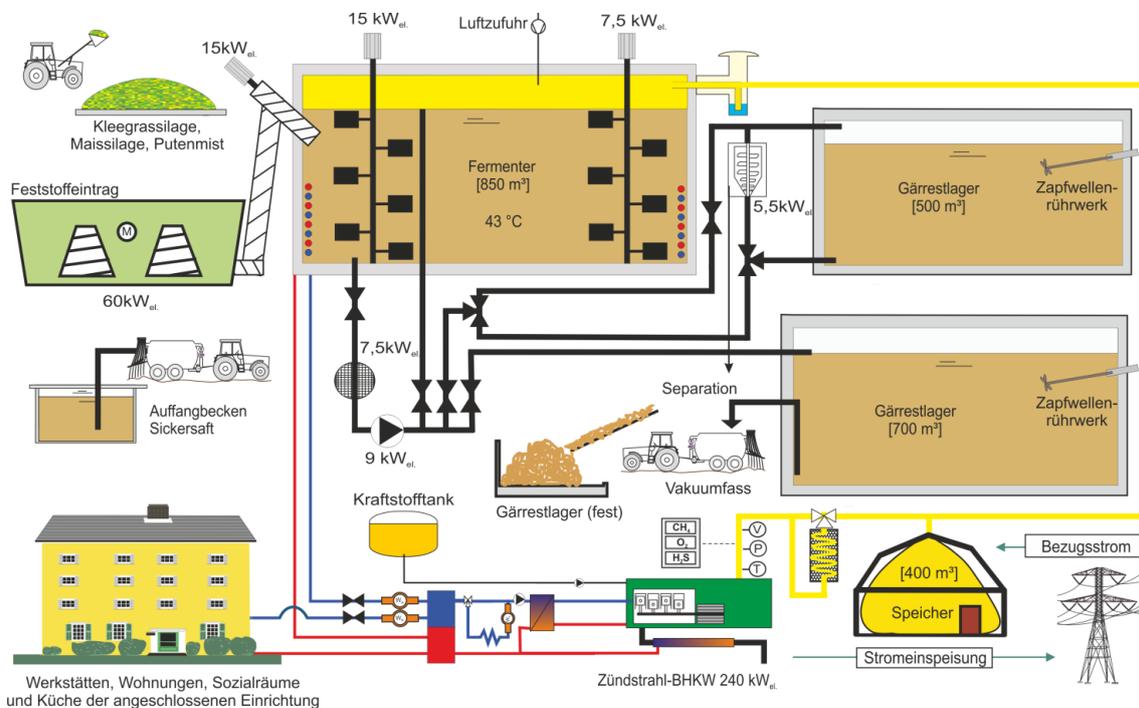


Abbildung 15-114: Anlagenschema der BGA 27

Der Gärbehälter aus Spannbeton-Fertigteilen mit Außendämmung weist ein Arbeitsvolumen von 850 m³ auf und wird mittels aufliegender Kunststoffrohr-Wandheizung auf durchschnittlich 43°C temperiert. Die Feststoffe werden mithilfe eines 40 m³ fassenden Zweischnellen-Vertikalmischers über eine Konstruktion aus Steig- und Stopfschnecke oben in den Fermenter eingetragen. Um das vergleichsweise zähe und dickflüssige Gärgemisch mit hohem Trockensubstanzgehalt durchmischen zu können, ist der Fermenter mit zwei exzentrisch angeordneten, stehenden Paddelrührwerken ausgestattet. Die Rührwerke zielen vor allem auf die radiale Vermischung und das Austreiben des entstehenden Biogases ab.

Der Einsatz der mit Ladewagen eingefahrenen und daher langfaserigen Klee grasssilage bedingt eine sehr hohe mechanische Belastung der Feststoffeintrags- und Rührtechnik. Die Feststoffe werden mithilfe eines 40 m³ fassenden Zweischnellen-Vertikalmischers über eine Konstruktion aus Steig- und Stopfschnecke oben in den Fermenter eingetragen. Um das vergleichsweise zähe und dickflüssige Gärgemisch mit hohem Trockensubstanzgehalt durchmischen zu können, ist der Fermenter mit zwei langsam laufenden, stehenden

Paddelrührwerken ausgestattet. Die Rührwerke zielen weniger auf eine vollständige Homogenisierung des Behälterinhalts ab, als vielmehr auf die radiale Vermischung und das Austreiben des entstehenden Biogases. Zur Verringerung der Viskosität des Gärgemisches wurde im Jahr 2011 eine Bypassleitung am Fermenter installiert, über die Substrat durch eine Exzentrerschneckenpumpe aus dem Fermenter angesaugt, durch einen Lochscheiben-Nasszerkleinerer mit integrierter Störstoffabscheidung gepumpt und anschließend wieder in den Fermenter zurückgefördert wird.

Das Gärgemisch aus dem Fermenter wird über die zentrale Exzentrerschneckenpumpe in einen Pressschneckenseparator gefördert und dort abgepresst. Der feste Anteil wird in einem überdachten Fahrsilo gelagert, die flüssige Phase in zwei nicht gasdicht ausgeführten Gärrestlagern mit einer Kapazität von ca. 1.200 m³.

Das Gas wird in einem separaten Gasspeichersack mit Einhausung (Kapazität: 400 m³) gelagert, nachdem es mithilfe einer aktiven Gaskühlung mit Klimagerät entfeuchtet wurde. Ein Zündstrahl-BHKW mit einer elektrischen Leistung von 240 kW wandelt das Biogas in Strom und Wärme um. Da der gesamte landwirtschaftliche Betrieb Teil einer sozialen Einrichtung mit Wohnhäusern und Werkstätten ist, kann die gesamte überschüssige BHKW-Wärme zur Versorgung der Gebäude verwertet werden.

15.26.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die Betriebsdaten der Biogasanlage sind sehr gut dokumentiert. Die für eine aussagekräftige Beurteilung wichtigen Parameter werden durch entsprechende Geräte messtechnisch erfasst und im Betriebstagebuch lückenlos aufgezeichnet. In Tabelle 15-74 sind die wichtigsten installierten Messgeräte aufgelistet.

Tabelle 15-74: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 27

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Menge der festen Einsatzstoffe	Wägezellen am Feststoffeintrag	Tägliche Dokumentation im BTB
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	-	Kein Einsatz flüssiger Substrate
Gaszusammensetzung	Gasanalysator mit Sensoren für: CH ₄ , O ₂ , H ₂ S	Messung 3 x täglich, Ablesung einmal täglich
Gasmenge	Volumenstromzähler; zusätzlich Temperatur und Druckerfassung	Tägliche Dokumentation im BTB
Stromerzeugung	Zähler am BHKW und am Einspeisetransformator	Tägliche Ablesung am BHKW Monatlich am Trafo
Eigenstrombedarf	Stromzähler zur Erfassung des Verbrauches von Biogasanlage und BHKW	Tägliche Dokumentation im BTB
Eigenwärmebedarf	Wärmemengenzähler	Dokumentation im BTB

15.26.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Die Daten von BGA 26 wurden von August 2016 bis Juli 2017 erhoben. Entsprechend den Zielen, die mit einer in die biologische Landwirtschaft integrierten Biogasanlage erreicht werden sollen, nämlich mit Hilfe der Vergärung des Leguminosen-Aufwuchses dessen Düngewirkung zu verbessern, bestand der Substratmix zu 73 % aus Kleegrassilage. Zur Stabilisierung des biologischen Prozesses wurden zusätzlich 17 % Mais-Ganzpflanzensilage verwendet. Der Rest

entfiel auf Wirtschaftsdünger in Form von Putenmist. Insgesamt ergab sich ein sehr trockensubstanz- und stickstoffreicher Einsatzstoffmix (36 % TS), der an die Anlagentechnik, die Biologie und folglich auch an das Anlagenmanagement hohe Anforderungen stellt. Die täglich gefütterte Menge an Substrat schwankte im Monatsmittel zwischen 12 und 14 t Frischmasse (vgl. Abbildung 15-115).

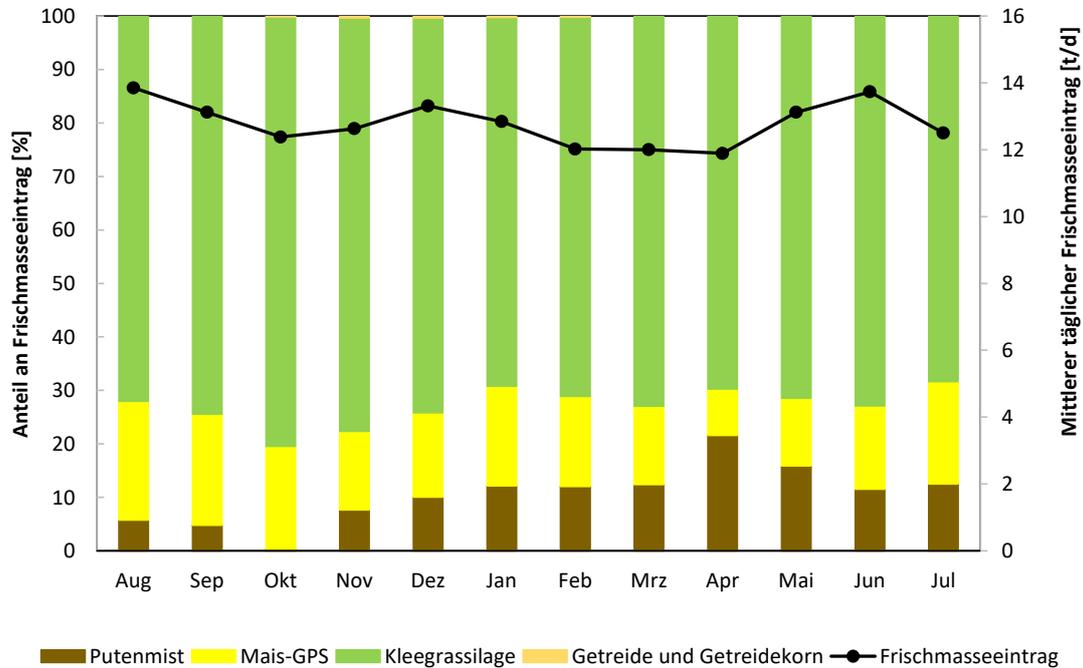


Abbildung 15-115: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge

Der FOS/TAC-Wert in Proben aus der einzigen Vergärungsstufe betrug im Mittel des gesamten Beobachtungszeitraums 0,35, was unter Berücksichtigung der Einsatzstoffe als gut bewertet werden kann. Tendenziell ist ein Anstieg des FOS/TAC gegen Ende der Untersuchung zu erkennen, wobei mit 0,5 der höchste Wert in der letzten Probe im Juli 2017 gemessen wurde (vgl. Abbildung 15-116). In derselben Probe wurde ein Essigsäureäquivalent von über 4 g/l gemessen und der Propionsäure-Gehalt betrug in etwa das Sechsfache des Gehalts an Essigsäure: Beide Prozessindikatoren deuteten damit klar auf ein stark belastetes biologisches System hin.

