BMU-Umweltinnovationsprogramm

Abschlussbericht

zum Vorhaben „Biogasanlage Flugplatz Köthen“: Vergärung von Hühnertrockenkot (Projektnr.: 20116)

UBA-Aktenzeichen: 70 441 – 15 / 3

Fördernehmer: **Gut Mennewitz GmbH**
Feldstraße 5
06388 Baasdorf

Umweltbereich:
Energie

Laufzeit des Vorhabens:
Vorhaben beginnt am: 29.06.2007 bis 31.01.2009

Autoren
Geschäftsführer U. Wagner, Dipl. Univ. Ing. C. Rückert, Dipl. Betriebswirt M. Maurer

Gefördert aus den Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer	2.	3.
4. Titel des Berichts Abschlussbericht zum Vorhaben „Biogasanlage Flugplatz Köthen“: Vergärung von Hühnertrockenkot		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Geschäftsführer U. Wagner Dipl. Univ. Ing. C. Rückert Dipl. Betriebswirt M. Maurer		8. Abschlussdatum 30. April 2010
		9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Gut Mennewitz GmbH Feldstr. 5 06388 Baasdorf		10. Vorhaben-Nr. 20116
		11. Seitenzahl 108
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau		12. Literaturangaben
		13. Tabellen und Diagramme
		14. Abbildungen
15. Zusätzliche Angaben		

16. Zusammenfassung

Im Jahr 2005 entstanden bei der Firma WIMEX die ersten Ideen zur Änderung der Nutzung des im Unternehmen anfallenden Geflügelmistes. Der bei der Produktion von Geflügeleltern- bzw. Großelterntieren und deren Aufzucht entstehende Dung wurde bis dato in den eigenen landwirtschaftlichen Betrieben zur organischen Düngung verwendet oder benachbarten Betrieben zur Verfügung gestellt. Durch die in der Novellierung des erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) 2004 festgelegten, veränderten Rahmenbedingungen hinsichtlich der landwirtschaftlichen Biogasproduktion wurde der Weg für das Projekt „Biogasanlage Köthen“ bereitet.
Zielsetzung war es von Anfang an, möglichst viel Geflügelmist für die Produktion des Biogases einzusetzten und nur den nötigsten Teil durch nachwachsende Rohstoffe abzudecken, um nicht mit der unternehmenseigenen Futterproduktion in Konkurrenz zu treten. Bislang wurden in landwirtschaftlichen Biogasanlagen lediglich bis zu 30 % Geflügelmist eingesetzt und es gab kaum Erfahrungen mit höheren Anteilen. Somit mussten bei der Konzeption der Anlage viele bislang bewährte Techniken überdacht und neue verfahrenstechnische Lösungsansätze erarbeitet werden, um das ehrgeizige Ziel, anteilig bis zu 70 % Geflügelmist in einer Biogasanlage zu verarbeiten, umsetzen zu können.
Durch die zentrale Lage zwischen zahlreichen Geflügelanlagen und einem Großteil der landwirtschaftlichen Flächen der WIMEX-Gruppe, erwies sich der ehemalige Militärflugplatz in Köthen als idealer Standort. Die im Dezember 2007 in Betrieb genommene Biogasanlage zeichnet sich durch zahlreiche technische Innovationen aus. So wurde bei der Vergärung auf drei Anlagenstränge mit liegenden Fermentern und jeweils einem nachgeschaltetem Lagerbehälter mit Nachgärfunktion gesetzt. Alle drei Stränge werden zentral von einer Dosierstation mit Substraten beschickt. Am Ende des Prozesses werden die Gärreste in einer bislang im Biogasbereich einmaligen Anlage weiter aufbereitet um einen möglichst attraktiven Dünger für die Landwirtschaft zu gewinnen. So wird in insgesamt drei Schritten mittels Dekantern, einer Ultrafiltrationsanlage und einer Umkehrosmose das vergorene Material aufbereitet. Neben einem festen, stapelbaren Dünger und einem mit Nährstoffen angereicherten flüssigen Endprodukt entsteht frisches Wasser,

das dem Biogasprozess zurückgeführt werden kann. Somit kann nicht nur ein wertvoller Dünger für die Landwirtschaft gewonnen werden, sondern auch die zu transportierende Menge an Gärresten deutlich reduziert werden.
Das erzeugte Biogas wird in drei Blockheizkraftwerken (BHKW) mit je einer Leistung von 716 kW elektrisch zur Produktion von Strom und Wärme eingesetzt. Um eine möglichst hohe, ganzjährige Verwertung der anfallenden Wärme zu gewährleisten wird das Biogas mit Hilfe eines Microgasnetzes zu den BHKWs transportiert, die sich an drei verschiedenen Standorten befinden. Dadurch können nicht nur die Betriebsgebäude der Biogasanlage beheizt werden, sonder auch zwei Geflügelfarmen, mehrere Büro- und Wohngebäude sowie eine Getreidetrocknungsanlage. Die in das öffentliche Netz eingespeiste Strommenge von rund 2,1 MW kann den Bedarf von ca. 4.500 Haushalten abdecken.
Der eingeschlagene Weg, Hühnertrockenkot in hohen Prozentanteilen zu vergären, ist Erfolg versprechend und aus Umweltsicht sinnvoll. Durch die Biogasanlage Köthen wird gezeigt, das durch die Verwertung von Wirtschaftsdüngern und den sinnvollen Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen der Kreislauf der landwirtschaftlichen Produktion um ein Weiteres geschlossen werden kann.

17. Schlagwörter		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet1. Report No.	2.	3.

4. Report Title
Final Report on the project "Biogas airfield Köthen": fermentation of poultry manure

5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s)
Geschäftsführer U. Wagner
Dipl. Univ. Ing. C. Rückert
Dipl. Betriebswirt M. Maurer

6. Performing Organisation (Name, Address)

Gut Mennewitz GmbH
Feldstr. 5
06388 Baasdorf

7. Funding Agency (Name, Address)
Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency)
Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau

8. Report Date
04/30/2010

9. Publication Date

10. Report-No.
20116

11. No. of Pages
108

12. No. of References

13. No. of Tables, Diagrams

14. No. of Figures

15. Supplementary Notes

16. Abstract

In 2005, the company WIMEX incurred in the first ideas for changing the use of poultry manure in the company. The manure of the production of poultry parents or grandparents was used so far in their own farms or neighbouring farms as organic fertilizer. By the amendment of the Renewable Energies Act (EEG) in 2004, with regard to changed conditions of agricultural biogas production was the way for the project "Biogas Köthen" prepared. Objective, it was from the beginning, to use as much poultry manure for the production of biogas and to cover only the most essential part of renewable resources, in order not to compete with the company's feed production.
So far in agricultural biogas plants were used only up to 30% of poultry manure and there was little experience with higher shares. This required in the design of the system an approval of many previously proven techniques and new procedural solutions are developed to process the ambitious goal of pro rata up to 70% poultry manure in a biogas plant.
The central location between many poultry plants and much of the agricultural land of WIMEX Group, the former military airfield in Köthen was an ideal location. The in December 2007 started biogas plant is characterized by numerous technical innovations. During the fermentation of three plant lines with horizontal fermenters and storage tanks each with a downstream post processing function. All three strands are centrally fed by a metering station with substrates. At the end of the fermentation process are processed in a single area so far in the biogas branch not seen plant to produce more attractive possible fertilizer for agriculture. It will be prepared in three steps by use of decanters, an ultra filtration plant and a reverse osmosis the fermented material. In addition to a solid, stackable manure enriched with nutrients and a liquid end product of fresh water that can be attributed to the biogas process.
Thus, not only a valuable fertilizer for agriculture to be won, but also to transport the amount of fermentation residue is significantly reduced. The biogas is produced in three combined heat and power (CHP), each with a capacity of 716 kW electric used to produce electricity and heat. To ensure a high, year-round utilization of the generated heat the

biogas with the help of a micro gas network will be transported to the CHP, which are located at three different locations. This not only helps the company building the biogas plant are heated, but also two poultry farms, several office and residential buildings and a grain dryer. The fed into the grid electricity supply of around 2.1 MW can cover the needs of 4,500 households. The path to ferment, chicken manure in high percentages, is promising and useful from an environmental perspective.
Due to the biogas plant Köthen is shown that can be closed at a further through the use of manure and the appropriate use of renewable resources of the cycle of agricultural production.

17. Keywords		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 10

2. Vorhabensumsetzung des Projektes „Biogasanlage Flugplatz Köthen“ 12

2.1 Ziel des Vorhabens: Vergärung von bis zu 70% Hühnertrockenkot 12

2.2 Das Verfahren im Überblick 14

2.3 Technische Umsetzung, Probleme, Lösungsansätze, Lösungen 17

2.3.1 Annahmehalle und Fahrsilo 17

2.3.2 Substratzufuhr und Überwachung der Fütterung 17

2.3.2.1 Messsysteme 20

2.3.2.2 Visualisierung des Fütterungsprozess 21

2.3.3 Trockenfermentation und Biogasreaktor 22

2.3.4 Lagerbehälter mit Nachgärfunktion 25

2.3.5 Pumpenraum 26

2.3.6 Foliengasspeicher 27

2.3.6.1 SUL-FLEX Entschwefelung mit Umlaufspülung 27

2.3.6.2 Gaskühlung und Gasverdichtung 29

2.3.6.3 Aktivkohlefilter und Oxidationskatalysator 29

2.3.6.4 Sicherheitseinrichtung 32

2.3.7 Blockheizkraftwerke 32

2.3.7.1 Notkühler 34

2.3.7.2 Fackelanlage 34

2.3.8 Wasser und Gärrestaufbereitung 35

2.3.8.1 Dekanter 38

2.3.8.2 Ultrafiltration 40

2.3.8.3 Umkehrosmose 41

2.3.8.4 Probleme Gärresteaufbereitung und Lösungsansätze zur Leistungserhöhung der Ultrafiltrationsanlage 44

2.3.8.5 Technische und elektrotechnische Ausrüstung und Datenerfassung 45

2.3.8.6 Betriebsüberwachung und Sicherheitstechnik 47

2.3.8.6 Vorlagebehälter 47

2.3.8.7 Permeatspeicher 48

2.3.8.8 Gärrestlagerung 48

2.3.9 Wärmenetz 48

2.3.9.1 Wärmenetz Flugplatz 48

2.3.9.2 Wärmenetz Baasdorf 49

2.3.10 Trafostation *49*
2.3.11 EDV-technische Umsetzung *50*
2.3.11.1 MSR – Prozesssteuerung *50*
2.3.11.2 Prozessverwaltung und Prozessanalyse *51*
2.3.11.3 Überwachung, Kontrolle *54*
2.4 Die biologische Umsetzung der Vergärung von Hühnertrockenkot **55**
2.4.1 Einsatzstoffe und Hilfsstoffe *55*
2.4.1.1 Zusammensetzung der Einsatzstoffe *55*
2.4.1.2 Zusatz von Fermentationshilfsstoffen *57*
2.4.1.3 Leistungserträge der Einsatzstoffe *59*
2.4.1.4 Produktionsergebnisse der Einsatzstoffe *59*
2.4.2 Mikrobiologische Untersuchung der Biologie bei hohen Anteilen an Hühnertrockenkot *62*
2.4.2.1 Voruntersuchungen der Biologie im Labormaßstab *62*
2.4.2.2 Die Biologie der Biogasanlage *65*
2.4.2.2.1 Die Rahmenbedingungen *66*
2.4.3.2.2 Die produzierende Biologie *71*
2.5 Behördliche Anforderungen **72**
2.5.1 BlmSchG *73*
2.5.1.1 Emissions- und Immissionsgutachten *74*
2.5.1.2 Anlagensicherheit und Brandschutz *75*

3. Ergebnisse **76**

3.1 Wirtschaftslichkeitsanalyse **76**
3.1.1 Laufende oder einmalige Kosteneinsparung *76*
3.1.2 Rentabilität der Investition *78*
3.1.3 Vergleich mit anderen am Markt befindlichen Verfahren *90*
3.1.4 sonstige positive Aspekte *90*
3.2 Bewertung der Vorhabensdurchführung **90**
3.3 Stoff- und Energiebilanz (Input- und Outputrelation) **99**

4. Empfehlungen und Zukunftsaussichten **102**
4.1 EEG 2009 ..... **102**
4.1.1 NaWaRo–Bonus *103*
4.1.2 Gülle-Bonus *103*
4.1.3 KWK-Bonus *103*
4.1.4 Formaldehydbonus *104*
4.2 Optimierung Wasseraufbereitung **104**
4.3 Allgemeine Empfehlungen **105**

5. Anhang und Anlagen 107

Anlage 1: Verfahrenschema der Biogasanlage Köthen
Anlage 2: Auslegung eines Konzeptes einer Ammoniakentfernung aus Gärresten einer Biogasanlage (Prof. Wetter - Universität Münster)
Anlage 3: Abwassertechnische Beratungs- und Servicebüro Steding
Anlage 4: Versuche zum Einsatz von „Sedicantertechnik“ (Firma Haase / Sedicanter der Firma Flottenweg)
Anlage 5: SSM Technology – Durchführung von Stripptests
Anlage 6: Verlegungsplan – Versorgungsleitungen
Anlage 7: Bescheinigung des Anlagebegriffs (Bsp. BGA Köthen)
Anlage 8: Umweltgutachten nach EEG 2009 (Güllebonus)