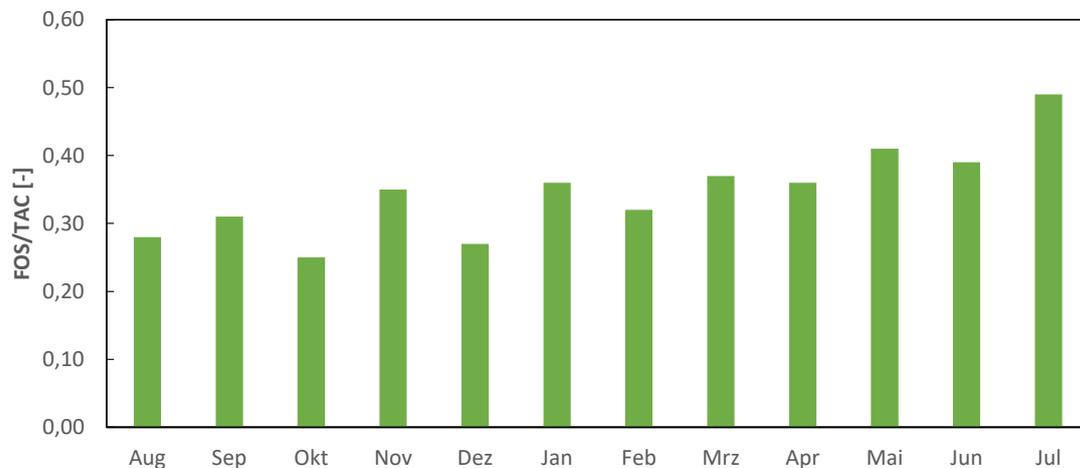


Abbildung 15-116: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten Vergärungsstufe

Die Auslastung der installierten elektrischen Leistung betrug über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg im Mittel etwas mehr als 87 %. Unter den gegebenen Umständen, mit sehr faser- und stickstoffreichen Einsatzstoffen, die häufige technische und biologische Störungen erwarten lassen, ist dies ein respektables Ergebnis. Diese These wird durch die Laufzeit des BHKW (8.620 h) im Untersuchungsjahr bekräftigt. Erwähnenswert ist die geringe Leistungsausnutzung im Juli 2017, als zeitgleich die Prozessindikatoren auf biologische Probleme hinwiesen (vgl. Abbildung 15-117).

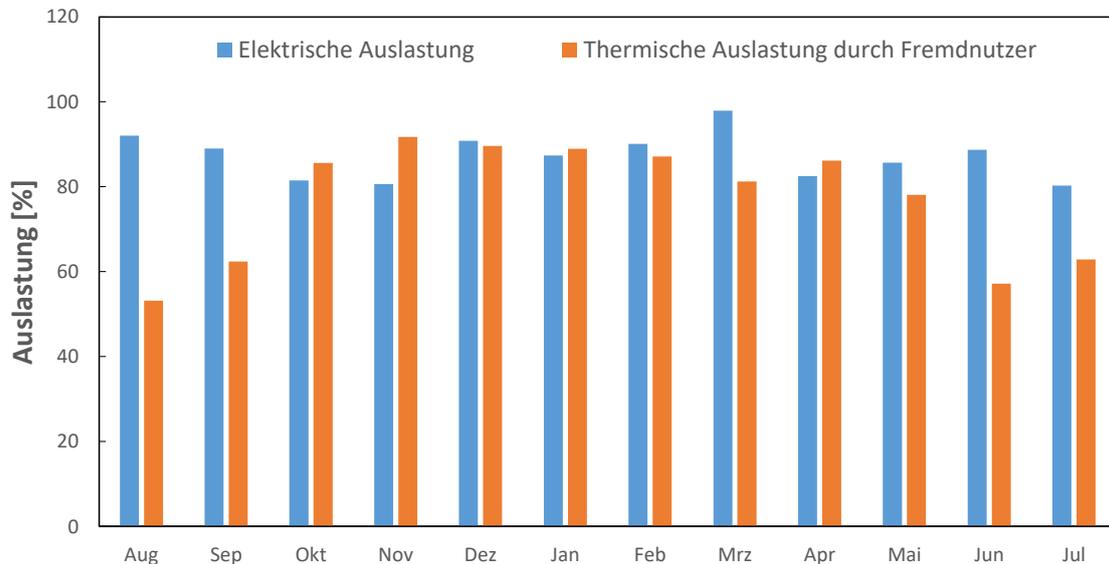


Abbildung 15-117: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie

Die genutzten Wärmemengen konnten monatlich erfasst werden und betragen im Jahresgang rund 76 % der produzierten thermischen Energie, wobei der Nutzungsgrad in den Wintermonaten stets über 85 % lag. Im betrachteten Untersuchungsjahr wurden insgesamt etwas mehr als 1.400 MWh thermische Energie genutzt. Die Versorgung von Wohn- und Werkstätten der sozialen Einrichtung, die auch die Landwirtschaft und die Biogasanlage betreiben, ermöglichten derart hohe Wärmenutzungsgrade.

In Tabelle 15-75 sind die wichtigsten Betriebs- und Leistungsparameter der Anlage aufgelistet. Hinsichtlich der über den Beobachtungszeitraum ermittelten mittleren Gasausbeuten schneidet die BGA mit ca. 170 m³ Biogas pro t Frischmasse durchschnittlich ab, was den faserreichen und schwer abbaubaren Einsatzstoffen geschuldet ist. Entsprechend gering fiel mit rund 68 % der Abbaugrad der Organik aus. Der Eigenstrombedarf war hier aufgrund des hohen Aufwands an Rührerenergie sehr hoch.

Tabelle 15-75: Datenblatt der Biogasanlage 27

BGA 27					
Allgemeine Angaben:					
installierte elektrische Leistung	240 kW				
Inbetriebnahme	2005				
Zeitraum der Messphase	08.2016 - 07.2017				
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente				
Gasverwertung	1 VOV-BHKW				
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein				
Betriebsform	Einzelhofanlage, Anschluss an einen landwirtschaftlichen Betrieb mit Geflügelhaltung				
Bauliche Anlagen:			Einsatzstoffe:		
Benennung	Fermenter		Fermentersystem		Mengenangaben in FM
Anzahl	1				Gesamt-Jahresmenge
Reaktorvolumen	[m³]	925	925		4.668 [t/a]
Arbeitsvolumen	[m³]	850	850		Gesamt-Tagesmenge
stehend / liegend	[-]	stehend			12,8 [t/d]
Gasspeichervolumen	[m³]	0	0		Mais-Ganzpflanzensilage
			16,7 [%]		
			Putenmist		
			10,5 [%]		
			Kleegrassilage		
			72,8 [%]		
Betriebsparameter:					
TS-Gehalt in FM	[%]	15,7			
oTS-Gehalt in TS	[%]	74,3			
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]		4,9 _{FS}	Einsatzstoffmix	
Verweilzeit	[d]		66 _{FS}	mittlerer TS-Gehalt in FM	36,4 [%]
oTS-Abbau	[%]		72 _{GSY}	mittlerer oTS-Gehalt in TS	90,0 [%]
FoTS-Ausbeute	[%]		85 _{GSY}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	65,6 [%]
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]		1,3 _{FS}		
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]		2,5 _{FS}		
pH	[-]	8,2			
Temperatur	[°C]	43			
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	3,7			
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	7,3			
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	1.340			
FOS/TAC	[-]	0,35			
Gärrestlager:					
Anzahl					
2					
Lagerkapazität gasdicht					
0 [m³]					
Lagerkap. nicht gasdicht / offen					
1.200 [m³]					
Gasspeichervolumen					
0 [m³]					
relatives Restmethanpotential					
6,7* [%]					
TS-Gehalt im Gärrest in FM					
15,7 [%]					
oTS-Gehalt im Gärrest in TS					
74,3 [%]					
*Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter					
Gasverwertung:			Gasproduktion:		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	72			
			Messung am BHKW		
			Gaszusammensetzung		
			[Vol-%]	CH ₄	51,7
			[Vol-%]	CO ₂	-
			[Vol-%]	O ₂	0,3
			[ppm]	H ₂ S	107
Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix					
				Biogas	Methan
			[m³/t] in FM	167	86
			[m³/t] in oTS	509	263
Stromproduktion					
			[kWh/d]	5.022	
			[kWh/t]	393	
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas					
Eigenstrombedarf:			Wärmeverwertung:		
	[kWh/a]			[kWh/a]	
BGA gesamt	278.910	15	[% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	94.391
davon BHKW	80.063	4	[% der Stromproduktion]	externe Wärmemenge	1.424.336
davon BGA	198.847	11	[% der Stromproduktion]		5
					76
					[% der Wärmeproduktion]

Tabelle 15-76: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 27 im Jahr 2017

BGA 27			
installierte elektrische Leistung	240 kW	eingespeiste Strommenge 2017	1.751.955 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	228 kW	Gesamtinvestitionsvolumen	1.290.000 €
Leistungen			
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	84,95 %		388.759 €/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	15,05 %		68.893 €/a
Sonstige Erlöse	0,00 %		- €/a
Gesamterlöse	100 %		457.653 €/a
Kosten			
Substratkosten	36,83 %		122.312 €/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>			
<i>Mais</i>	35,00 €/t		25.900 €/a
<i>Gras</i>	28 €/t		93.080 €/a
<i>Restliche NawaRo</i>	110,00 €/t		1.111 €/a
Personalkosten	9,03 %		30.000 €/a
Instandhaltungskosten	21,08 %		70.000 €/a
Abschreibungen	11,66 %		38.738 €/a
Sonstige Betriebskosten	21,40 %		71.264 €/a
<i>davon</i>			
<i>Zündöl</i>			13.438 €/a
<i>Strombezug¹</i>			34.949 €/a
<i>Miete und Pacht</i>			- €/a
<i>Maschinenmiete und Leasing</i>			- €/a
<i>Prozessbetreuung und Beratung</i>			1.000 €/a
<i>Versicherungen, Beiträge und Abgaben</i>			1.000 €/a
<i>Berufsgenossenschaft</i>			300 €/a
<i>Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel</i>			5.000 €/a
<i>Zinszahlungen²</i>			12.577 €/a
<i>Buchführung und Verwaltung</i>			- €/a
<i>Sonstiges</i>			3.000 €/a
Gesamtkosten	100 %		332.314 €/a
Bilanz			
Gesamterlöse		26,12	ct/kWh
Stromgestehungskosten		18,97	ct/kWh
Betriebszweigergebnis		7,15	ct/kWh
Betriebszweigergebnis		125.339	€/a

¹ Teil-Überschusseinspeisung; Strombedarf des BHKW durch Eigenversorgung gedeckt

² Abschätzung der Zinszahlungen aus der Angabe von Kreditvolumen, Kreditlaufzeit und effektiven Jahreszins

15.27 Biogasanlage 28

15.27.1 Anlagenbeschreibung

Die von der Firma Novatech geplante und errichtete Biogasanlage 28 ist in einen tierhaltenden, ökologisch wirtschaftenden Gutsbetrieb integriert und speist seit dem Jahr 2008 Strom in das Netz ein (vgl. Abbildung 15-118).