Erläuterung der Abkürzungen, Maßeinheiten, Symbole

BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BGA	Biogasanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutz-Verordnung
ca.	circa
CCM	CornCobMix
CH_4	Methan
ct	Eurocent
d	Tag
d.h.	das heißt
EEG (2004)	Erneuerbares Energien Gesetz
EEG (2009)	Neues Erneuerbares Energien Gesetz (Gültigkeit ab 01.01.2009)
FM	Frischmasse
GPS	Ganzpflanzensilage
GVS	Gasverdichterstation
HTK	Hühnertrockenkot
H_2S	Schwefelwasserstoff
kg	Kilogramm
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz-Gesetz 2002
LG	
Loo	Leave-One-Out
m^3	Kubikmeter
mbar	Millibar
MSR	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (Software der Firma Awite)
MgO	Magnesiumoxid
MWh	Megawattstunde
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
N	Stickstoff
NH_3	Ammoniak
NH_4-N	Ammonium-Stickstoff
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
Nm	Nanometer
oTS	organisches Material in der Trockensubstanz
pH-Wert	Maß für die Stärke der sauren bzw. basischen Wirkung einer wässrigen Lösung
ppm	parts per million oder bzw. Teile pro Million; 1 ppm = 0,0001%
u.a.	unter anderem
SVM	Support Vector Machines
t	Tonne
t/a	Tonnen pro Jahr
TS	Trockensubstanzgehalt
p.a.	pro Jahr
S	Schwefel
UEG	untere Explosionsgrenze
UF	Ultrafiltration
UO	Umkehrosmose
Vnutz	nutzbares Volumen
WAB	Wasseraufbereitungsanlage

1. Einleitung

Die weltweite Verknappung von Ressourcen und die rasant gestiegene Nachfrage nach Nahrungsmitteln in den osteuropäischen Ländern sowie China, um nur einige Beispiele zu nennen, verstärkten in der Vergangenheit den stetigen Produktionsanstieg in der Geflügelwirtschaft.

Die Tatsache, dass Geflügelfleisch in der Futterverwertung effektiver, aufgrund seines geringen Fett- und des hohen Eiweißgehaltes ernährungsphysiologisch wertvoll und nebenbei auch noch kostengünstiger ist als die Produktionen der Schweine- bzw. Rotfleischbranche, wird deshalb auch in Zukunft zu einem starken Wachstum in der Geflügelproduktion führen.

Mit steigender Produktion erhöhen sich aber auch der Energiebedarf und letztendlich auch die Menge an Abfallstoffen bzw. Wirtschaftsdünger. Bei steigenden Mengen an Hühnertrockenkot treten zunehmend Schwierigkeiten auf, diese wertvolle Ressourcen stofflich zu verwerten. Häufig ist die Verwertung nur noch unter hohem finanziellem Aufwand möglich. So wird in der Praxis häufig Geflügelkot auf dem Markt gehandelt und zur Verwertung angeboten, da viele Geflügelhalter gewerblich sind – das heißt über keine eigenen landwirtschaftlichen Nutzflächen verfügen. Somit muss der Geflügelkot über weite Strecken, zum Teil sogar ins Ausland, verbracht werden. In den Niederlanden wird aufgrund fehlender Nutzungs- bzw. Verwertungsmöglichkeiten Hühnerkot in großen Mengen verbrannt. Wertvoller Dünger wird somit vernichtet. Zudem muss von den Geflügelhaltern noch eine Gebühr für die Verbrennung entrichtet werden.

Dass ökologische und ökonomische Maßnahmen nicht zwangsläufig in Widerspruch stehen und Umwelttechnologien durchaus zu Synergieeffekten führen können, zeigt sich insbesondere in der Branche der erneuerbaren Energien. In diesem Umfeld entstand die wesentliche Idee des Umweltinnovationsprojektes „Biogasanlage Flugplatz Köthen“, eine Biogasanlage zu konzipieren, in der eine Verwertung von über 70% Geflügeltrockenkot und somit die Rückgewinnung der ins System eingebrachten Ressourcen möglich wird.

Bis zu diesem Zeitpunkt wurde in herkömmlichen Biogasanlagen maximal 20-30% Geflügelkot eingesetzt, da ab diesem Schwellenwert der enthaltene Stickstoff die mikrobiologischen Abbauprozesse hemmt und damit den weiteren Einsatz von Geflügelkot verhinderte. In Vorversuchen wurde daher getestet, ob und in welcher Konzentration Hühnertrockenkot eingesetzt werden kann und ob grundsätzlich Möglichkeiten existieren, der Stickstoffhemmung entgegenzuwirken und somit die Voraussetzungen zur Vergärung zu schaffen.

Ziel war es, eine Biogasanlage zu entwickeln und zu bauen, in der ein Substrat eingesetzt werden kann, das aus einer Mischung von über 70% Hühnermist sowie aus GPS, Gras- und Maissilage, Getreideschrot und Prozesswasser besteht. Der Fermenterablauf soll durch die Separierung mittels Dekanter und anschließender Ultrafiltration sowie mit Hilfe der Umkehrosmose gereinigt werden. Das anfallende Wasser muss dabei sehr weitgehend aufbereitet werden, denn nur so ist das Prozesswasser geeignet, die potentiell hohen Konzentrationen an toxischen Stoffen, die durch die Fermentation als Zwischenprodukte oder Endprodukte auftreten können, durch Verdünnung zu reduzieren und die hohe Trockensubstanz des eingesetzten Gärsubstrats auf eine rührfähige Masse zu bringen. Somit war und ist eine der wesentlichen

Voraussetzung für die wirtschaftliche Vergärung von Geflügelkot unter anderem die Gärresteaufbereitung. Die Gärresteaufbereitung produziert aus dem Ablaufsubstrat der Biogasanlagen gereinigtes Wasser, welches als Rezirkulat im Prozess genutzt wird, sowie Anaerobkompost und einen hochwertigen Flüssigdünger. Diese Produkte können im Vergleich zur bisherigen Verwendung des Hühnertrockenkotes effektiver und gewinnbringender auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen eingesetzt werden. Die genannte Technik der Gärresteaufbereitung (Schlüsseltechnologie) kommt mit Inbetriebnahme dieser Anlage erstmalig bei der Vergärung von Geflügeltrockenkot zum Einsatz.

Bei der technischen Konzeption der „Biogasanlage Flugplatz Köthen“ wurde immer bedacht, dass ein hoher Hühnertrockenkotanteil auch eine Menge an Problemen mit sich bringt. Im Vorfeld der Planung wurde bei einer Reihe Herstellerfirmen von Biogastechnik angefragt und dabei wurde versucht, die Anforderungen, die der Investor Gut Mennewitz GmbH für die Realisierung der Biogasanlage hatte, nämlich Nutzung eines hohen Hühnertrockenkotanteils (mindestens 50%) sowie Minimierung der am Ende auszubringenden Gärsubstrate zu erreichen. Leider war zu dieser Zeit kein Hersteller in der Lage, eine Biogasanlage mit diesen Anforderungen als Generalunternehmer zu errichten. Am Ende blieb nur die Möglichkeit, gemeinsam mit einem Planungsbüro eine Konzeption zu entwerfen, die den vielfältigsten Anforderungen am Besten gerecht wird. Mit dem Planungsbüro „Rückert NatUrgas GmbH“ wurde ein erfahrener Biogasplaner mit einem erheblichen Erfahrungsschatz für die Verwertung von Problemsubstraten, u.a. auch Hühner- bzw. Putenmist, gefunden.

Gemeinsam wurde ein Verfahrenskonzept für die Biogasanlage erarbeitet. Die erforderlichen Komponenten, die die besonderen Anforderungen erfüllen konnten, wurden am freien Markt zugekauft. So wurden liegende Fermenter mit Haspelrührwerken, Sandaustragsschnecken, Bodenräumer, verschleißarme Pumpen, Dosiertechnik aus der Betonindustrie, usw. in besonders stabiler und beständiger Qualität geordert. Insbesondere stand der Wunsch nach Risikominimierung im Vordergrund. Bedingt durch den aggressiven und abrasiven Hühnertrockenkot wurde mit erhöhtem Verschleiß gegenüber konventioneller NaWaRo-Biogastechnik gerechnet.

2. Vorhabensumsetzung des Projektes „Biogasanlage Flugplatz Köthen“

Luftaufnahme der Biogasanlage Köthen

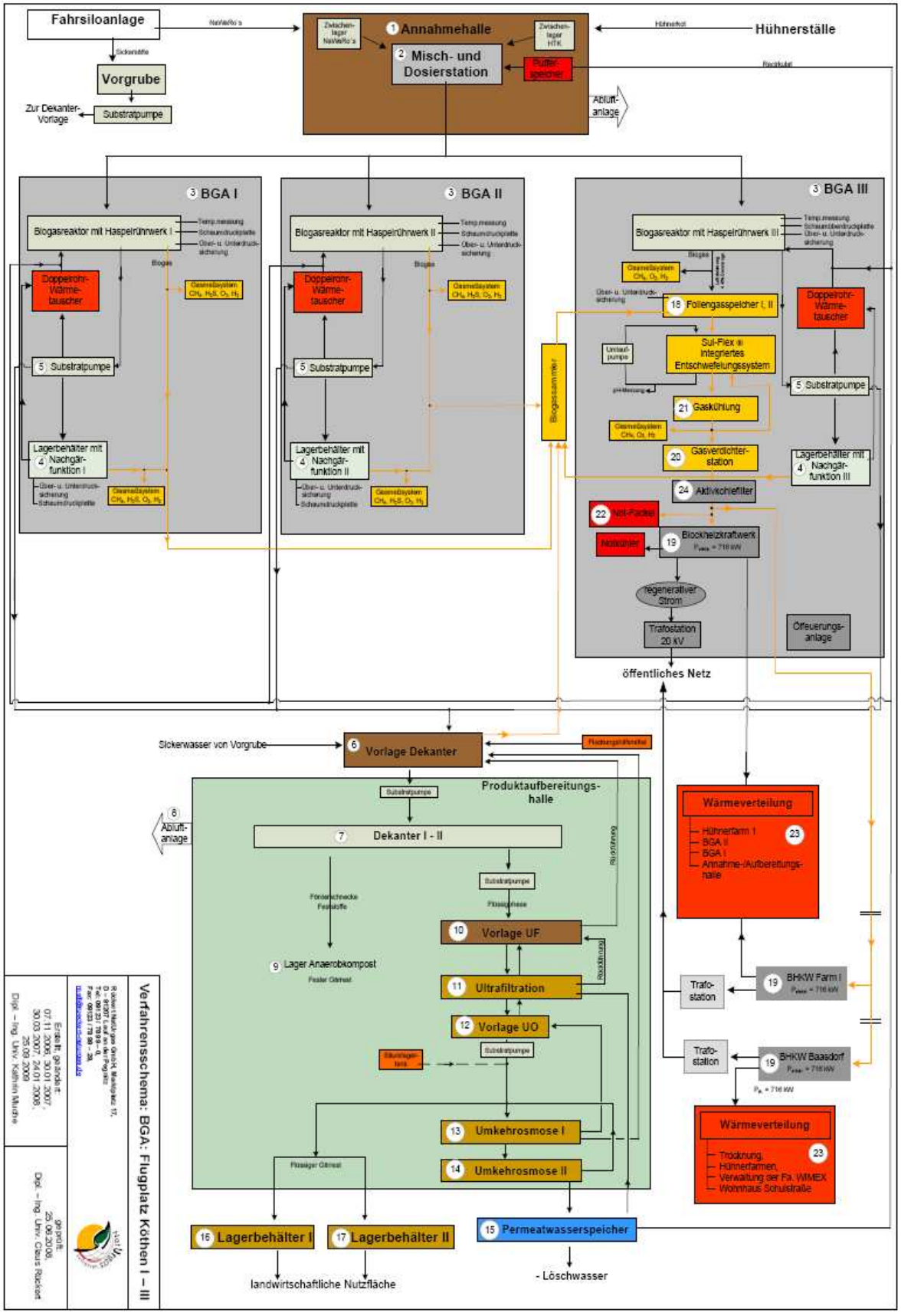
2.1 Ziel des Vorhabens: Vergärung von bis zu 70% Hühnertrockenkot

Das Ziel des Projekts war und ist, die vorhandene Ressource Hühnertrockenkot effektiver aufzubereiten und dadurch die Wertschöpfungskette wesentlich zu erweitern und zu einem Kreislauf zu schließen. Anstelle der bloßen Ausbringung des Hühnertrockenkotes auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen soll ein breites Spektrum an zusätzlichen Nutzungs- und Verwertungsmöglichkeiten entstehen. Insbesondere wird durch die Vergärung des Geflügelkots Biogas gewonnen, welches in den Blockheizkraftwerken verbrannt wird. Durch die Verbrennung produziert die Biogasanlage zum einen Strom und zum anderen entsteht als Nebenprodukt Abwärme, mit der wiederum Geflügelstallanlagen sowie andere Gebäude mit Wärme versorgt werden. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe wird dadurch erheblich reduziert.