Abbildung 15-118: Ansicht der BGA28 mit Biomasseheizkraftwerk (links im Hintergrund)

Der pflanzenbauliche Schwerpunkt des Betriebs liegt in der Saatgutvermehrung und -erzeugung. Gründe für die Errichtung einer Biogasanlage auf dem Betrieb waren die energetische Nutzung des in der Ökofruchtfolge zur Stickstofffixierung angebauten mehrjährigen Klee-grases und die gleichzeitige Erzeugung eines dosierbaren organischen Düngers für die Ökosaatgutvermehrung in Form des Gärrestes. Zur Regulation des C:N-Verhältnisses im Gärgemisch wird der Substratmix durch zugekaufte Maissilage, Getreide-GPS und im Betrieb anfallenden Rindermist ergänzt. Die Biogasanlage wird gänzlich ohne Zugabe von flüssigen Einsatzstoffen betrieben und realisiert den Trockenfermentationsbonus gemäß EEG 2004.

Eine Besonderheit der Anlage stellt der liegende Pfropfenstromfermenter (Arbeitsvolumen: ca. 900 m³) dar, der rundum wärmege-dämmt ist und mithilfe von Edelstahlrohr-Wandheizungen auf 44°C temperiert wird. Das durchgehende, sehr langsam laufende Haspelrührwerk im Hauptfermenter zielt auf die radiale Vermischung des durch den hohen Klee-grasanteil sehr zähen Gärgemisches ab. Die Rührwelle ist in der Mitte geteilt und wird von zwei synchronisierten Getriebemotoren mit FU angetrieben. Die festen Einsatzstoffe werden aus einem 35 m³ fassenden Abschiebecontainer mittels stehender Fräs-walzen in eine Trogschnecke dosiert und von dort über eine senkrechte Steigschnecke und eine Stopfschnecke auf der Stirnseite in den Behälter gefördert.

Dem Fermenter ist ein stehender Nachgärbehälter (Arbeitsvolumen: ca. 2.300 m³) mit Tragluftdach zur Gasspeicherung (Kapazität: 850 m³) nachgeschaltet (vgl. Abbildung 15-118). Der an Wand und Boden wärmege-dämmt und mit Heizleitungen versehene Nachgärer wird auf 38 °C temperiert und mit einer Kombination aus langsam drehendem Langachsrührwerk und schnell drehendem Tauchmotorrührwerk durchmischt. Eine Drehkolbenpumpe fördert das Gärgemisch aus dem Fermenter durch einen Lochscheiben-Nasszerkleinerer in den Nachgärer. In der Fahrsiloanlage anfallender Silagesickersaft wird von einer Kreiselpumpe aus der Vorrube

Tabelle 15-77: Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA28

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Masse der festen Einsatzstoffe	Eintragscontainer mit Wägezellen	Tägliche Dokumentation der eingebrachten Mengen
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	-	Flüssige Einsatzstoffe wegen Trockenfermentationsbonus nicht gestattet.
Gaszusammensetzung	Gasanalysegerät mit Sensoren für CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S	Messung regelmäßig, Dokumentation täglich
Gasmenge	Je BHKW ein Volumenstromzähler	Tägliche Dokumentation im BTB
Stromerzeugung	Zähler an den BHKW und am Einspeisetransformator	Tägliche Ablesung am BHKW, monatlich am Trafo
Eigenstromverbrauch	Drei Zähler: BHKW 1 & 2, übrige Verbraucher	Tägliche Dokumentation im BTB
Eigenwärmeverbrauch	Wärmebedarf der Anlage über Wärmemengenzähler	Tägliche Dokumentation des Verbrauchs der Anlage im BTB

15.27.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Angepasst an die biologische Landwirtschaft wurde in dieser Biogasanlage während des Beobachtungszeitraums Kleegrassilage als Hauptsubstrat eingesetzt, zum Erhalt des Güllebonus außerdem in größerem Umfang Rindermist. Maissilage und Getreide spielten eine untergeordnete Rolle. Entsprechend der faserreichen Einsatzstoffe lag der mittlere TS-Gehalt des eingetragenen Substratmix bei ca. 29 %. Durchschnittlich wurden täglich 25,5 t Frischmaterial gefüttert. Geringere Futtermengen zu Beginn und vier Monate vor Ende des Untersuchungszeitraums wirkten sich auf die Stromproduktion in diesen Phasen aus. Höhere Gaben von Kleegrassilage zur Kompensation der nicht mehr vorrätigen Maissilage ab Juni wirkten sich erst im Juli positiv auf die Stromproduktion aus (vgl. Abbildung 15-120 und Abbildung 15-122).

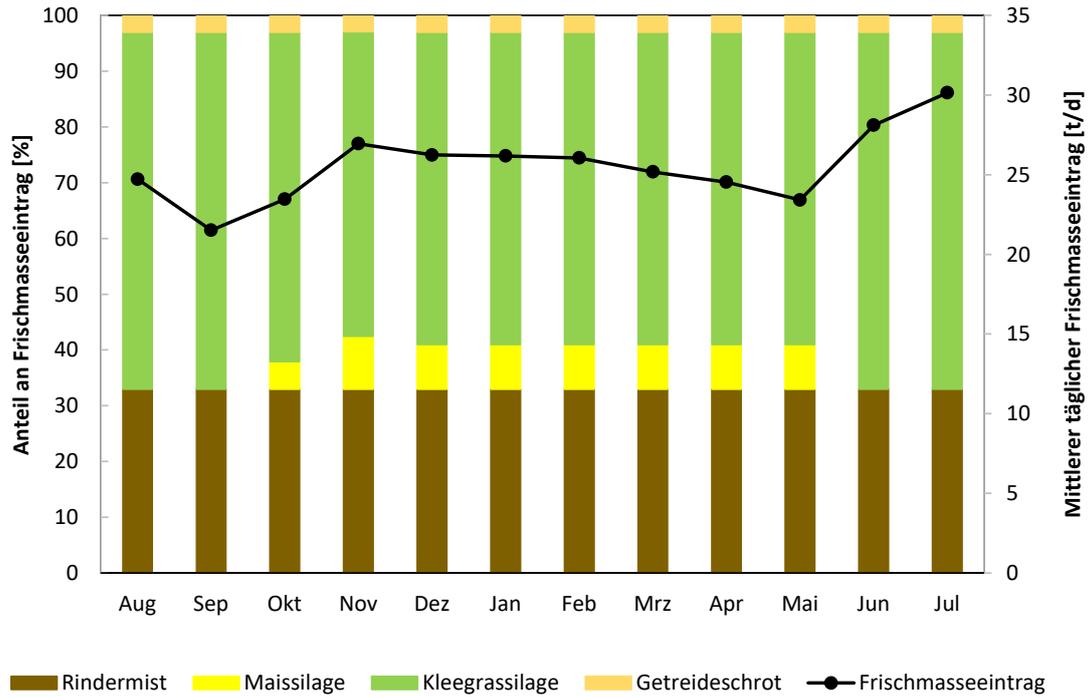


Abbildung 15-120: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung

Die gemessenen FOS/TAC-Werte in Proben aus der ersten Stufe (Fermenter) lagen im Mittel bei 0,3 und damit auf unkritischem Niveau. Lediglich die Probe aus dem November erreichte zeitgleich mit den höchsten Fütterungsraten knapp die verwendete Warnschwelle von 0,5. Das Ersetzen eines Teiles der Kleegrassilage durch Maissilage im Winterhalbjahr hatte nicht wie häufig beobachtet eine Verringerung, sondern vielmehr eine leichte Erhöhung des FOS/TAC zur Folge. In Proben aus der zweiten Gärstufe lag der FOS/TAC im Mittel bei 0,25. Insgesamt deutet keiner der gemessenen Werte auf eine Prozessstörung hin (vgl. Abbildung 15-121).

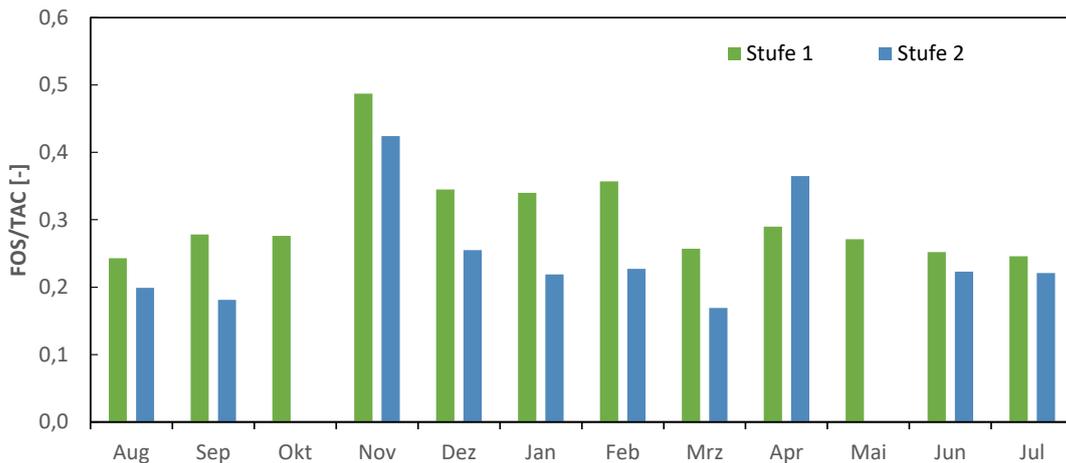


Abbildung 15-121: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe

Bezogen auf die Höchstbemessungsleistung konnte die zur Verfügung stehende elektrische Leistung der BHKW durchschnittlich zu 85 % ausgelastet werden, wobei mit Werten von 74 % bis 93 % im Verlauf des Beobachtungszeitraums deutliche Schwankungen bei der elektrischen Auslastung auftraten. Von Oktober bis März wurde am meisten Strom produziert, eine Phase in der das Hauptsubstrat Kleegrassilage teilweise durch Silomais ersetzt wurde. Warum die Produktion bereits im April zurückging, als immer noch Mais gefüttert wurde, ist nicht geklärt.

Die theoretisch verfügbare BHKW-Wärme konnte durchschnittlich zu 60 % extern genutzt werden. Dieser im Vergleich als sehr hoch zu bezeichnende Wärmenutzungsgrad beruht darauf, dass die angeschlossenen Betriebsgebäude und das mit Tagungs- und Gastronomieräumen ausgestattete Schloss einen hohen Wärmebedarf aufweisen, der meist deutlich über der Wärmeleistung der Biogas-BHKW liegt (vgl. Abbildung 15-122 und Tabelle 15-78).

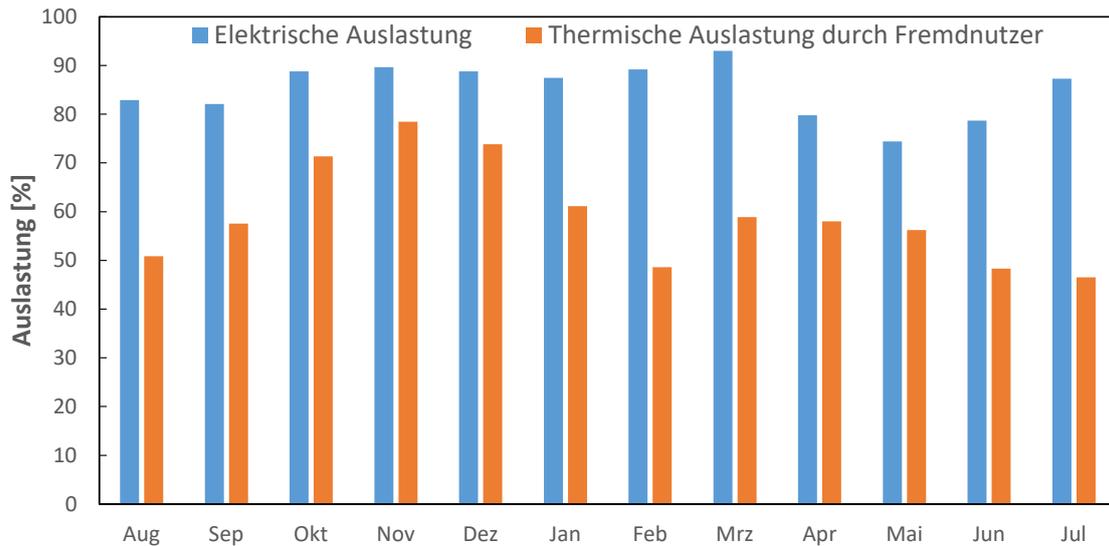


Abbildung 15-122: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie

Tabelle 15-78: Datenblatt der Biogasanlage 28

BGA 28						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	440 kW					
Inbetriebnahme	12.2008					
Zeitraum der Messphase	08.2016 - 07.2017					
Einsatzstoffe	NaWaRo, tierische Exkrememente					
Gasverwertung	2 VOV-BHKW					
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein					
Betriebsform	Einzelhofanlage mit angeschlossenem landwirtschaftlichen Betrieb					
Bauliche Anlagen:						
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Einsatzstoffe:	
Anzahl		1	1		Mengenangaben in FM	
Reaktorvolumen	[m³]	900	2.500	3.400	Gesamt-Jahresmenge	9.322 [t/a]
Arbeitsvolumen	[m³]	900	2.300	3.200	Gesamt-Tagesmenge	25,5 [t/d]
stehend / liegend	[-]	liegend	stehend		Mais-Ganzpflanzensilage	5,1 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	0	850	850	Rindermist	33,0 [%]
Betriebsparameter:						
TS-Gehalt in FM	[%]	12,0	9,8		Getreide und Getreidekorn	3,0 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	77,0	74,1		Kleegrassilage	58,9 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			2,0 _{FS}	Einsatzstoffmix	
Verweilzeit	[d]			12 _{FS}	mittlerer TS-Gehalt in FM	28,3 [%]
oTS-Abbau	[%]			78 _{GSY}	mittlerer oTS-Gehalt in TS	89,3 [%]
FoTS-Ausbeute	[%]			135 _{GSY}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	57,7 [%]
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]			0,8 _{FS}	Gärrestlager:	
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]			1,4 _{FS}	Anzahl	1
pH	[-]	7,9	7,8		Lagerkapazität gasdicht	2.700 [m³]
Temperatur	[°C]	42	39		Lagerkap. nicht gasdicht / offen	0 [m³]
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,2			Gasspeichervolumen	1.100 [m³]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	5,5			relatives Restmethanpotential	3,8* [%]
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	309	115		TS-Gehalt im Gärrest in FM	8,2 [%]
FOS/TAC	[-]	0,30	0,25		oTS-Gehalt im Gärrest in TS	71,8 [%]
*Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter						
Gasverwertung:						
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	47		Gasproduktion:		
		BHKW 1	BHKW 2	Messung	vor BHKW	
Motortyp		GO	GO	Gaszusammensetzung		
elektr. Nennleistung	[kW]	250	190	[Vol-%]	CH ₄	54,1
therm. Nennleistung	[kW]	267	244	[Vol-%]	CO ₂	33,0
elektr. Wirkungsgrad	[%]	39,0	38,5	[Vol-%]	O ₂	0,3
therm. Wirkungsgrad	[%]	41,7	49,5	[ppm]	H ₂ S	108
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast	Volllast	Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix		
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	8.600	7.782		Biogas	Methan
theor. Volllaststunden	[h/a]	7.510	7.397	[m³/t] in FM	175	95
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	86	84	[m³/t] in oTS	692	374
Stromproduktion						
				[kWh/d]	8.545	
				[kWh/t]	335	
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas						
Eigenstrombedarf:						
BGA gesamt	[kWh/a]	351.018	11	[% der Stromproduktion]	Wärmeverwertung:	
					[kWh/a]	325.329
						9
						60
						459.864
						13
						1.690.888
						47
						mit Tagungs- und Gastronomieräumen

Tabelle 15-79: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 28 im Jahr 2017

BGA 28				
installierte elektrische Leistung	440	kW	eingespeiste Strommenge 2017	3.146.652 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	418	kW	Gesamtinvestitionsvolumen	2.494.000 €
Leistungen				
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	83,56	%	772.632	€/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	16,44	%	151.976	€/a
Sonstige Erlöse	0,00	%	-	€/a
Gesamterlöse	100	%	924.607	€/a
Kosten				
Substratkosten	26,14	%	215.292	€/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>				
Mais	31,30	€/t	30.236	€/a
Gras	24	€/t	185.056	€/a
Restliche NawaRo	-	€/t	-	€/a
Personalkosten	7,31	%	60.200	€/a
Instandhaltungskosten	10,78	%	88.763	€/a
Abschreibungen	23,16	%	190.725	€/a
Sonstige Betriebskosten	32,62	%	268.698	€/a
<i>davon</i>				
Zündöl			-	€/a
Strombezug			52.543	€/a
Miete und Pacht			186.000	€/a
Maschinenmiete und Leasing			12.055	€/a
Prozessbetreuung und Beratung			4.900	€/a
Versicherungen, Beiträge und Abgaben			7.600	€/a
Berufsgenossenschaft			-	€/a
Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel			-	€/a
Zinszahlungen			-	€/a
Buchführung und Verwaltung			-	€/a
Sonstiges			5.600	€/a
Gesamtkosten	100	%	823.677	€/a
Bilanz				
Gesamterlöse			29,38	ct/kWh
Stromgestehungskosten			26,18	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			3,21	ct/kWh
Betriebszweigergebnis			100.930	€/a

15.28 Biogasanlage 29

15.28.1 Anlagenbeschreibung

Die von der Firma Agrikomp konzipierte und schlüsselfertig gebaute Biogasanlage 29 des Typs GÜLLEWERK liegt im oberbayerischen Landkreis Eichstätt. Sie ist in einen großen Schweinemast- und Zuchtsauenbetrieb integriert und speist seit dem Jahr 2011 Strom in das öffentliche Netz ein. Der Schwerpunkt dieses landwirtschaftlichen Betriebes liegt nicht in der Biogaserzeugung, sondern im Marktfrucht- und Futterbau mit angeschlossener Veredelung. In der Hofbiogasanlage besteht der Substratmix zu 80 % aus betriebseigenem Wirtschaftsdünger und zu 20 % aus Energiepflanzen bzw. Futterresten (Frischmasseanteile).

Eine Besonderheit dieser Anlage ist die kompakte, modulare Bauweise, die sich durch einen geringen Platzbedarf auszeichnet. Dabei sind Fermenter, Anlagensteuerung, Pumpen, Behälterheizung, Gasaufbereitung und BHKW in einem einzigen Container untergebracht, der vollständig vormontiert mithilfe eines Schwerlastkranes am Standplatz abgestellt und angeschlossen wurde.

Der liegende Fermenter (Arbeitsvolumen: ca. 110 m³) ist als Pfpfenströmer mit einem durchgehenden zentralen Haspelrührwerk ausgeführt, das einseitig von einem Getriebemotor mit Frequenzumrichter langsam gedreht wird. Der wärmeisolierte Behälter wird durch einen externen Wärmetauscher auf 53°C temperiert. Die gärobiologischen Prozessindikatoren zeigen, dass sich im Fermenter ein Milieu eingestellt hat, das typisch für eine Hydrolyse-/Versäuerungsstufe ist. Der Behälter wird daher im Weiteren als „Hydrolyse(stufe)“ bezeichnet.