Die Anlage soll auch dazu beitragen, dass ein großer Teil des Düngerbedarfs durch das anfallende hochwertige Endsubstrat gedeckt werden kann. Eine Verbesserung der Qualität des Hühnerkot entsteht dadurch, dass im Gärsubstrat enthaltene Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen, die weniger für die Landwirtschaft geeignet sind, bereits im Vergärungsprozess der Biogasanlage abgebaut werden. Positive Inhaltstoffe (Calcium, Eisen, Phosphate) werden durch den Prozesswasserentzug im Rahmen der

Wasseraufbereitung weiter aufkonzentriert. Durch die verbesserte Qualität können die Endprodukte aufgrund des festen und flüssigen Aggregatszustandes nun effizienter und flexibler in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Somit können große Mengen an mineralischem Dünger eingespart und der mit diesen Produkten verbundene Energieverbrauch und Transportaufwand vermieden werden.

2.2 Das Verfahren im Überblick



Die für den Betrieb der Biogasanlage notwendigen nachwachsenden Rohstoffe (NaWaRos) werden in der Annahmehalle bzw. in den beiden Fahrsilos gelagert (Position1 – Verfahrensschema Anlage 1). Für die anschließende Fermentation wird der Hühnertrockenkot zusammen mit der Silage in der Annahmehalle in eine zentralen Misch- und Dosierstation eingebracht (Position 2 – Verfahrensschema Anlage 1). Die Silage wird dazu mittels Radlader von der Fahrsiloanlage (bestehend aus einen Zweikammernsystem mit einem Fassungsvermögen von je 6.000 t) zur Annahmehalle transportiert und in die beiden Dosiercontainer aufgegeben. Von der zentralen Misch- und Dosierstation (2 Schubbodencontainer mit einem Fassungsvermögen von je 100 m³) erfolgt eine schrittweise Aufgabe des Materials. Über ein Förderband werden die Substrate chargenweise (d.h. rund 500 kg Substrat entsprechen einer Charge) in eine Mischeinrichtung befördert.

Die Feststoffzufuhreinrichtungen fördern anschließend das Inputgemisch in die Biogasreaktoren BGA I-III (Position 3 – Verfahrensschema Anlage 1). In den Biogasreaktoren und in den an diesen angeschlossenen Lagerbehältern mit Nachgärfunktion (Position 4 – Verfahrensschema Anlage 1) werden die Inputstoffe durch Mikroorganismen zum Biogas abgebaut und umgewandelt.

Die Betriebsweise der Biogasreaktoren nach dem NatUrgas®-Verfahren bewegt sich im mesophilen Bereich bei 42 °C. Zu diesem Zweck erfolgt die Beheizung der Biogasreaktoren mittels eines externen Wärmetauschers.

Im Umlauf dieses Heizkreislaufes ist ein Zerkleinerer installiert. Dieser ist in der Lage, das Substrat weiter aufzubereiten, damit eine höhere Biogasausbeute erzielt werden kann. Nach einer durchschnittlichen Verweildauer von mindestens 30 bis 50 Tagen im Reaktor und im Lagerbehälter mit Nachgärfunktion gelangt das Gärsubstrat über eine Kugelventilpumpe (Position 5 – Verfahrensschema Anlage 1) und einen Vorlagebehälter (Position 6 – Verfahrensschema Anlage 1) zu einem der zwei Dekanter (Position 7 – Verfahrensschema Anlage 1) in der Aufbereitungshalle. Ähnlich wie in der Annahmehalle wird die Abluft punktuell und dezentral direkt über den Dekantern und über dem Gärrestezwischenlager abgesaugt (Position 8– Verfahrensschema Anlage 1).

Die in der Aufbereitungshalle befindlichen Dekanter kommen zur Auftrennung des Substrates in eine feste und flüssige Phase zum Einsatz. Die feste Phase gelangt durch einen Abwurf aus den Dekantern auf eine Schnecke, welche die festen Gärreste in das in der Aufbereitungshalle befindliche Gärrestezwischenlager transportiert (Position 9 – Verfahrensschema Anlage 1). Die Abnahme der festen Gärreste durch Vertragspartner erfolgt in Abhängigkeit des Bedarfes und der Lagermöglichkeiten am Standort.

Die flüssige Phase wird im Vorlagebehälter für die Ultrafiltration zwischengespeichert. Über die Stufen Vorlagebehälter UF – Ultrafiltration - Vorlagebehälter UO - Umkehrosmose wird die Flüssigphase in sauberes Wasser und Flüssigdünger aufgespaltet (Position 10-14 – Verfahrensschema Anlage 1). Das gereinigte Wasser (Permeat) wird in dem Permeatspeicher (Position 15 – Verfahrensschema Anlage 1) gesammelt und zur Reduzierung des hohen Stickstoffgehaltes im Biogasprozess als Prozesswasser nach Bedarf in das System zurückgeführt. Das durch die Aufbereitung anfallende Konzentrat (Flüssigdünger) wird den beiden mit einem Folienzeltdach abgedeckten Behältern zugeführt (Position 16+17 – Verfahrensschema

Anlage 1). Das Fassungsvermögen dieser Lagerbehälter wurde so ausgelegt, dass bei der beantragten Durchsatzmenge zweimal pro Jahr eine Entleerung erforderlich wird (geplante Kapazität = Düngerproduktion von ca. 7,5 Monaten). In den erforderlichen Ausbringungskampagnen werden an Werktagen bis zu 800 m³ Konzentrat (Flüssigdünger) pro Tag auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht. Hierzu sind täglich bis zu drei Fahrzeuge im Einsatz. Das Konzentrat wird dabei mit einer externen Hochleistungspumpe in drucklose Fässer der Zubringerfahrzeuge gefüllt, die dann wiederum einen selbstfahrenden Gülletrac auf den Ackerflächen beliefern.

Durch Gärresteaufbereitung in Form von Dekanter, Ultrafiltration und anschließender doppelter Umkehrosmose wird der Substratablauf in eine hochwertige flüssige Form und einen Feststoff transformiert.

Das durch den Gärprozess im Biogasreaktor und Lagerbehälter mit Nachgärfunktion erzeugte Biogas gelangt über eine Stahlleitung in die Foliengasspeicher (Position 18 – Verfahrensschema Anlage 1). Hier wird es durch Zugabe von Luftsauerstoff biologisch entschwefelt (Sul-Flex®), so dass eine schadlose Verbrennung im Blockheizkraftwerk (BHKW) möglich wird. Um die Entschwefelungsbakterien bei ihrer Arbeit zu unterstützen, muss der pH-Wert der Spülflüssigkeit im Gasspeicher regelmäßig kontrolliert werden. Sinkt der Wert zu weit ab, wird die Spülflüssigkeit ausgetauscht.

Anschließend wird das Biogas den drei BHKW`s mit je 716 kW elektrisch zugeführt (Position 19 – Verfahrensschema Anlage 1). Diese drei BHKW`s sind mit jeweils einem Magergasmotor ausgestattet. Die BHKW`s befinden sind räumlich getrennt an den Standorten Biogasanlage, Farm 1 (Entfernung ca. 800 m) und dem Mischfutterwerk in Baasdorf (Entfernung ca. 1700 m).

Um ein Auskondensieren des ursprünglich wasserdampfgesättigten Biogases zu verhindern, wird das Biogas in der Gasverdichterstation (Position 20 – Verfahrensschema Anlage 1) verdichtet und dadurch aufgeheizt. Durch die bei der Verdichtung entstehende Wärme sinkt die relative Feuchte des Gases, wodurch einem Auskondensieren vorgebeugt wird. Zusätzlich wird dem Gasverdichter zur verbesserten Kühlung eine Gaskühlung (Position 21 – Verfahrensschema Anlage 1) vorgeschaltet. Bei Ausfall eines Biogasmotors wird das Biogas in einer zentralen Gasfackel (ausgeführt als Notfackel (Position 22 – Verfahrensschema Anlage 1) verbrannt. Ein Abfackeln des Biogases soll jedoch weitestgehend vermieden werden.

Primäres Ziel der Biogasanlage ist die Erzeugung von Strom und Wärme. Der erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist, während die gesamte erzeugte Wärme (abzüglich des Eigenbedarfes für die Erwärmung der Biogasreaktoren) an die WIMEX Agrarprodukte Import & Export GmbH verkauft wird. Diese nutzt die Wärme zur Beheizungen der Verwaltung, für die Getreidetrocknung im Mischfutterwerk am Standort Baasdorf und des Weiteren für die Geflügelfarmen I und II am Flugplatz in Köthen (Position 23– Verfahrensschema Anlage 1).

2.3 Technische Umsetzung, Probleme, Lösungsansätze, Lösungen

2.3.1 Annahmehalle und Fahrsilo

Der Prozess der Hühnertrockenkotfermentation beginnt bei den im Umkreis von durchschnittlich 20 km entfernt liegenden Farmen. Der Hühnerkot wird nach der Verwiegung direkt von den Hühnerfarmen der Firma WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH in die Annahmehalle eingebracht und zwischengelagert. Aufgrund der großen Vorratslagerhaltung von bis zu 2.500 to, die auf einer Fläche mit bis 1.500 qm lagern, wurde die Halle mit umfangreichen Belüftungsanlagen versehen. Die Anlieferung der Substrate erfolgt in der Regel werktags direkt in die Annahmehalle, in Ausnahmefällen auch an Sonn- und Feiertagen, dann jedoch ausschließlich im Zeitraum zwischen 07.00 und 22.00 Uhr.
Die hohe Bevorratung an Geflügelmist ist deshalb notwendig, weil der Einsatzstoff nur zu den Ausstallungsterminen zu Verfügung steht und so die Zeiträume mit wenig oder vielen Ausstallungsterminen kompensiert ("gepuffert") werden müssen.
Ein permanenter Unterdruck in der Annahmehalle sorgt dafür, dass die ammoniakhaltige Luft punktuell abgesaugt werden kann. Die Abluft über der Lagerfläche für Hühnertrockenkot und über der zentralen Misch- und Dosierstation wird anschließend über Dach abgeleitet.
Die Mais- und Getreideganzpflanzensilage wird in einem aus zwei Kammern bestehenden Fahrsilo (Traunsteiner System) siliert. Die Lagerkapazität der Fahrsilos beträgt bei einer Grundfläche von 4.000 m² und einer Nutzhöhe von ca. 3,5 m zwischen 10.000 und 12.000 t. Die Silage wird mittels einer Plane und „Beschwerungssäcken" luftdicht abgedeckt. Die Abdeckung reicht über die Ablaufrinne für Silagesickersaft hinaus, so dass anfallendes Niederschlagswasser, welches auf die Abdeckung fällt, unverschmutzt oberflächig versickern kann. Der während des Siliervorganges anfallende Sickersaft gelangt über die Entwässerungsrinne der Silos über eine Rohrleitung DN 150 direkt in die Vorgrube. Die Entnahme der Silagen aus dem Fahrsilo erfolgt mittels eines Radladers.

2.3.2 Substratzufuhr und Überwachung der Fütterung

Die Substratzufuhr wird durch den Bedarf der Biogasanlage geregelt. Ziel ist, mit möglichst wenig Substrat eine maximale Auslastung des Blockheizkraftwerkes (BHKW) zu erreichen. Als 100 % Auslastung werden 7.500 Volllaststunden per anno angesehen. Bei einer Leistung von bis zu 2.100 kW kann so eine Gesamtstrommenge von bis zu 15.750,00 kWh erzeugt werden.
Um dieses Ziel zu erreichen, wird der Hühnertrockenkot in der Annahmehalle zusammen mit der Silage in eine zentrale Misch- und Dosierstation eingebracht, anschließend erfolgt die schrittweise Aufgabe des Materials. Über ein Förderband werden die Substrate chargenweise (d.h. rund 500 kg Substrat entsprechen einer Charge) in eine Mischeinrichtung befördert.

Der technische Ablauf der „Vergärung von Geflügelkot“ brachte bei der Fütterung der Anlage wegen des Einsatzes von derart großen Mengen an Geflügelmist erhebliche, bereits bekannte und zum Teil auch unerwartete Probleme mit sich. So kann bei der Ausstallung und bei der anschließenden Anlieferung des Mistes eine Verunreinigung durch Fremdstoffe (Steine, Holz, Metall, Sand etc.) nicht ausgeschlossen werden. Metallschaufeln, Eierkartonagen und ähnliches haben sogar die Anlage kurzfristig stillgelegt bzw. zu erheblichen Schwankungen bei der Fütterung und letztendlich auch beim Gasertrag geführt.

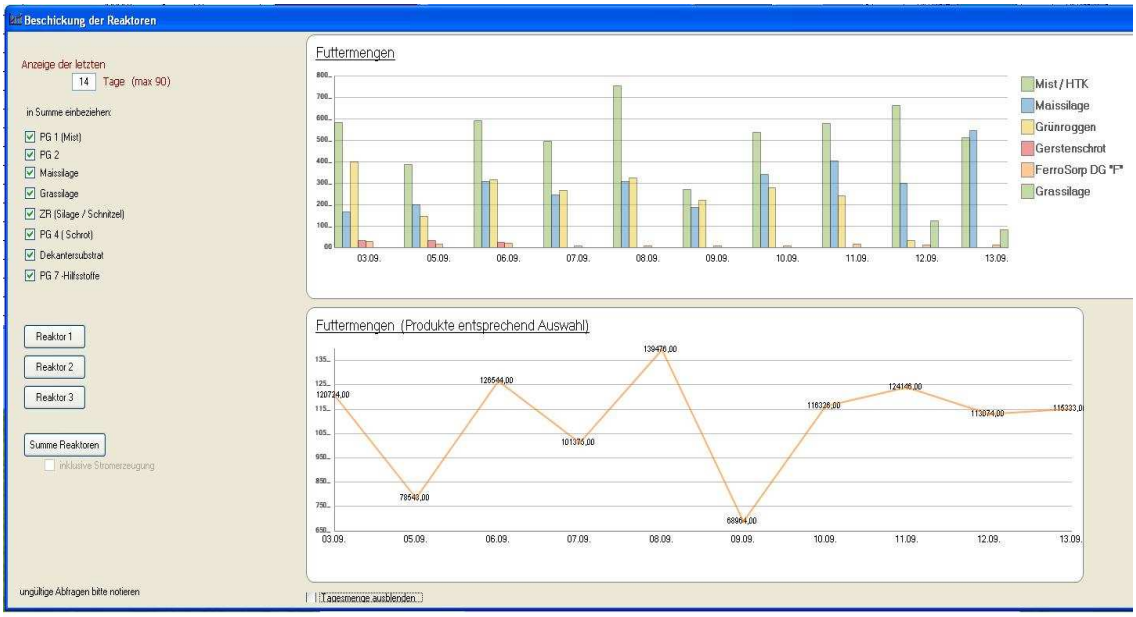


Abb. Schwankende Fütterungsmengen aufgrund von Fremdstoffstörungen

Weitere Baustellen waren die Probleme mit Fremdstoffen, wie Holzklötzchen, die in den Hühnerställen zum Ausgleich von Unebenheiten genutzt wurden. Diese spielten bei der Fütterung keine Rolle und durchliefen problemlos alle Sicherungssysteme. Allerdings gelangen sie in den Biogasreaktor und verursachten dort erhebliche Probleme am Ablauf der Kugelventilpumpen.

Abb:Bild von Fremdstoffen

Des Weiteren kann die Qualität des Mistes im Hinblick auf die TS-Gehalte sehr stark variieren, selbst bei Lieferungen aus einer bestimmten Geflügelanlage. So hängt der TS-Gehalt nicht unwesentlich von der Art

der Produktion der Tiere ab. Je nach Herkunft des Kotes von Tieren in Aufzucht- oder in Produktion- bzw. von Eltern- oder Großelterntieren zeigten sich erhebliche Unterschiede in der Qualität, die sich anschließend auch im Gasertrag widerspiegeln. Auch längere Lagerzeiten führen zu einer reduzierten Gasausbeute aufgrund des einsetzenden Kompostierprozesses. Aber auch innerhalb einer Lieferung gibt es erhebliche Unterschiede. Dies begründet sich durch die verschiedenen Bereiche innerhalb eines Stalles. So fällt z.B. in dem Bereich der Tränken eher feuchterer Mist an. Aber nicht nur die schwankende Qualität des Hühnertrockenkots, sondern auch die Zuführung eines zu hohen Grasanteils, führte zu erheblichen Problemen bei der Mischbarkeit der einzelnen Chargen.

Nur durch die konsequente Erweiterung und Verbesserung der Anlagekomponenten und durch die Installation technischer Neuerungen konnten diese Probleme teilweise beseitigt und künftige Störungen reduziert werden.

Um die wesentlichen mechanischen Beschädigungen der Dosieranlage zu vermeiden, wurden mehrere Varianten zur Störstofftrennung getestet und eingebaut. Eine der ersten Maßnahmen war die Nachrüstung eines Magneten oberhalb des Gurtförderers, welcher bis zum heutigen Tage einen erheblichen Anteil der im Hühnertrockenkot enthaltenen Metallteile abtrennen konnte. Inzwischen wurde ein zweiter Magnet installiert, da sich der erste Permanentmagnet als zu schwach herausstellte. Das neue System arbeitet mit einem starken elektrischen Magneten und einer technischen Vorrichtung, die nun die Störstoffe aus dem Förderprozess herausfiltern.

Magnet im Einsatz

Der Einbau eines aus der Kartoffelsortiertechnik stammenden Walzenseparators hat sich dagegen nicht bewährt.

Störstofftrenner im Einsatz

2.3.2.1 Messsysteme

Um eine optimale Auslastung zu erreichen, wurde ein Messsystem, zur Überwachung der Fütterung und zur Dokumentation der Fütterungsergebnisse installiert. Es handelt sich um ein NIRS- Messsystem der Firma Tenirs mit zwei Messstellen. Die beiden Messstellen wurden folgendermaßen eingerichtet:

An einer Stelle wird im Online-Modus an der Rohrleitung unmittelbar nach dem Mischer bzw. der Pumpe gemessen. Ziel ist die Erfassung der qualitativen Eigenschaften der den Fermentern zugeführten Substrate (Rohsubstratmixtur). Die zu überwachenden Parameter sind: Trockensubstanz (TS), Organische Trockensubstanz (oTS), Stickstoff (N), Ammonium-Stickstoff (NH_4N) und Schwefel (S). Eine weitere vom System separierte Messstelle wurde zur absätzigen spektralen Vermessung von Stichproben eingerichtet. Hier können Proben aus den einzelnen Fermentern, den unterschiedliche Gärrestefraktionen und den einzelnen Rohsubstraten at-line erfasst werden. Die spezifischen Schätzmodelle ergeben sich jeweils aus Substrat und Nutzungszweck.

Ganz allgemein wird im TENIRS-Messsystem die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) eingesetzt. Bei diesem Verfahren werden Stoffproben von Licht angestrahlt. Teile des Lichts werden absorbiert, also von der Probe „verschluckt“. Der Rest wird zurückgeworfen und als diffuse Reflektion aufgezeichnet. Die Differenz zwischen eingestrahltem und reflektiertem Licht ergibt ein so genanntes Spektrum, eine Art Fingerabdruck, einzigartig für jede organische Substanz und abhängig von der chemischen, physikalischen und morphologischen Beschaffenheit des Probenmaterials.

Um anhand dieser Spektren die erwünschten Parameter, z.B. Konzentrationen, zu ermitteln, ist es erforderlich, das Messsystem anhand von Referenzdaten (Stichproben mit spektralen Daten plus Analysewerte auf Basis anerkannter Referenzmethoden) mittels multivariater statistischer Methoden zu

kalibrieren (der genaue Ablauf, die Art der Probeentnahme und die Justierung der Messsysteme sowie die entsprechenden Versuchsergebnisse befindet sich im Anhang).

Nach Erstellung der Schätzfunktionen (Kalibrationen) kann das Messsystem die kalibrierten Parameter online ermitteln und ausgeben. Im TENIRS-Messsystem wird als Hardwarekomponente in der zentralen Messeinheit ein Diodenzeilenarray-Spektrometer mit einem Messbereich von 960 bis 1680 nm mit einer Auflösung von 2 nm eingesetzt. Die Umschaltung zwischen den beiden Messstellen erfolgt über einen faseroptischen Schalter. Die Messköpfe an den eigentlichen Messstellen (Rohrleitung und Labor) sind über Lichtwellenleiter mit dem Spektrometer verbunden. Sie enthalten neben der Lichtquelle (Halogenlampe) und der Sammellinse für das reflektierte Licht auch eine interne Weißreferenz. Es wird automatisch in stündlichem Rhythmus gegen den internen Weißstandard referenziert, um Schwankungen in den Umgebungsbedingungen auszugleichen.

Die automatisierte Steuerung des Messsystems zur Erfassung der Spektren und die Errechnung der kalibrierten Parameter erfolgt über einen integrierten Messrechner. Es werden kumulierte Einzelspektren (Mittelwert aus 50 Einzelspektren) in einem Intervall von 20 Sekunden aufgezeichnet. Das System wird über einen Touchschreen bedient, der auch die aktuellen Werte anzeigt. Der Datentransfer zum Prozessleitsystem und zu weiteren Anwendungen erfolgt über Ethernet und Web-Interface.

Das System liefert bisher einwandfreie und zuverlässige Daten. Probleme gab es lediglich am 16.12.2008 aufgrund einer mechanischen Beschädigung des Messkopfes in der Rohrleitung durch einen Fremdkörper (Stein). Der Messkopf musste daraufhin ausgetauscht werden.

2.3.2.2 Visualisierung des Fütterungsprozess

Die Steuerung und Überwachung der Fütterung erfolgt über einen speziellen Panel-PC in der Annahmehalle. Über die Software der Firma Awite das MSR werden die Prozesse visualisiert.

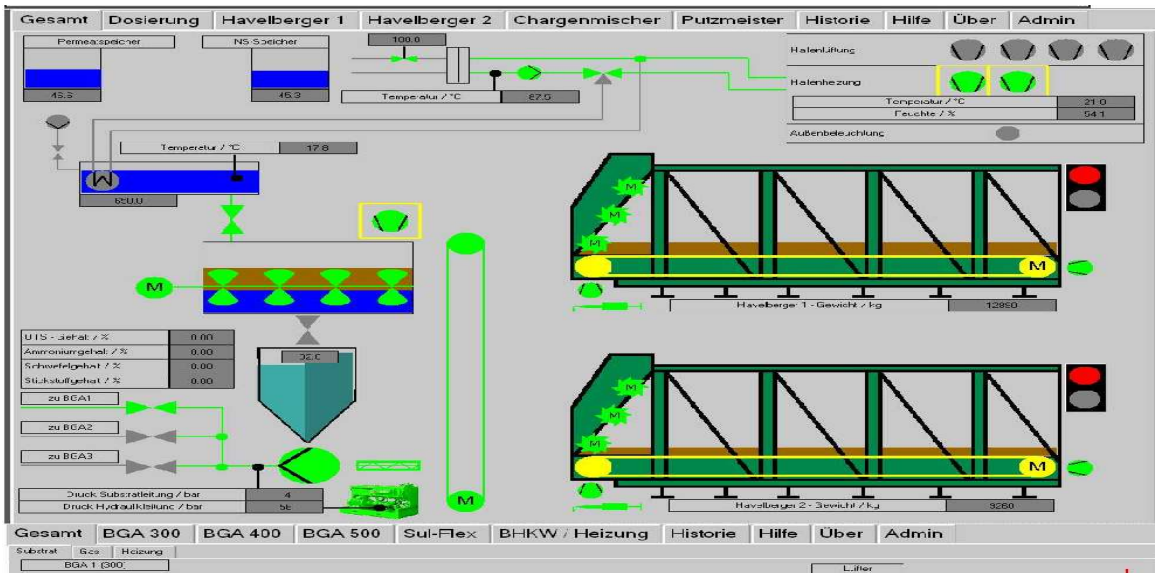


Abb. Visualisierungsbild der Annahmehalle

Durch die Visualisierung werden sämtliche Zustände und aktuelle Füllmengen auf einem Blick graphisch aufbereitet.

Werden die in der Steuerungssoftware vorgewählten Substratmengen erreicht, wird Permeatwasser zugegeben. Nach einer kurzen Vermischungsphase wird das nun pumpfähige Gemisch durch Öffnen eines Schiebers in einen Vorlagetrichter (ca. 1 m^3 Volumen) der Pumpeinrichtung übergeben.

2.3.3 Trockenfermentation und Biogasreaktor

Der kontinuierlich betriebene Biogasreaktor wurde speziell für die Verwertung von strukturhaltigen Eingangsstoffen konzipiert und ist daher besonders gut für den sehr trockenen Hühnerkot geeignet. Es handelt sich hier um einen Biogasreaktor zur Trockenfermentation, d.h. es werden ausschließlich stapelbare Substrate mit einem TS-Gehalt von mindestens 30 % eingesetzt. An Flüssigkeit wird lediglich im Prozess anfallendes Permeatwasser (aus der Umkehrosmose – 2.8.2.3) zugeführt. Gemäß § 8 Absatz 4 EEG ist die sogenannte Trockenfermentation als innovative Technik im Sinne des Innovationsbonus des EEG definiert worden. Aus den Formulierungen „stapelbare Substrate," „nicht pumpfähig" und „eingesetzte organische Stoffe haben dabei einen Wassergehalt von weniger als 70 Prozent" deuten darauf hin, dass der Gesetzgeber zum Zeitpunkt der Formulierung des Gesetzestextes die so genannten „Batch-" oder „Garagen-Verfahren" vor Augen hatte, die bis dahin die einzigen Verfahren zu sein schienen, die den alleinigen Einsatz von Energiepflanzen zuließen. Nach in Kraft treten des EEG und mit dem immensen Zubau an Biogasanlagen, die nur nachwachsende Rohstoffe einsetzen, wurden aber auch andere Verfahren so weiterentwickelt, dass sie alleine mit nachwachsenden Rohstoffen als Substrat und ohne die Zugabe von Gülle oder Flüssigkeit betrieben werden können. Zum Ende des Jahres 2005 haben sich einzelne Anbieter von Biogasanlagen durch Gutachten bestätigen lassen, dass ihre Verfahren den Kriterien des § 8 Absatz 4 EEG entsprechen.