Feste Einsatzstoffe werden aus einem 7 m³ fassenden Vorlagetrichter mittels zweier Auflöseschnecken in eine Trog- bzw. Steigschnecke dosiert. Diese übergibt das Material an eine Stopfschnecke, die von oben in die Hydrolyse fördert. Gülle, die aus den angrenzenden eigenen Schweineställen in der Vorgrube (Lagervolumen: 75 m³) zusammenläuft, wird von einer Exzentrerschneckenpumpe angesaugt und in die Hydrolyse gefördert. Der Hydrolyse nachgeschaltet ist ein stehender Behälter (Arbeitsvolumen: ca. 850 m³) mit EPDM-Gasspeicherhaube (Lagervolumen: ca. 200 m³). Der sowohl an der Wand wie auch am Boden wärmeisolierte Behälter wird ebenfalls durch den externen Wärmetauscher beheizt und auf etwa 39°C temperiert. Durchmischt wird er mittels eines Tauchmotorrührwerkes.

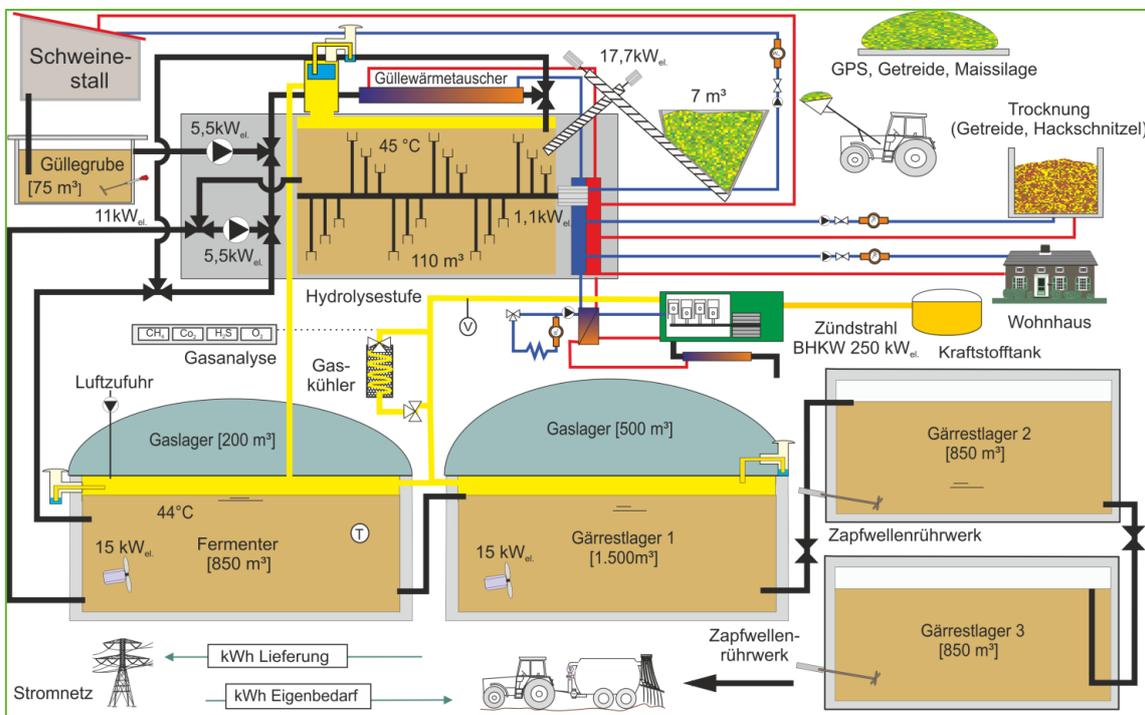


Abbildung 15-123: Anlagenschema der BGA 29

Über einen freien Überlauf gelangt der Gärrest in ein Gärrestlager mit Gaserfassung (Arbeitsvolumen: ca. 1.500 m³), das ebenfalls mit einer EPDM-Gasspeicherhaube ausgestattet ist (Kapazität: 500 m³). Von hier fließt der Gärrest über zwei weitere freie Überläufe in zwei baugleiche, nicht gasdicht ausgeführte Gärrestlager (Kapazität: je ca. 850 m³).

Die Kühlung und Entfeuchtung des erzeugten Biogases erfolgt durch eine aktive Gaskühlung mit Klimagerät. Ein Zündstrahl-BHKW mit einer elektrischen Leistung von 250 kW wandelt das Gas in Strom und Wärme um. Überschüssige Wärme dient zur Versorgung der angrenzenden Stallungen und eines Wohnhauses. Funktionsprinzip und Stoffströme von Biogasanlage 28 sind schematisch in Abbildung 15-123 dargestellt.

15.28.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die messtechnische Ausstattung sowie die Dokumentation der gemessenen Größen sind an dieser Biogasanlage gut. Lediglich die flüssigen Substratmengen konnten nur indirekt bestimmt werden. Nicht erfasst wurde nur der Wärmeverbrauch der Anlage. Die für eine aussagekräftige Beurteilung erforderlichen Betriebsparameter wurden vom Betreiber für den gesamten Untersuchungszeitraum in lückenloser Form zur Verfügung gestellt. In Tabelle 15-80 sind die wichtigsten Messgeräte aufgelistet.

Tabelle 15-80: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 29

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Menge der festen Einsatzstoffe	Wägezellen am Feststoffeintrag	Tägliche Dokumentation im BTB
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	Kombination von Pumpenlaufzeit und Nenndurchfluss der Pumpe	Angaben relativ ungenau (fehlende Messtechnik), täglich dokumentiert
Gaszusammensetzung	Gasanalysator mit Sensoren für: CH ₄ , O ₂ , H ₂ S	Messung regelmäßig, tägliche Dokumentation
Gasmenge	Drallzähler	Automatisierte Umrechnung in Normvolumen; Tägliche Dokumentation
Stromerzeugung	Zähler am BHKW und am Einspeisepunkt	Tägliche Ablesung am BHKW Monatlich am Trafo
Eigenstrombedarf	Separate Zähler zur Erfassung des Eigenstromverbrauches	Tägliche Dokumentation
Eigenwärmebedarf	-	Keine Wärmemengenzähler vorhanden

15.28.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

In der BGA 29 lag der frischmassebezogene Anteil an Schweinegülle im Substratmix deutlich über 60 %. Die zugeführten Energiepflanzen bestanden im Wesentlichen aus Mais-Ganzpflanzensilage und Getreideschrot. Täglich wurden im Durchschnitt 20 t Frischmasse eingetragen, wobei aufgrund des hohen Schweinegülleanteils der durchschnittliche TS-Gehalt der Substratmischung unter 20 % lag. Ab Dezember wurde die Futtermenge reduziert, jedoch der Energiepflanzenanteil geringfügig erhöht (vgl. Abbildung 15-124). Daraufhin kam es zu einem leichten Anstieg des BHKW-Auslastungsgrades (vgl. Abbildung 15-126).

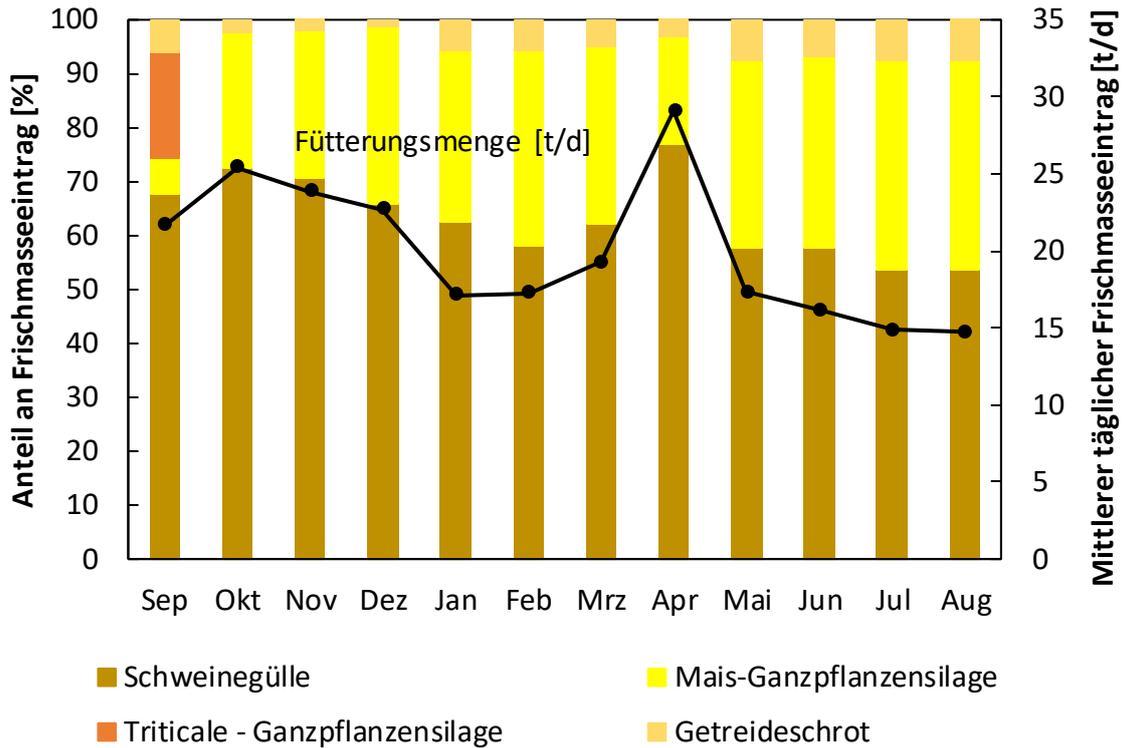


Abbildung 15-124: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung

Der FOS/TAC-Wert in Proben aus der zweiten Stufe (Fermenter) lag im Mittel bei 0,55 und damit vergleichsweise hoch. Außerdem schwankten die Werte innerhalb des Untersuchungszeitraums sehr stark (vgl. Abbildung 15-125). In den Monaten mit den höchsten FOS/TAC-Werten (> 1) wurden auch gleichzeitig sehr ungünstige Gehalte an flüchtigen Fettsäuren gemessen. Im April und Juli 2017 etwa betrug die Gehalte an Capronsäure im Gärgemisch deutlich mehr als 2 g/l, was auf eine Störung der biologischen Verhältnisse hinweist. Niedrige FOS/TAC-Werte gingen hingegen stets mit geringen Konzentrationen an flüchtigen Fettsäuren einher.