Die Kriterien für eine Einstufung als „Trockenfermentation" im Sinne des EEG sind dabei, dass die im Jahresmittel der eingesetzten Substrate die 30 Prozent Trockensubstanz nicht unterschritten werden dürfen und dass keine Zugabe von Flüssigkeit (wie Wasser oder Gülle) erfolgt. Aus dem Fermentationsprozess rezirkulierte Flüssigkeit gilt dabei nicht als Zugabe, da es prozessintern anfällt. Noch nicht abschließend geklärt ist, welche Parameter zur Messung und Aufzeichnung der Prozessdaten herangezogen werden sollen.

Klar ist, dass die Betreiber, die sich für den Betrieb ihrer Anlage nach diesen Kriterien entschieden haben, einen erheblichen finanziellen Mehraufwand gegenüber einer Anlage haben werden, die durch Austausch von Flüssigkeit ihren Prozess stabilisieren kann. Insofern es tatsächlich eine größere Anzahl von Biogasanlagen geben wird, die sich den Kriterien der Trockenfermentation gemäß § 8 Abs. 4 EEG unterwerfen und die gewonnenen Erfahrungen dann in die Forschung und Entwicklung einfließen lassen, kann diese Information zu einem erheblichen Erkenntnisgewinn für die dringend notwendige Entwicklung von noch effizienteren Verfahren führen. Im sogenannten Kompogas-Verfahren, welches überprüft den

Trockenfermentationsbonus erhält, wird ebenfalls ein liegender Biogasreaktor nach dem NatUrgas® – Verfahren mit einer längs durch den Reaktor laufenden Rührwelle eingesetzt. Ebenso wird mit der Prozesswasseraufbereitungsanlage eine Schließung des Stoffkreislaufs der Biogasanlage zur Einsparung natürlicher Ressourcen angedacht. Dies trägt somit insbesondere auch dem im EEG aufgeführten Interesse Rechnung, möglichst innovative, umwelt- und klimaschonende Anlagentechniken einzusetzen.

Nur durch den liegenden Reaktor mit Haspelrührwerken, die längs durch den Reaktor führen, ist es überhaupt möglich, die durch den Einsatz von Hühnertrockenkot entstehenden hohen TS-Gehalte dauerhaft und effizient zu rühren. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist auch die geringere Anfälligkeit bei Sedimentbildung. So rühren die Paddel die Sedimente in größeren Volumenbereichen auf und erhalten so das wichtige Gärvolumen aufrecht. Die Sedimentbildung ist auch ein durchaus beachtenswertes Problem, auf welches später noch im Detail eingegangen wird. Zur Sicherstellung der Rührfähigkeit wurde auch eine Zwangsentleerung der Sedimente in Form eines Sandaustrags realisiert. Dieser befindet sich am hinteren Ende der Reaktoren in Form eines Betontrichters und einer hierin eingebauten Schnecke zum Abtransport der Sedimente.

Abb.: Bodentrichter zum Abtransport der Sedimente

Bei dem Rührwerk handelt es sich um zwei je 27 m lange horizontal gelagerte Wellen mit einem Wellendurchmesser von etwa 270 mm. An jeder Welle sind am Umfang verteilt 15 Paddel angeschraubt. Diese greifen derart in das Gärsubstrat ein, dass eine optimale Durchmischung und Entgasung erreicht wird. Der Energiebedarf der Rühreinrichtung richtet sich nach der Drehzahl (1 bis 5 U/min), der Neigung des Substrates zu Schwimm- und/oder Sinkschichtenbildung und nach dem Trockenmassegehalt des Gärsubstrates. Es wird ein Getriebemotor mit einer Leistung von je 18 kW installiert. Im Vergleich zu Trockenfermentationsverfahren, die diskontinuierlich arbeiten, kann aufgrund der Homogenisierung des Reaktorinhaltes ein besserer Abbau der Organik erreicht werden.

Die Steuerung des Rührwerks beinhaltet einen Frequenzumrichter, über den die momentane Stromaufnahme des Getriebemotors gemessen werden kann. Anhand dieser Werte können Rückschlüsse auf den Trockenmassegehalt des Gärsubstrates gezogen werden. Die Stromaufnahme wird nach Bedarf als Regelungsparameter für die Entscheidung herangezogen, ob Flüssigkeit aus der Fest- / Flüssigtrennung in

den Biogasreaktor zurückgeführt werden muss oder nicht. Zu diesem Zweck wurde ein Schauglas installiert, das beleuchtet und mit einem Wischer versehen ist.

Das Schauglas selber ist als dauerhaft technisch dicht anzusehen. Aus diesem Grund musste um das Schauglas auch keine Exschutzzone gelegt werden. Mit Hilfe des Schauglases kann die Oberfläche des Gärsubstrates genau beobachtet werden. Dies ist notwendig, um eine Aussage über die Aktivität des Gärsubstrates machen zu können. Sichtkontrollen werden daher mehrmals täglich durchgeführt.

Das in den Biogasreaktoren, Lagerbehältern und der Dekantervorlage entstehende Biogas entweicht aus der Gärmasse in den Gasraum unterhalb der Reaktordecke. Der maximale Füllstand der Reaktoren liegt bei einem Meter unter der Reaktordecke.

Das entstehende Biogas gelangt anschließend über eine Rohrverbindung aus Edelstahl von den Biogasreaktoren in den Foliengasspeicher, welcher sich in einem separaten Raum über dem Reaktor III befinden. Dieses nichtbrennbare Rohr wird mittels eines Dichtungseinsatzes von Doyma Curaflamm A + B/ex BSHN abgetrennt. Somit ist ein optimaler Schutz gegen Brandlasten oder explosive Atmosphäre gegeben. In der Rohrverbindung integriert befindet sich eine Über- und Unterdrucksicherung mit eben diesen Abmessungen zur Absicherung des Biogasreaktors und des Foliengasspeichers. Diese Sicherung ist auf 5 mbar Sperrflüssigkeitsvorlage eingestellt.

Der Aufbau der Über- und Unterdrucksicherung ist derart gestaltet, dass bei Unterdruck keine Sperrflüssigkeit entweichen kann. Bei Nachlassen des Unterdrucks läuft die Sperrflüssigkeit selbsttätig zurück. Bei lange anhaltendem Überdruck bei gleichzeitigem Entweichen großer Gasmengen wird mit der Zeit die Sperrflüssigkeit zum Teil mit dem Gasstrom mitgerissen, so dass bei einem späteren wiederholten Ansprechen die Sperrflüssigkeitsvorlage nicht mehr auf 5 mbar, sondern geringer, eingestellt ist.

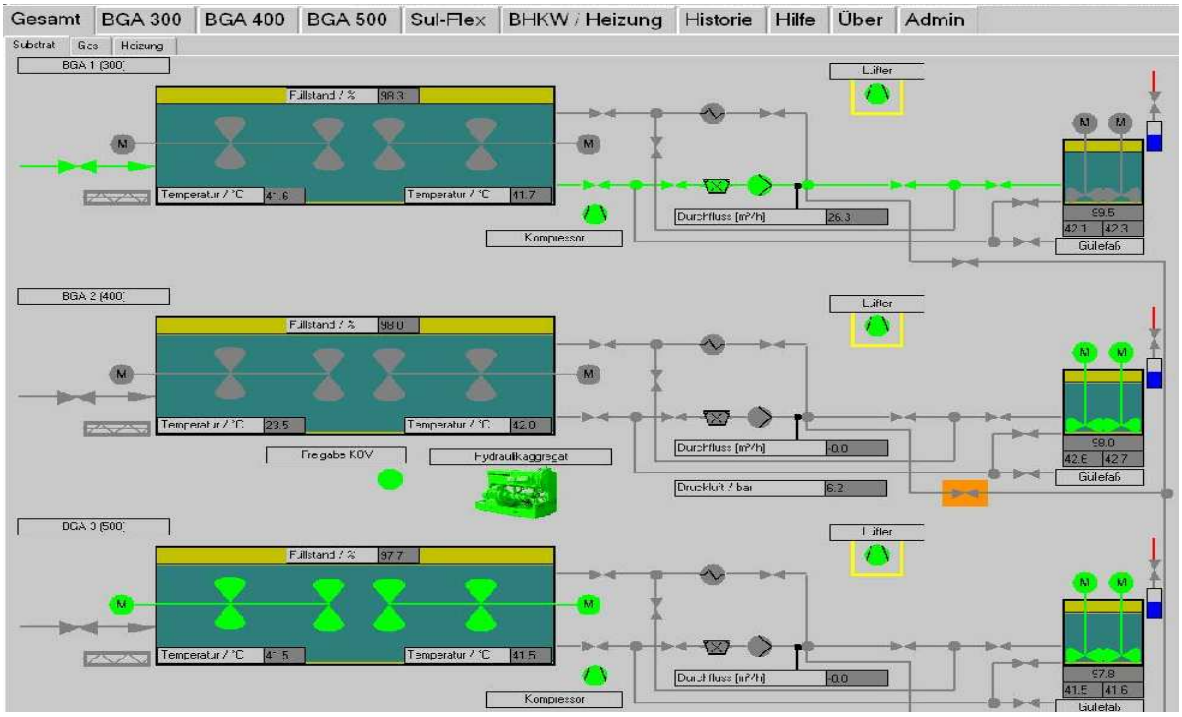
Ein Problem entsteht daraus nicht, da der Betrieb des BHKW`s und / oder der Fackelanlage überwacht wird. Fallen beide Gasverbraucher aus, so ist das Austreten von Biogas aus der Über- und Unterdrucksicherung gewünscht. Vor der Wiederinbetriebnahme der Gasverbraucher muss die Sicherung kontrolliert werden, denn bei einer nicht korrekt eingestellten Sicherung würde sich der Gasspeicher nicht füllen. Ein ungewolltes Entweichen von Biogas in den Montageraum ist nicht möglich, da die Sperrflüssigkeitsvorlage derart gestaltet wurde, dass anfallendes Biogas sicher über dem Dach abgeleitet wird. Der Biogasreaktor ist über eine zusätzliche Über- und Unterdrucksicherung abgesichert. Diese Sicherung ist im Montageschacht in der Decke des Biogasreaktors integriert. Grund hierfür ist die frostsichere Installation der Einrichtung. Die Einstellung des Ansprechdrucks erfolgt auf 10 mbar.

Da anfallender Schaum bei der Biogasproduktion nie ganz auszuschließen ist, wurde eine Schaumdruckplatte ins System integriert. Grund hierfür ist die Tatsache, dass sich anfallender Schaum nicht durch die Über- und Unterdrucksicherungen oder die Gasleitungen bewegt. Vielmehr würde der Schaum einen flächigen Druck auf die Reaktordecke und Wände ausüben. Um hier einen Entlastung zu erreichen, wurde daher in der Decke des Biogasreaktors eine Schaumdruckplatte mit einer Wischereinrichtung installiert. Die Platte besteht aus Edelstahl und ist mittels eines Gewichtes und einer Hebeleinrichtung beschwert. Das Gewicht wurde so eingestellt, dass ein Innendruck von 30 mbar erreicht werden muss, bis

sich die Schaumdruckplatte abhebt und Schaum und/oder Gas entweichen lässt. Nach erfolgreichem Ablassen des Überdrucks schließt sich die Platte selbsttätig über das aufgebrachte Gewicht.
Das Heizsystem wird mit einer Kugelventilpumpe (KOV) der Firma Putzmeister mit einer Förderleistung von 15-30 m³ je Stunde betrieben. Dieser Pumpe wird eine Zerkleinerungseinrichtung (Roto-Cut) vorgeschaltet. Diese dient dazu, das Gärsubstrat weiter aufzuschließen und die Gasausbeute somit zu verbessern, also auch um organische Fremdkörper zu zerkleinern. Ein weiterer Vorteil der Zerkleinerungseinrichtung ist der Schutz der nachgeschalteten Pumpe vor Pumpenstopfern und Verschleiß durch größere Fremdkörper. Diese Einrichtung wurde aber erst im Laufe der Inbetriebnahme nachgerüstet und hat das Problem der sich im HTK befindlichen Holzteile nachhaltig gelöst.
Das Gärsubstrat wird über diese KOV aus dem Biogasreaktor abgezogen und über den Doppelrohrwärmetauscher gepumpt. Das Hüllrohr wird mit dem Warmwasserkreislauf des BHKW verbunden und im Gegenstromprinzip durchflutet. Aus der Temperaturanforderung des Biogasreaktors ergibt sich die Laufzeit dieses Heizsystems. Aufgrund der hohen Wärmeübertragungsrate des Doppelrohrwärmetauschers arbeitet das Heizsystem energiesparend. Im Biogasreaktor sind zwei Temperaturfühler angebracht. Einer befindet sich auf der Einlaufseite, der andere an der Auslaufseite des Biogasreaktors.
Bei einem Defekt im Heizsystem muss der Biogasreaktor nicht entleert werden. Das Heizsystem ist von außen komplett vom Reaktor trennbar. Selbst eine Reinigung des Wärmetauschers kann von außen durchgeführt werden.