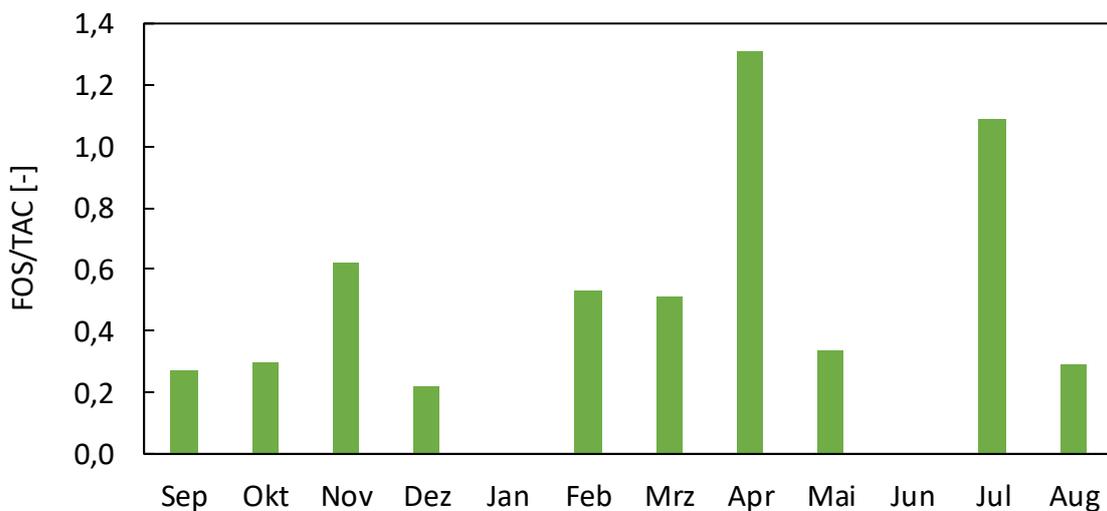


Abbildung 15-125: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten Vergärungsstufe

Die zur Verfügung stehende elektrische Leistung des BHKW konnte durchschnittlich zu 91 % ausgelastet werden. Angesichts der z. T. instabilen Verhältnisse der Fermenterbiologie ist dies ein gutes Ergebnis, das auf die ausgleichende Funktion des Nachgärbehälters zurückzuführen sein dürfte. Die Stromproduktion verlief innerhalb des Beobachtungszeitraums sehr gleichmäßig. Lediglich in den Monaten mit niedrigerem Energiepflanzenanteil (September bis November) wurde etwas weniger produziert. Im Durchschnitt konnten rund 24 % der anfallenden Abwärme außerhalb der Biogasanlage genutzt werden. Der Großteil entfiel dabei auf die Versorgung der Schweineställe und schwankte im Verlauf der Jahreszeiten entsprechend (vgl. Abbildung 15-126).

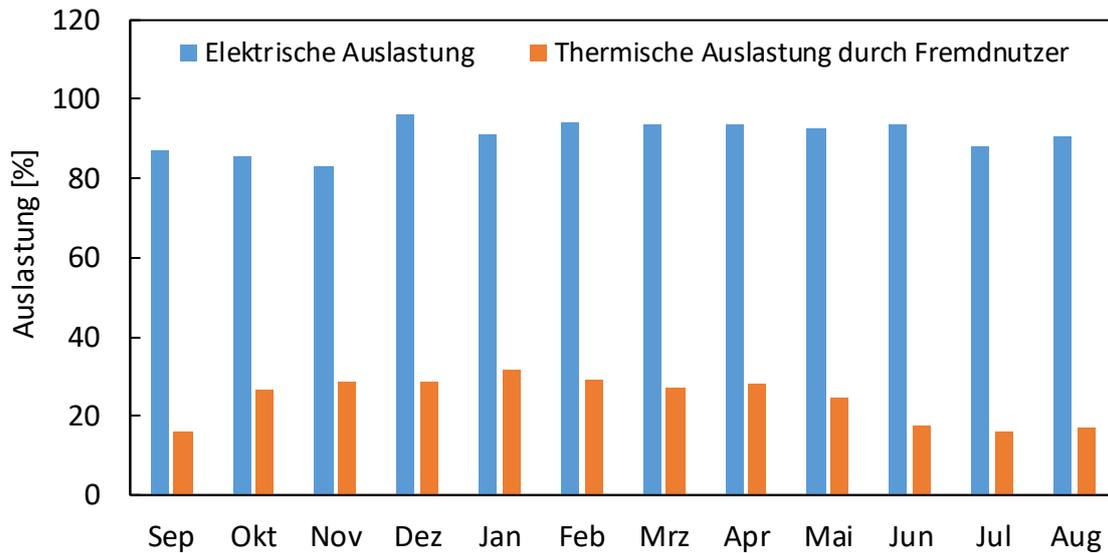


Abbildung 15-126: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie

Die Methanausbeute ist mit durchschnittlich 67 m³ pro t Frischmasse und rund 420 m³ pro t oTS als hoch einzustufen. Entsprechend fiel der Abbaugrad der zugeführten Organik aus, der im Jahresdurchschnitt rund 84 % betrug. Auch hinsichtlich der Auslastung der elektrischen Kapazität der Biogasanlage schnitt die Anlage gut ab. Der Nutzungsgrad der anfallenden BHKW-Wärme ist hingegen deutlich verbesserungswürdig. Insgesamt betrachtet belegen die Zahlen einen erfolgreichen Anlagenbetrieb während des Untersuchungszeitraums (vgl. Tabelle 15-81).

Tabelle 15-81: Datenblatt der Biogasanlage 29

BGA 29						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	250 kW					
Inbetriebnahme	2011					
Zeitraum der Messphase	09.2016 - 08.2017					
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkrememente					
Gasverwertung	1 VOV-BHKW					
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein					
Betriebsform	Einzelhofanlage mit angeschlossenem landwirtschaftlichen Betrieb					
Bauliche Anlagen:				Einsatzstoffe:		
Benennung		Hydrolyse	Fermenter	Fermentersystem	Mengenangaben in FM	
Anzahl		1	1		Gesamt-Jahresmenge	7.284 [t/a]
Reaktorvolumen	[m³]	110	900	1.010	Gesamt-Tagesmenge	20,0 [t/d]
Arbeitsvolumen	[m³]	110	850	960	Mais-Ganzpflanzensilage	30,1 [%]
stehend / liegend	[-]	liegend	stehend		Schweinegülle	63,2 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	0	200	200	Tricitale-Ganzpflanzensilage	1,6 [%]
					Getreideschrot	5,0 [%]
Betriebsparameter:				Einsatzstoffmix		
TS-Gehalt in FM	[%]	9,9	6,8		mittlerer TS-Gehalt in FM	19,2 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	84,2	77,5		mittlerer oTS-Gehalt in TS	82,6 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			3,3	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	56,2 [%]
Verweilzeit	[d]			48	Gärrestlager:	
oTS-Abbau	[%]			84	Anzahl	3
FoTS-Abbau	[%]			93	Lagerkapazität gasdicht	1.500 [m³]
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]			1,3	Lagerkap. nicht gasdicht / offen	1.700 [m³]
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]			2,7	Gasspeichervolumen	500 [m³]
pH	[-]	6,1	7,8		relatives Restmethanpotential	7,3* [%]
Temperatur	[°C]	45	44		TS-Gehalt im Gärrest in FM	5,0 [%]
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	2,5	3,6		oTS-Gehalt im Gärrest in TS	69,6 [%]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]		5,3		*Probennahme erfolgte am letzten beheizten Behälter	
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	17.460	3.076		Gasproduktion:	
FOS/TAC	[-]	4,4	0,5		Messung	am BHKW
Gasverwertung:				Gaszusammensetzung		
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	46			[Vol-%]	CH ₄ 49,5
					[Vol-%]	CO ₂ -
					[Vol-%]	O ₂ 0,4
					[ppm]	H ₂ S 451
					Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix	
					[m³/t] in FM	Biogas 136
					[m³/t] in oTS	Methan 67
						856 424
					Stromproduktion	
					[kWh/d]	5.435
					[kWh/t]	272
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas						
Eigenstrombedarf:				Wärmeverwertung:		
BGA gesamt	[kWh/a]	174.601	9	[% der Stromproduktion]	Eigenbedarf BGA	294.170
				[% der Stromproduktion]	externe Wärmemenge	537.386
				[% der Stromproduktion]	davon Schweineställe	460.227
					davon Wohnhaus	77.159
						13
						24
						21
						3
						[% der Wärmeproduktion]
						[% der Wärmeproduktion]
						[% der Wärmeproduktion]
						[% der Wärmeproduktion]

Tabelle 15-82: Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 29 im Jahr 2017

BGA 29			
installierte elektrische Leistung	250 kW	eingespeiste Strommenge 2017	1.987.665 kWh
elektrische Höchstbemessungsleistung	238 kW	Gesamtinvestitionsvolumen	1.075.700 €
Leistungen			
Stromerlöse (exklusive KWK-Bonus)	86,09 %		409.452 €/a
Wärmeerlöse (inklusive KWK-Bonus)	10,69 %		50.853 €/a
Sonstige Erlöse	3,21 %		15.280 €/a
Gesamterlöse	100 %		475.585 €/a
Kosten			
Substratkosten	35,90 %		139.991 €/a
<i>davon Kosten für NawaRo</i>			
<i>Mais</i>	27,35 €/t		64.852 €/a
<i>Gras</i>	- €/t		- €/a
<i>Restliche NawaRo</i>	172,31 €/t		59.998 €/a
Personalkosten	2,98 %		11.625 €/a
Instandhaltungskosten	10,90 %		42.500 €/a
Abschreibungen	27,31 %		106.488 €/a
Sonstige Betriebskosten	22,91 %		89.705 €/a
<i>davon</i>			
<i>Zündöl</i>			25.000 €/a
<i>Strombezug</i>			16.503 €/a
<i>Miete und Pacht</i>			- €/a
<i>Maschinenmiete und Leasing</i>			- €/a
<i>Prozessbetreuung und Beratung</i>			500 €/a
<i>Versicherungen, Beiträge und Abgaben</i>			4.500 €/a
<i>Berufsgenossenschaft</i>			200 €/a
<i>Sonst. Schmierstoffe und Betriebsmittel</i>			4.600 €/a
<i>Zinszahlungen¹</i>			34.402 €/a
<i>Buchführung und Verwaltung</i>			- €/a
<i>Sonstiges</i>			4.000 €/a
Gesamtkosten	100 %		390.308 €/a
Bilanz			
Gesamterlöse		23,93	ct/kWh
Stromgestehungskosten		19,64	ct/kWh
Betriebszweigergebnis		4,29	ct/kWh
Betriebszweigergebnis		85.276	€/a

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

15.29 Biogasanlage 30

15.29.1 Anlagenbeschreibung

Die von der Firma MT-Energie geplante und errichtete Biogasanlage 30 liegt in einem großen Zuckerrübenanbaugebiet in Niederbayern nahe der Zuckerfabrik Plattling. Sie ist in einen landwirtschaftlichen Gutsbetrieb mit eigener Brauerei angegliedert und speist seit dem Jahr 2004 Strom in das Netz ein. Hauptbetriebszweig ist der Marktfruchtanbau, wo sich aufgrund bester Bodenqualitäten hohe Erträge erzielen lassen. Anbauschwerpunkt des Betriebes bilden Zuckerrüben, Kartoffeln und Winterweizen. Die Biogasanlage wird zu größeren Anteilen mit Reststoffen aus der Brauerei sowie der Kartoffel- und Zuckerrübenverarbeitung betrieben. Um Schwankungen in der Verfügbarkeit dieser Reststoffe auszugleichen und eine gewisse Kontinuität der Substratmischung zu gewährleisten, werden auch nachwachsende Rohstoffe zur Biogaserzeugung eingesetzt.

Die festen Einsatzstoffe werden aus einem 40 m³ fassenden Abschiebecontainer durch fünf stehende Frässhnecken in eine Trogschnecke dosiert. Diese trägt die Feststoffe in den Rachen einer Flüssigfütterung ein. Dort vermengt eine an den Rotor der großdimensionierten Flüssigfütterungspumpe angeflanschte Mischschnecke die zudosierten Feststoffe mit Rezirkulat, das durch die zentrale Pumpe aus dem Fermenter hinzudosiert wird. Die Flüssigfütterungspumpe fördert den so erzeugten Substratbrei in den Fermenter.

Der Fermenter (Arbeitsvolumen: ca. 2.100 m³) ist mit einem Tragluftdach zur Gasspeicherung (Kapazität: ca. 700 m³) ausgestattet. Der rundum wärmeisolierte Fermenter wird durch eine Wandheizung auf 42°C temperiert. Die Durchmischung erfolgt mittels zweier langsam drehender Langachsührwerke und eines schnell drehenden Tauchmotorührwerks.

Über die zentrale Pumpstation der Anlage wird mit einer Exzentrerschneckenpumpe Gärgemisch aus dem Fermenter in den gleich großen, nachgeschalteten Nachgärer gefördert, der ebenfalls durch ein Tragluftdach Gas speichern kann (Kapazität: ca. 700 m³). Der rundum wärmeisolierte Behälter wird mittels Wandheizung auf 42°C temperiert und ist mit zwei gleichgroßen Tauchmotorührwerken ausgestattet.

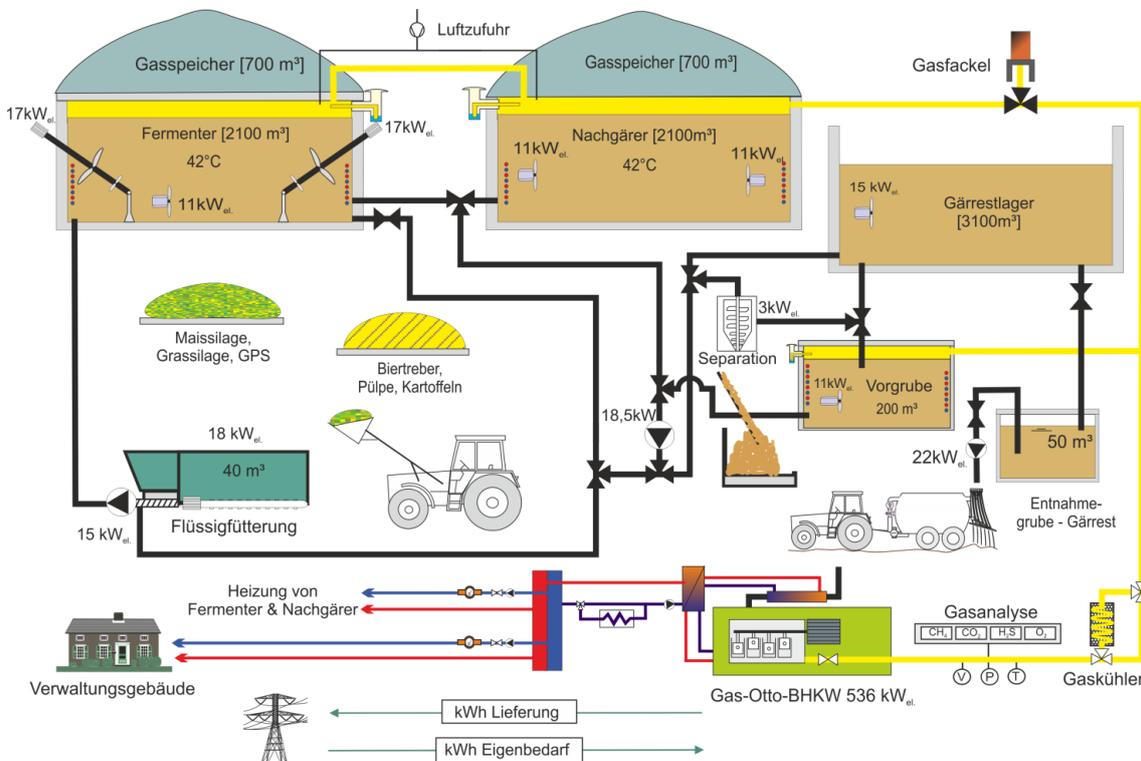


Abbildung 15-127: Anlagenschema der BGA 30

Der Gärrest kann über die zentrale Pumpstation entweder direkt, oder über einen Pressschneckenseparator in das offene Gärrestlager (Lagervolumen: ca. 3.100 m³) mit Tauchmotorrührwerk gefördert werden. Die Separation dient zur Reduzierung der Viskosität im Endlager und zur Einsparung von Gärrestlagerraum, insbesondere im Winterhalbjahr.

Gekühlt und entfeuchtet wird das erzeugte Gas mithilfe einer Gaskühlstrecke in Verbindung mit einer aktiven Gaskühlung mit Klimagerät. Ein Gas-Otto-BHKW mit einer elektrischen Nennleistung von 536 kW wandelt das erzeugte Gas in Strom und Wärme um. Die BHKW-Wärme wird zur Beheizung von Betriebsgebäuden und Gewächshäusern sowie zur Trocknung von Hackschnitzeln und Getreide verwendet. Funktionsprinzip und Stoffströme von Biogasanlage 30 sind in Abbildung 15-127 dargestellt.

15.29.2 Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebs

Die Aufzeichnungen im Betriebstagebuch beinhalten bezüglich gemessener Werte lediglich die eingetragenen Mengen an Substrat, die Gaszusammensetzung und die genutzten Wärmemengen. Alle anderen Größen sind den Stromabrechnungen entnommen bzw. mussten über die verkauften Mengen an Strom berechnet werden. Da es sich um eine Überschusseinspeisung handelt, können aufgrund fehlender Produktionsstrommengen keine Stromverbräuche errechnet werden. In Tabelle 15-83 sind die wichtigsten Messgeräte aufgelistet.

Tabelle 15-83: Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 30

Zu erfassende Kenngröße	Art der Erfassung	Anmerkung
Menge der festen Einsatzstoffe	Wägezellen am Feststoffeintrag	Tägliche Dokumentation im BTB
Menge der flüssigen Einsatzstoffe	-	Keine flüssigen Einsatzstoffe
Gaszusammensetzung	Gasanalysator mit Sensoren für: CH ₄ , O ₂ , H ₂ S	Messung regelmäßig Tägliche Dokumentation
Gasmenge	-	Kein Zähler vorhanden
Stromerzeugung	Stromzähler am Einspeisepunkt	Dokumentation monatlich
Eigenstrombedarf	-	Kein Zähler vorhanden
Eigenwärmebedarf	-	Kein Zähler vorhanden

15.29.3 Anlagenbetrieb während des Messzeitraumes

Anlage 29 wurde hauptsächlich mit Energiepflanzen versorgt, wobei der Schwerpunkt bei Mais-Ganzpflanzensilage lag, die im Jahresdurchschnitt einen Anteil von mehr als 50 % an der eingetragenen Frischmasse aufwies. Die übrigen Einsatzstoffe bestanden aus Grassilage, Getreide und Abfallstoffen aus der Bier- und Stärkeproduktion. Wirtschaftsdünger in Form von Rindergülle kam nur sporadisch zum Einsatz, insbesondere gegen Ende des Untersuchungszeitraums zum Wiederauffahren nach einer Fermenterreinigung. In dieser Phase konnte die elektrische Kapazität der Anlage aufgrund ungünstiger Verhältnisse nur noch zu 4 % ausgelastet werden. Insgesamt wurden täglich knapp 19 t Frischmasse gefüttert. Aufgrund der energiepflanzenbetonten Futterzusammensetzung lag der durchschnittliche TS-Gehalt des Substratmix mit durchschnittlich rund 39 % vergleichsweise hoch (vgl. Abbildung 15-128 und Tabelle 15-84).

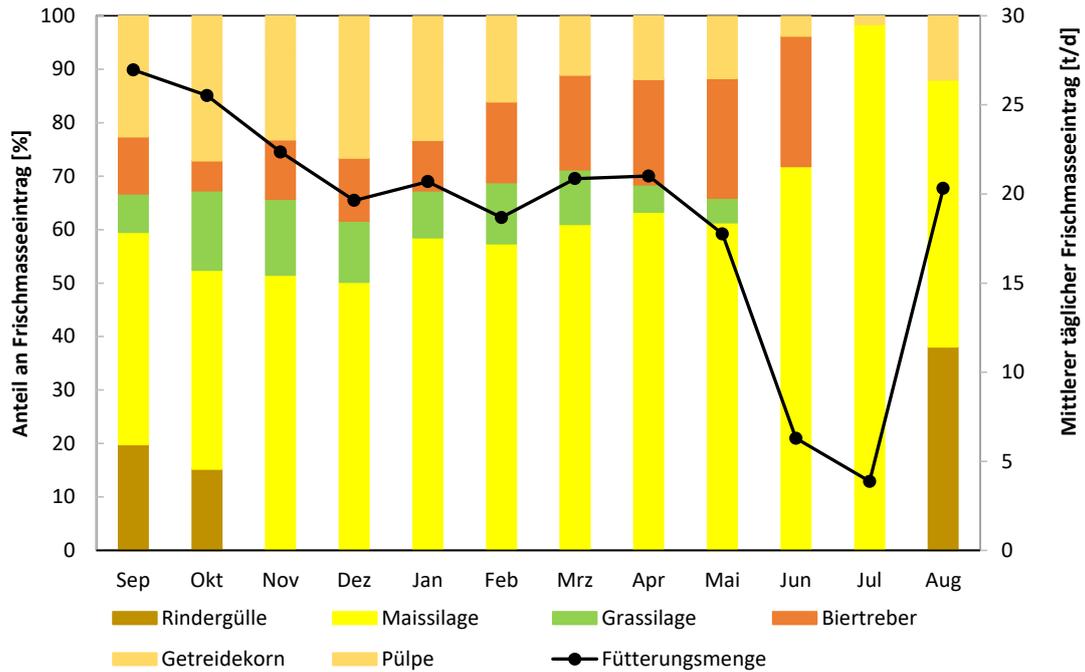


Abbildung 15-128: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung

Obleich ausreichend häufig Probenahmeterminale wahrgenommen wurden, konnten lediglich sieben Fermenterproben analysiert werden, da die Probenahmestelle wiederholt blockiert war und gegen Ende der Datenaufnahme eine Fermenterreinigung durchgeführt werden musste. Der FOS/TAC-Wert in Proben aus dem Fermenter betrug durchschnittlich 0,3 und lag damit im Normalbereich bei geringen Schwankungen (vgl. Abbildung 15-129).