2.3.4 Lagerbehälter mit Nachgärfunktion

Die jeweiligen Lagerbehälter mit Nachgärfunktion wurden gasdicht und in Form von Rundbehältern aufgefertigt. Abgedeckt wurden diese Behälter mittels einer gasdichten Betondecke. Die Befüllung erfolgt mittels Rohrleitung und Pumpe direkt vom Biogasreaktor aus. Im Bedarfsfall können die Behälter während des Befüllens aus dem Reaktor oder durch Rezirkulieren mittels des in den Pumpenräumen angebrachten Wärmetauschers beheizt werden. Für Kontrollzwecke sind in den Behältern sowohl ein Temperaturfühler als auch ein Füllstandsmesser angebracht. Der maximale Füllstand der Behälter liegt bei ca. 50 cm unter der Decke. Anfallendes Biogas entweicht aus der Gärmasse in den Gasraum unterhalb der Decke und wird über eine Gasleitung dem Foliengasspeicher zugeleitet und anschließend im BHKW zur Erzeugung von Wärme und Strom verwendet. Die im Lagerbehälter mit Nachgärfunktion installierten Schaugläser dienen der Überwachung des Gärsubstrats. Die Schaugläser werden, wie im Biogasreaktor, technisch dauerhaft dicht ausgeführt, so dass hier auch keine Ex-Zone um das Schauglas gelegt werden musste.
Die technische Überwachung erfolgt analog der Überwachung in der Annahmehalle über Panel-PC`s und wird über die MSR visualisiert.



Um eine optimale Biogasausbeute zu erhalten und um einer Sedimentbildung vorzubeugen, ist der Lagerbehälter mit zwei Rührwerken ausgestattet, die durch die Behälterdecke installiert werden. Zwei Kontrollschächte dienen zur Leckerkennung.

Zur Absicherung des gasdichten Lagerbehälters ist eine Über- und Unterdrucksicherung installiert. Diese Sicherung ist auf 10 mbar Sperrflüssigkeitsvorlage eingestellt.

Der Aufbau der Über- und Unterdrucksicherung ist derart gestaltet, dass bei Unterdruck keine Sperrflüssigkeit entweichen kann. Bei Nachlassen des Unterdrucks läuft die Sperrflüssigkeit selbsttätig zurück. Bei lange anhaltendem Überdruck bei gleichzeitigem entweichen großer Gasmengen wird mit der Zeit die Sperrflüssigkeit zum Teil mit dem Gasstrom mitgerissen, so dass bei einem späteren wiederholten Ansprechen die Sperrflüssigkeitsvorlage nicht mehr auf 10 mbar sondern geringer eingestellt ist. Da anfallender Schaum auch hier nie ganz auszuschließen ist, wurde auch hier, wie im Biogasreaktor, eine Schaumdruckplatte installiert.

2.3.5 Pumpenraum

In den an den rechteckigen Reaktoren angebauten Pumpräumen befinden sich jeweils die Kugelventilpumpen, Zerkleinerungstechniken, Heizungen und Sandaustragsschnecken sowie diverse Sicherheitseinrichtungen bzw. die Steuerungskomponenten.

Die eingesetzten Kugelventilpumpen der Firma Putzmeister sind derart konzipiert, dass eine hohe Verfügbarkeit auch beim Fördern von Substraten mit höheren TS-Gehalten erreicht wird. Die Pumpen sind generell sehr verschleißarm und unempfindlich gegenüber sandhaltigem Substrat und können leicht bei Verstopfungen gereinigt werden. Zur Vermeidung von Überdruck und Trockenlauf wurde auch eine

Schutzvorrichtung installiert. Über einen Drucksensor auf der Druckseite der Pumpe wird ein maximal zulässiger Betriebsdruck eingestellt, wird dieser Schwellenwert überschritten, schaltet die Pumpe unverzüglich ab. Dies wäre bei einer Fehlbedienung der Fall. Der Trockenlaufschutz wird entweder durch Temperatur- oder Unterdruckschalter erreicht. Beides beugt einem Trockenlaufen der Pumpe vor.
Für den Verschluss der Fermenter bzw. der Rohrleitungen werden pneumatisch angetriebene Stoffschieber eingesetzt. Die hierfür erforderlichen Kompressoren werden ebenfalls in den Pumpenräumen installiert. Die Schieber sind mit einem Magnetventil und Endlagenschaltern ausgerüstet. Diese dienen der Überwachung des Zustandes der einzelnen Schieber. Zur Sicherung werden im Pumpenraum ein Pumpenschacht integriert und an den tiefsten Stelle eine Flüssigkeitssonde installiert. Diese Sonde erkennt aufsteigende Flüssigkeiten und bewirkt eine Abschaltung der Pumpen und ein Schließen aller automatischen Schieber. So ist sichergestellt, dass der Pumpenraum beim Platzen eines Rohres oder auf Grund eines Dichtungsfehlers nicht mit Substrat angefüllt wird. Weiterhin ist der Pumpenraum mit einer Zuluftöffnung in der Tür und einer Abluftöffnung über ein Lüftungsrohr ausgestattet, so dass eine ausreichende Durchlüftung sichergestellt werden kann. Die äußerst geringen Mengen an aus der Stopfbuchsenpackung des Rührwerks oder den Pumpen austretenden Flüssigkeiten werden aufgefangen und verwertet. Eine Gefährdung durch Gase dieser Flüssigkeiten besteht nicht.

2.3.6 Foliengasspeicher

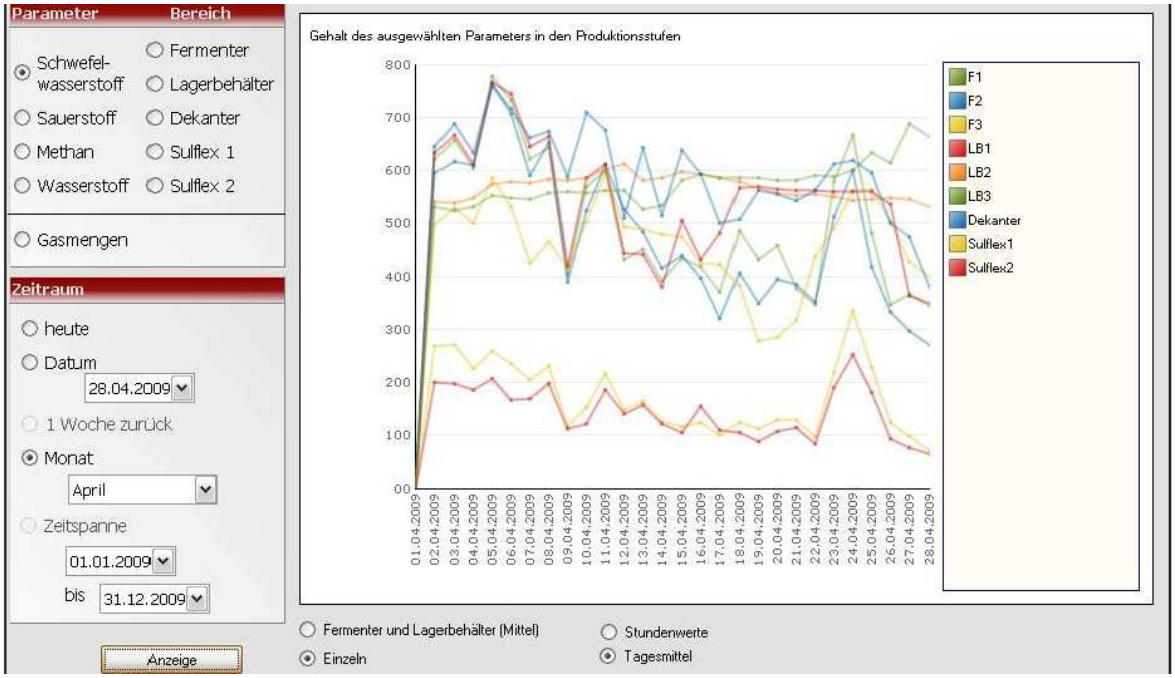
Die Foliengasspeicher (2 Speicher mit je 440 m³ Inhalt) dienen dem Ausgleich zwischen Gasproduktion und Gasverwertung der Biogasanlage und sollen bei Wartungsarbeiten als Lager die anfallende Gasmenge eine bestimmte Zeit zwischenspeichern.
Die Folienspeicher können jedoch auf Grund ihrer Größe nur eine kurze Zeitspanne von maximal einer halben Stunde überbrücken. Die Foliengasspeicher sind aus einem beständigen Material gefertigt. Die Konfektionierung erfolgt derart, dass die Foliengasspeicher exakt in den dafür vorgesehenen Raum passen. Die Aufhängung erfolgt auf halber Höhe der jeweiligen Wand, damit sich der Foliengasspeicher beim Füllen und Entleeren nicht an der Wand aufscheuert. An den Gaseintritts- und Gasaustrittsstellen sind Kunststoffflansche eingebaut.

2.3.6.1 SUL-FLEX Entschwefelung mit Umlaufspülung

Kombiniert mit der Funktion des Biogasspeicherns wird die Entschwefelung des Biogases durchgeführt. Hierfür sind Aufwuchsflächen in den Folienspeicher eingearbeitet, so dass die Entschwefelungsbakterien Ansiedelungsflächen erhalten. Dem Biogas (schwefelwasserstoffhaltiges Gas) wird kontinuierlich Luft zugesetzt. Im Gasspeicher befindet sich Trägermaterial dessen Oberfläche von speziellen Formen von Thiobazillen besiedelt wird. Diese Bazillen nutzen die Oxidation des Schwefelwasserstoffes als Energiequelle für ihre Vermehrung. Die mikrobiologische H_2S-Oxidation verläuft zu ca. 75% zu elementarem Schwefel und zu ca. 25% zu Sulfat.

Die Oxidationsprodukte des Schwefelwasserstoffes werden mittels Spülflüssigkeit vom Trägermaterial abgewaschen.Die notwendige Spülflüssigkeit , welche den Gärrestendlagern entnommen wird, wird in die Foliengasspeicher über eine Pumpe eingeleitet. Diese Pumpe erfüllt die ATEX Richtlinie Zone 2, sodass beim Spülvorgang keine Explosionsgefährdung von der Fördereinrichtung ausgehen kann. Die Steuerung und Überwachung ist so ausgerichtet, dass es zu keiner explosiven Gas/Luftmischung im Foliengasspeicher kommen kann. Dies wird sichergestellt durch die Sauerstoffmessung auf der Roh- und Reingasseite.

Sollte dennoch aufgrund eines Mess- oder Steuerungsfehlers ein zündfähiges Gemisch im Foliengasspeicher entstanden sein, ist die Pumpe über Schalter derart abgesichert, dass die Pumpe nicht trocken laufen kann. Somit ist sichergestellt, dass kein zündfähiges Gemisch in den Pumpenraum gelangen kann. Vom Spülkreislauf des SUL-FLEX werden manuell Proben gezogen und eine pH-Wertmessung durchgeführt. Anhand des pH-Wertes wird der Austausch der Spülflüssigkeit geregelt. Durch eine optimale Abstimmung des pH-Wertes ist es möglich, sowohl die Schwefelwasserstoffkonzentration als auch die Ammoniakkonzentration im Biogas gering zu halten. Durch die Aufarbeitung der Daten aus den Steuerungsrechnern und der MSR sowie unter Erfassung von externen Daten, wie Waage etc. werden Daten im internen Kontrollprogramm erfasst und verarbeitet. In diesem internen Kontrollprogramm werden die täglichen Auswertungen gespeichert und kumuliert, so dass Auswertungen und Informationen über einen längeren Zeitraum dargestellt werden können. Nachfolgend ist die Überwachung der Schwefelwasserstoffkonzentrationen in den neun verschiedenen Messstellen dargestellt. Unterschiedliche Anzeigeoptionen lassen Veränderungen im Prozess erkennen und Rückschlüsse daraus ziehen.



Abk.: F1,2,3: Fermenter 1, 2, 3; LB: Fermenter mit Nachgärfunktion, Suflex 1 + 2: Gassack 1 oder 2

Die X-Achse gibt die Schwefelwasserstoffkonzentration in ppm an, die y-Achse zeigt den ausgewählten Monat an.