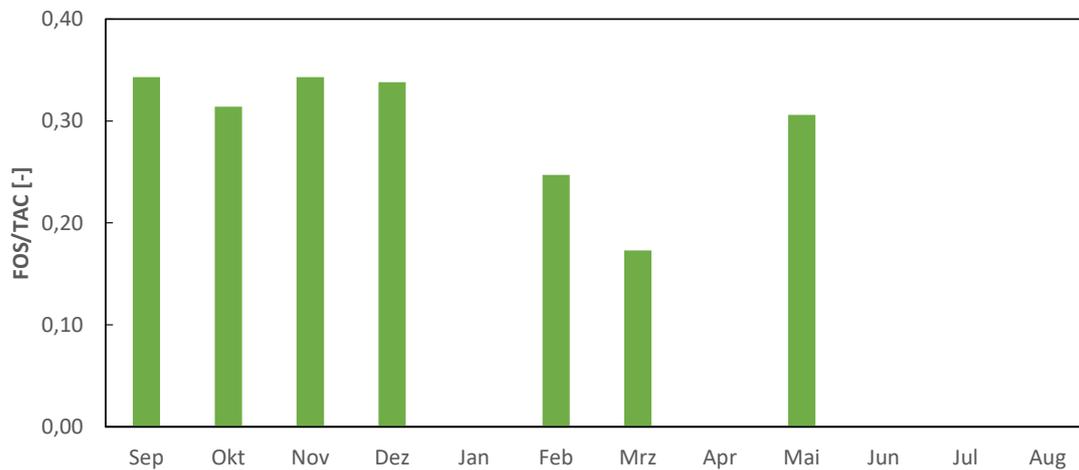


Abbildung 15-129: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten Vergärungsstufe

Die installierte elektrische Leistung des BHKW konnte durchschnittlich nur zu 70 % ausgelastet werden, was maßgeblich der Fermenterreinigung gegen Ende der Untersuchung geschuldet war. Von September bis Mai betrug der durchschnittliche Auslastungsgrad noch 86 %. Der Nutzungsgrad der anfallenden Abwärme lag bei durchschnittlich 34 %, jedoch wird diese Zahl durch den Sommer 2017 verfälscht, da die geringe Wärmeerzeugung während dieser Phase vollständig genutzt werden konnte (vgl. Abbildung 15-130). Außerhalb dieser Phase betrug der mittlere Wärmenutzungsgrad lediglich 27 %.

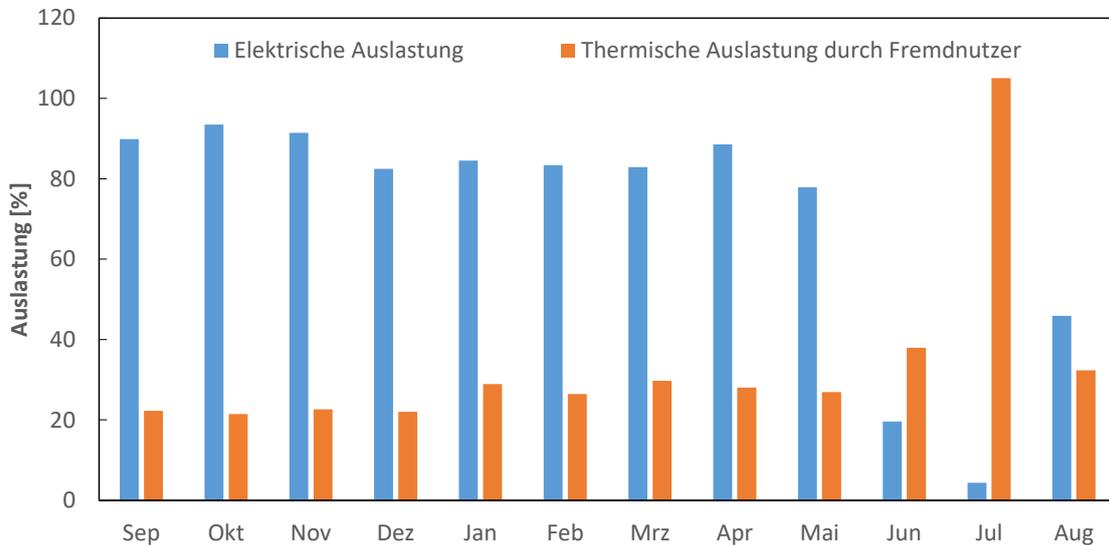


Abbildung 15-130: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie

Die Methanausbeute entsprach den Erwartungen bei energiepflanzenbetonter Fütterung und betrug im Mittel 128 m³ pro t zugeführter Frischmasse. Der Abbau der Organik lag mit durchschnittlich 90 % vergleichsweise hoch, jedoch basiert diese Zahl auf lediglich sieben Fermenterproben. Die Auslastung der elektrischen aber auch der thermischen Kapazität sollte an dieser Anlage gesteigert werden (vgl. Tabelle 15-84).

Tabelle 15-84: Datenblatt der Anlage 30

BGA 30						
Allgemeine Angaben:						
installierte elektrische Leistung	536 kW					
Inbetriebnahme	2004					
Zeitraum der Messphase	09.2016 - 08.2017					
Einsatzstoffe	NawaRo, tierische Exkremente, Reststoffe					
Gasverwertung	1 VOV-BHKW					
Erhalt Flexibilitätsprämie	nein					
Betriebsform	Einzelhofanlage mit angeschlossenem landwirtschaftlichen Betrieb					
Bauliche Anlagen:						
Benennung		Fermenter	Nachgärer	Fermentersystem	Einsatzstoffe:	
Anzahl		1	1		Mengenangaben in FM	
Reaktorvolumen	[m³]	2.280	2.280	4.560	Gesamt-Jahresmenge	6.810 [t/a]
Arbeitsvolumen	[m³]	2.100	2.100	4.200	Gesamt-Tagesmenge	18,7 [t/d]
stehend / liegend	[-]	stehend	stehend		Grassilage	8,6 [%]
Gasspeichervolumen	[m³]	700	700	1.400	Mais-Ganzpflanzensilage	53,6 [%]
Betriebsparameter:						
TS-Gehalt in FM	[%]	9,0	7,1		Rindergülle	7,7 [%]
oTS-Gehalt in TS	[%]	81,9	80,9		Weizen Getreide und Getreideck	13,5 [%]
organische Raumbelastung in oTS	[kg/(m³ d)]			1,6 _{FS}	Biertreber	12,1 [%]
Verweilzeit	[d]			225 _{FS}	Kartoffelpüpe	4,8 [%]
oTS-Abbau	[%]			90 _{GSY}	Einsatzstoffmix	
FoTS-Ausbeute	[%]			92 _{GSY}	mittlerer TS-Gehalt in FM	38,7 [%]
CH ₄ -Produktivität	[m³/(m³ d)]			0,6 _{FS}	mittlerer oTS-Gehalt in TS	96,4 [%]
BG-Produktivität	[m³/(m³ d)]			1,1 _{FS}	mittlerer FoTS-Gehalt in TS	85,3 [%]
pH	[-]	8,0	8,1		Gärrestlager:	
Temperatur	[°C]	42	42		Anzahl	1
NH ₄ -N in FM	[g/kg]	4,5	4,3		Lagerkapazität gasdicht	0 [m³]
N _{ges} -N in FM	[g/kg]	7,3	7,2		Lagerkap. nicht gasdicht / offen	3.100 [m³]
Essigsäureäquivalent in FM	[mg/l]	1.009	555		Gasspeichervolumen	0 [m³]
FOS/TAC	[-]	0,29	0,26		relatives Restmethanpotential	1,3* [%]
Gasverwertung:						
Netto-Methannutzungsgrad	[%]	43				
BHKW 1						
Motortyp		GO				
elektr. Nennleistung	[kW]	536				
therm. Nennleistung	[kW]	552				
elektr. Wirkungsgrad	[%]	40,0				
therm. Wirkungsgrad	[%]	41,2				
Betriebsweise BHKW	[-]	Volllast				
Jahresbetriebsstunden	[h/a]	7.374				
theor. Volllaststunden	[h/a]	6.164				
elektr. Arbeitsausnutzung	[%]	70				
GO - Gas-Otto-Motor; ZS - Zündstrahl-Motor; BG - Biogas						
Eigenstrombedarf:						
BGA gesamt	[kWh/a]	320.139	10	[% der Stromproduktion]		
Wärmeverwertung:						
Eigenbedarf BGA	[kWh/a]	692.461	21	[% der Wärmeverwertung]		
externe Wärmemenge für Trocknung, Gewächshäuser und Betriebsgebäude	[kWh/a]	870.095	34	[% der Wärmeverwertung]		
Gasproduktion:						
Messung am BHKW						
Gaszusammensetzung						
[Vol-%]		CH ₄	51,8			
[Vol-%]		CO ₂	-			
[Vol-%]		O ₂	0,7			
[ppm]		H ₂ S	133			
Mittlere Gasausbeuten Einsatzstoffmix						
		Biogas	Methan			
[m³/t] in FM		248	128			
[m³/t] in oTS		665	344			
Stromproduktion						
[kWh/d]		8.599				
[kWh/t]		461				