Durch das relativ geringe Volumen des SUL-FLEX Speichers (880 m^3) und einer Biogasproduktion von bis zu 1100 m^3/Std. ist eine ausreichende Verweilzeit des Biogases in den Speichern nicht permanent gewährleistet. Der Abbau des Schwefelwasserstoffs erfolgte nicht in dem gewünschten Maße. Die Verweildauer des Gases in den Gassäcken war zu kurz bzw. die Oberfläche der mit Bakterien angesetzten „Vorhänge“ zu gering. Dadurch hatten die Bakterien für den Abbau des Schwefelwasserstoffs zu wenig Zeit. Dies ist vor allem bei Vollast über 2MW ein Problem. Ein nachträglicher Einbau von zwei Ventilatoren konnte eine verbesserte Durchmischung des Gases innerhalb der Speicher und somit eine erhöhte Entschwefelungsleistung erzielen. Leider sind die Standzeiten der exgeschützten Ventilatoren relativ kurz und der Schwefel blockiert die mechanische Kühlung der Ventilatoren und führt zu einem frühen Zerstören der Motoren. Hier ist noch eine Optimierung nötig. Es sind maximale Konzentrationen von 250 bis 300 ppm Schwefelwasserstoff einzuhalten, dies ist über die Zugabe von Eisenhydroxid in die Biogasreaktoren zu steuern. Durch die Zugabe von zweiwertigem Eisenhydroxid während der Beschickung wird versucht, die Schwefelwasserstoffbildung bereits im Vergärungsprozess so gering wie möglich zu halten. Ohne die Zugabe von Eisen würden sich innerhalb kürzester Zeit in den Fermentern Schwefelwasserstoffkonzentrationen von bis zu 6000 ppm einstellen. Dies würde sich zudem negativ auf den Gärprozess auswirken. Im derzeitigen Betrieb können durch die Beigabe Werte von 400 bis 600 ppm Schwefelwasserstoff im Rektor erreicht werden. Diese ermöglichen einen dauerhaften Wert von durchschnittlich 100-200 ppm Schwefelwasserstoff im Gasspeicher.
Die verbrauchte Spülflüssigkeit wird über eine Pumpe in den Lagerbehälter gefördert. Ebenso wird frische Spülflüssigkeit dem Separatorablauf entnommen und dem SUL-FLEX zugeführt.

2.3.6.2 Gaskühlung und Gasverdichtung

Neben dem Montageraum für den Foliengasspeicher befindet sich, getrennt durch eine Brandwand F90, der Maschinenraum. Dort befinden sich das BHKW, der Verdichter, die Gasvorwärmung, die Gaswarnanlage, Gaskühlung und die Notheizung. Das in den Foliengasspeichern aufbereitete Biogas wird über eine Edelstahlleitung DN 200 in den Maschinenraum geleitet. Die Absicherung der Gasleitung gegen Brand- und Explosionsgefahr erfolgt wie oben beschrieben. Der Verdichter saugt das Biogas durch einen Feinstfilter und drückt es mit 50 bis 100 mbar in die Gasregelstrecke des BHKW. Dort wird es in Strom und Wärme umgewandelt. Um dem Auskondensieren des Biogases in der Gasstrecke vorzubeugen, sind dem Gasverdichter eine Gaskühlung vor- und eine Gasvorwärmung nachgeschaltet. Das Biogas wird von etwa 30°C auf 45 °C erwärmt. Hierdurch wird die relative Feuchtigkeit herabgesetzt.

2.3.6.3 Aktivkohlefilter und Oxidationskatalysator

Zur Einhaltung des Formaldeyhdemissionswertes von 60 mg/m^3 wurde ein Oxydationskatalysator auf dem Containerdach des BHKW´s nach dem Abgasaustritt am BHKW und dem Abgaswärmetauscher eingebaut. Erforderlich wurde dadurch eine weitergehende Gasreinigung mittels Aktivkohlefilter zur Entfernung von

Katalysatorgiften. Diese erfolgt nach Abkühlung und Verdichtung des Gases vor dem Eintritt in den Motor. Folgende Stoffe lassen sich durch Adsorption an Aktivkohle zu einem großen Teil aus dem Biogas entfernen: Siloxane, Natrium, Kalzium, Wismut, Mangan, Eisen, Arsen, Antimon, Kadmium, Halogene wie Chlor-, Schwefel-, und Phosphor sowie Schwermetallverbindungen. Das entstehende Biogas wird nach der „natürlichen“ Vorentschwefelung im Foliengasspeicher durch die Aktivkohle hindurch geführt. Die Reinigung erfolgt im Wesentlichen in drei parallel geschalteten Behältern mit ca. 1,2 m^3 Füllvolumen. Zusätzlich zu der bereits im Gasspeicher durchgeführten biologischen Entschwefelung wird eine weitere Reduzierung des Schwefelwasserstoffes im Biogas erreicht. Der Schwefelwasserstoff wird von der Aktivkohle nahezu vollständig zurückgehalten, der Rest des Biogases, vorwiegend Methan und Kohlendioxid, geht durch den Aktivkohlefilter hindurch.

Abhängig vom Gasdurchsatz und den im Biogas enthaltenen Verunreinigungen muss die Aktivkohle ca. alle 3-4 Monate ausgetauscht werden.

Optimierungen, welche Eisenhydroxydmengen im Verhältnis zu Aktivkohlewechsel stehen, lassen sich im Moment noch nicht abschätzen, da keine ausreichenden Erfahrungen bzw. Literaturquellen existieren.

Der Oxy-Kat oxidiert Formaldehyd, ebenso wie einen Teil des im Abgas vorhandenen Kohlenmonoxids. Über eine Gasmessung (H_2S-Konzentration im Biogas) wird bei Erreichen eines bestimmten Grenzwertes eine Warnung ausgegeben. Aufgrund dieser Maßnahme kann die Standzeit des Oxy-Kat wesentlich erhöht werden. Die Nachrüstung mit Aktivkohlefilter und Oxi-Kat garantiert, dass die Emissionswerte nach TA-Luft für Formaldehyd mit 60 mg/ m^3 eingehalten werden.

Zum anderen können nach dem novellierten Erneuerbaren–Energien-Gesetz (EEG 2009) Anlagen, die die Formaldehyd-Emission im Abgas des BHKW`s mindern, einen Bonus auf die Einspeisevergütung erhalten. Bei einer Formaldehyd-Reduzierung auf einen Wert von unter 40 mg/m^3 (bezogen auf 5% O_2) kann dieser Formaldehyd-Bonus in Höhe von 1,0 ct/kWh gewährt werden.

Die Reinigung bzw. Erneuerung des Katalysators erfolgt über die Montageöffnungen.

Abk.: Aktivkohlefilter vor BGA 3

2.3.6.4 Sicherheitseinrichtung

Für den störungsarmen und sicheren Betrieb der Biogasanlage wurden die nachfolgend ausgeführten Sicherheitseinrichtungen ins System integriert.
Das Gasmesssystem ist in den Anhängen beschrieben. Die Notwendigkeit des Einsatzes ergibt sich aus der Kontrolle der Gasqualität hinsichtlich Methan, Sauerstoff, Schwefelwasserstoff und Wasserstoff. Der Biogasprozess kann im Prinzip über die Analytik im Labor (Säuren, pH-Wert, etc.) kontrolliert werden. Allerdings sind diese Messungen kostspielig und zeitaufwändig. So können zwischen Probenentnahmezeitpunkt und dem Erhalt gesicherter Ergebnisse durchaus 3 - 10 Tage vergehen. Innerhalb dieses Zeitraumes können sich im Betrieb der Anlage wieder wesentliche Faktoren geändert haben. Aus diesem Grund bietet das Gasmesssystem den Vorteil, zeitnah aussagekräftige Daten liefern zu können. Und das jede Stunde, wenn der Prozess dies erfordert.
Die Gaswarnanlage dient der Verhütung von Unfällen und beugt der Beschädigung der Biogasanlage
vor. Eine jährliche Wartung ist notwendig. Im Maschinenraum sind zwei Gaswarnsensoren installiert. Einer in Bodennähe, der andere im Deckenbereich. Beim Erreichen des ersten Schwellenwertes von 20 % UEG wird ein Alarm ausgelöst. Die Zwangsbelüftung des Maschinenraumes ist immer bei Betrieb des BHKW aktiv. Bei erreichen der 20 % UEG wird der Zuluftventilator auf volle Leistung hochgeregelt.
Bei einer Überschreitung des oberen Schwellenwertes von 40 % UEG werden alle im Maschinenraum befindlichen Anlagenteile vom Netz getrennt. Die sich in der Gasleitung im Maschinenraum befindlichen Magnetventile werden bei Gasalarm automatisch geschlossen. Das manuelle Absperren der Gasleitung ist ebenfalls von außerhalb des Maschinenraumes möglich.
Die Notlüftung des Maschinenraumes nach einem Gasalarm mit erfolgter Abschaltung wird durch eine befugte Person über das Öffnen der Maschinenraumtüren durchgeführt. Aufgrund der natürlichen Durchlüftung ist ein Ableiten der gefährlichen Gase möglich. Die Gaswarnanlage bleibt aktiv, um die Belüftungs-Maßnahmen kontrollieren zu können. Bei Bedarf kann ein mobiles Gebläse in Exschutzausführung eingesetzt werden.

2.3.7 Blockheizkraftwerke

Zuerst sollte der Bau von drei BHKW`s mit je 625 kW Leistung sowie einer gemeinsamen Einbringungstechnik und einer gemeinsamen Wasseraufbereitung an einem Standort erfolgen. Jedoch führten Gespräche während der Projektierungs- und Planungsphase mit dem zuständigen Energieversorger schnell zu der Erkenntnis, dass bei dieser Gestaltung die drei BHKW als eine Einheit anzusehen sind (Einanlagenstatus). Diese Erkenntnis und die Aussicht, dass der Gesetzgeber diese Lücke im Gesetzestext

schließen wird (was mit der Erneuerung des EEG am 01.01.09 tatsächlich geschehen ist), bewogen uns dazu, die BHKW`s räumlich zu trennen und die ursprünglich geplanten drei BHKW`s mit je 625 kW Leistung, wurden in drei BHKW`s mit jeweils 716 kW elektrischer Leistung geändert. Die Bescheinigung, dass es sich bei den Anlagen um drei eigenständige Anlagen im Sinne des § 3 Abs. 2 EEG handelt wurde durch einen Wirtschaftsprüfer ausgestellt. (Anhang: Bescheinigung – Anlagegriff nach § 3 Abs. 2 EEG für das BGA Flugplatz).

Jedes der drei BHKW`s wird als selbständige Anlage betrieben und wurde daher mit jeweils einem Magergasverbrennungsmotor sowie einem angeflanschten Generator ausgestattet. Die beiden BHKW`s am Flugplatz und in Baasdorf werden in einer Komplettanlage mit den erforderlichen Nebeneinrichtungen in einem schallgedämpften Container betrieben.

Die Stahlcontainer haben eine Abmessung von 12,19 m * 3,00 m * 2,80 m und wurden auf Betonfundamenten aufgestellt. Im Inneren befinden sich zwei Räume (Maschinen - sowie Schaltraum), ein Gasmotor (TYP TCG 2016B V 16), ein Generator (TYP Marelli M8B 400 LC 4), der Abgaswärmetauscher, die Steuerungstechnik des BHKW sowie die zur Lagerung von Frisch- und Altöl erforderlichen Behälter. Gemäß den Auslegungsdaten des TCG 2016 V16 hat jeder Motor eine Feuerungswärme von 1.778 kW, eine elektrische Leistung von 716 kW und eine thermische Leistung von 699 kW.

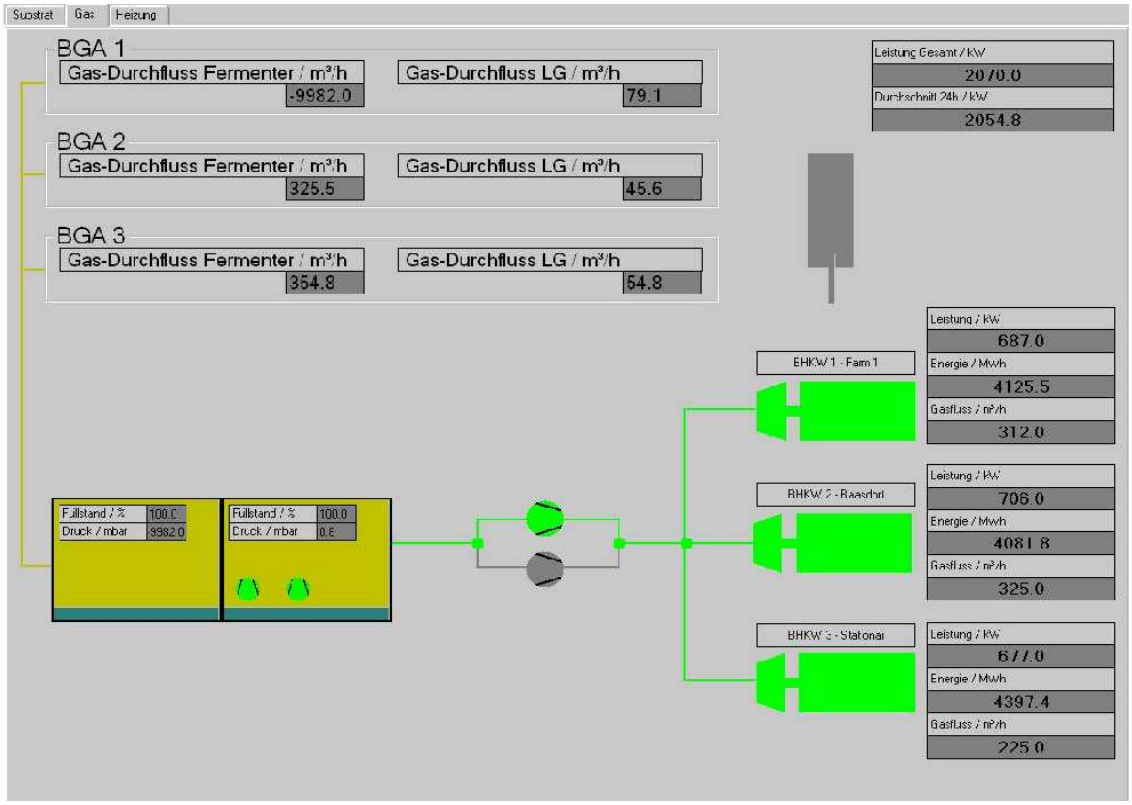
Die BHKW`s erfüllen die technischen Anforderungen der TA Luft (TA Luft Grenzwert CO = max. 300 mg/ m^3, NOx = 500 mg/ m^3). Auf den Containern sind ein Not- und Gemischkühler installiert. Die Motorabgase werden über ein Abgasrohr 10 m über Grund abgeleitet.

Eine im Anfang der Planungen angedachte Gaseinspeisung wurde verworfen. Aufgrund von noch unzureichender Technik bzw. fehlender rechtlicher Rahmenbedingungen (Gaseinspeisegesetz) sollte eine weitere Risikoerhöhung des insgesamt schon höchst innovativen Vorhabens vermieden werden.

Eine Lösung bestand darin, die bei der Verbrennung des Gases zu Strom erzeugte Wärme besser zu nutzten. So entschied man sich, die BHKW`s näher an so genannte Wärmesenken zu bringen, um möglichst viel dieser Wärme auch ortsnah zu verwenden.

Die Umplanung bedeutete jedoch eine erheblichere Ausweitung der Kosten, die durch größere Wärmenetze bzw. Microgasnetze entstanden (siehe Punkt: 2.2.13). Um einen Teil der Mehrkosten aufzufangen, wurde entschieden, BHKW`s mit einer größeren Leistung einzusetzen, da diese in der Investition nur unwesentlich höher ausfielen.

Der hohe elektrische und thermische Wirkungsgrad ist ausschlaggebend für den wirtschaftlichen Betrieb der Biogasanlage. Die Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten werden fachkundig durchgeführt, um eine hohe Verfügbarkeit zu erreichen. Es wurden Wartungs- und Instandhaltungsverträge über Betriebsstundenabrechnung abgeschlossen, um eine dauerhafte Ausfallsicherheit bei den BHKW`s zu erreichen. Die Überwachung der BHKW´s erfolgt über Computer und wird ebenfalls über die MSR graphisch dargestellt.



Abk.: Prozessleitbild BHKW

Alle wesentlichen Daten werden kontinuierlich erfasst und protokolliert: Raumtemperatur, Generatorleistung, Abgastemperatur, MKW-Temperatur, Motoreintritt, Kühlwassertemperatur, Heizwasservorlauf, Heizwasserrücklauf und Receivertemperatur.

Die Verwertung des erzeugten Biogases in den BHKW`s ist oberstes Ziel der Biogasanlage. Sowohl BHKW`s als auch die Biogasfackeln werden jeweils über denselben Verdichter angesteuert. Diese Verdichter sind im Maschinenraum aufgestellt. Über einen Frequenzumrichter kann der notwendige Vordruck für das BHKW oder die Gasfackel aufrechterhalten werden. In den BHKW`s wird das Biogas in Strom und Wärme umgewandelt. Die durch die BHKW`s produzierte Elektroenergie wird über den errichteten Trafo in das öffentliche Netz eingespeist.

2.3.7.1 Notkühler

Der Notkühler dient zur Abführung der ungenutzten Wärme.

2.3.7.2 Fackelanlage

Die für die gesamte Anlagenstrecke ausgelegte Not-Fackelanlage dient lediglich dem Abfackeln des Biogases bei Ausfall eines oder mehrerer BHKW`s. Sie ist auf dem Flachdach des Maschinenraumes angeordnet.

2.3.8 Wasser und Gärrestaufbereitung

Wie bereits erwähnt gab es vor dem Projekt „Biogasanlage Flugplatz Köthen“ kein technisches Konzept für Biogasanlagen, das in der Lage gewesen wäre, die für die Vergärung von Hühnerkot benötigte Wasseraufbereitung zu bewerkstelligen.

Aus diesem Grund dehnte man das Suchfeld auch auf artverwandte Branchen aus. Da das Problem der Reinigung von Wasser insbesondere bei Deponien, ein Thema ist, betrachtete man die dort angewandten Technologien und überlegte sich, wie man die dort bereits eingesetzten Systeme und Verfahren mit Sickerwasser auf ökologisch und wirtschaftlich sinnvolle Art im Bereich der Wasseraufbereitung bei Biogasanlagen einsetzen kann.

Die Ausgangskonzeption der Gärrestaufbereitung beruht auf einer sorgfältigen Analyse des Gärsubstrates aus einem 9-monatigen Gärversuch. Dieser Gärversuch wurde mit Original-Substrat Hühnertrockenkot, Mais- und Grassilage von Biogas Oberfranken, Hr. Dr. Müller durchgeführt.

Die für die Gärrestaufbereitung notwendigen Parameter wie Leitfähigkeit, Trockensubstanzgehalt, Nährstoffzusammensetzungen und Fliesfähigkeit wurden ermittelt. Weiterhin wurden Dekantierversuche durchgeführt, die ein gutes Ergebnis zeigten.

Prinzipiell ist die Arbeitsweise der Ultrafiltration (UF) allgemein bekannt. Die Filter werden mit einer hohen Überströmung betrieben, um ein Verlegen der Filterflächen zu vermeiden.

In der untenstehenden Grafik erkennt man den Kreislauf von Vorlage UF zur UF Anlage selbst und zurück. Aufgrund dieses Kreislaufs und der Notwendigkeit des Einsatzes eines Vorlagebehälters kommt es im Vorlagebehälter zu einer Kumulierung der abfiltrierten Feststoffe. Diese Erscheinung ist weitläufig bekannt.

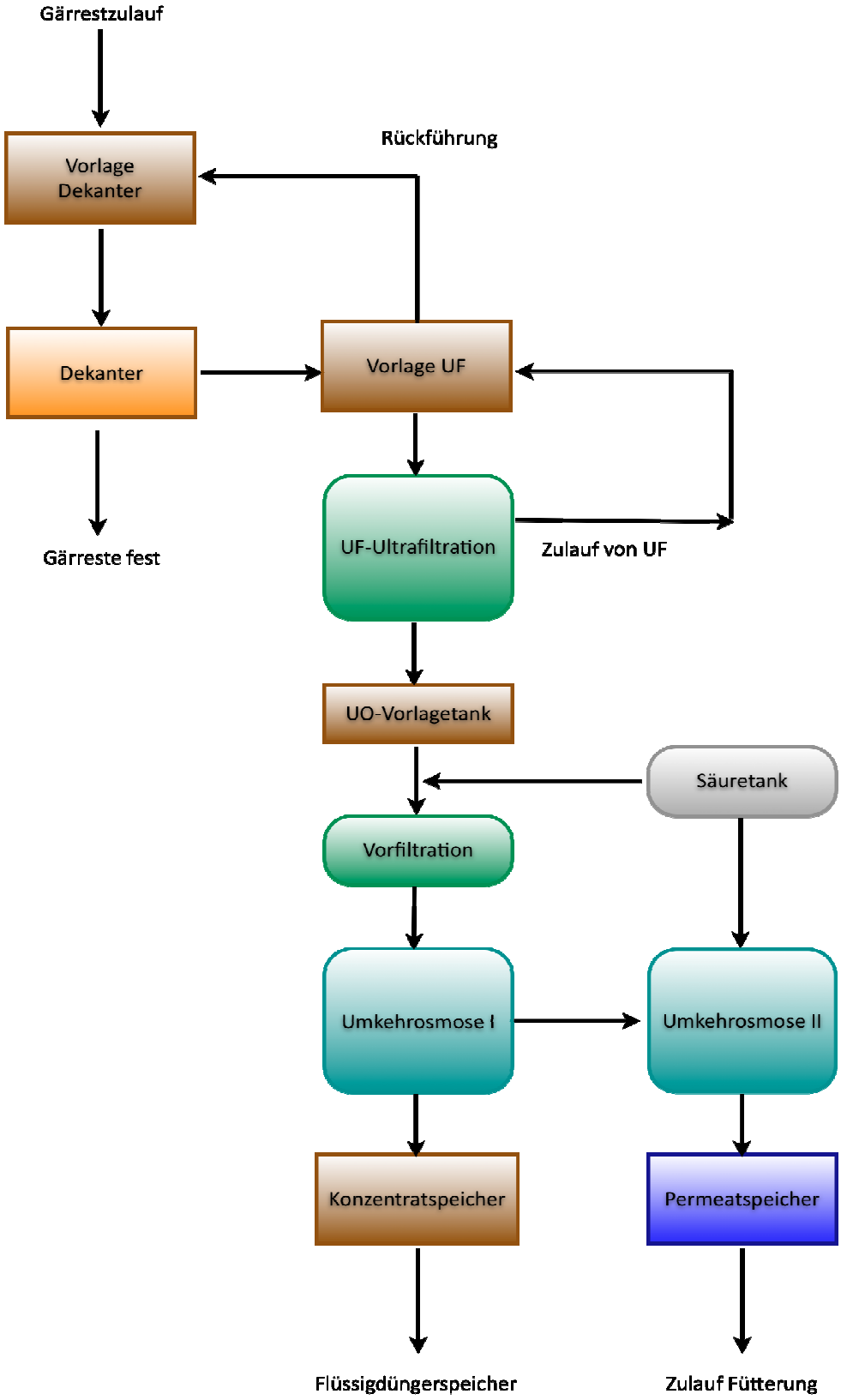
Als neues Verfahrenskonzept wurde bei der Projektierung die Rückführung des Inhaltes der Vorlage UF in die Dekantervorlage erarbeitet. Dies hatte zum einen den Vorteil, dass die Fließfähigkeit des Gärrestes aus der Biogasanlage erhöht wird und zum anderen verspricht man sich von dem erneuten Durchlauf des Dekanters eine weitere Abtrennung von Feststoffen.

Im Ergebnis führte diese Rückführung jedoch nur kurzzeitig zu einer Verbesserung. Schon nach kurzer Zeit (1-2 Wochen) häuften sich die nicht filtrierbaren Stoffe in der Vorlage UF so stark, dass der Filtratfluss der UF weiter absank.

Im Rahmen dieser Überlegungen kam man auf die Firma Haase, die bereits im Bereich der Deponietechnik und Aufbereitung von Sickerwasser mehrjährige Erfahrung besaß. Haase hat ein neuartiges Rückspülkonzept entwickelt, welches bei schlechterem Filtratfluss eine Reinigung der Filterflächen erlaubt. Erste Versuchsanlagen im Bereich NaWaRo-Biogas existierten bereits. In Zusammenarbeit mit Haase wurde das System aus Dekantern, Ultrafiltrations (UF)- und Umkehrosmoseanlage (UO) für die BGA-Köthen projektiert.

Als Ergebnis entstand eine UF/UO Anlage als modulare, standardisierte Containeranlage, die in der Aufbereitungshalle der Biogasanlage installiert wurde. Der Aufbau der Gärrestebehandlungsanlage setzt sich aus drei Hauptbestandteilen zusammen: Einer Feststoffseparation mit zwei Dekantern (Zentrifugen) und einer Ultrafiltrationseinheit (2-strassig) zur Abtrennung der Feststoffe sowie einer nachgeschalteten,

zweistufigen Umkehrosmoseeinheit (2-strassig) zur weiteren Reinigung des Filtrats. Die Dimensionierung der Membrananlage erfolgt entsprechend der geforderten Reinigungsleistung und berücksichtigt die hydraulische Belastung der Anlage. Als Maß für die Konzentrierleistung der UO-Anlage kann der Konzentrierungsfaktor (CFV) angegeben werden. Dieser berechnet sich aus dem Verhältnis Abwasser/Konzentratvolumenstrom. Eine gleichwertige Größe stellt das Entnahmeverhältnis (EV) dar. Das Entnahmeverhältnis (gesamt) kennzeichnet den Quotienten UO-Permeat/UO-Feed. Für die Bilanzierung der Stoffströme wurde der maximale Abwasserzulauf zur UF/UO von 170 m^3 / d angesetzt. Bei einem gewählten Konzentrierungsfaktor von CFV = 4 bzw. einem Entnahmeverhältnis von EV = 75 % ergeben sich die Volumenströme der UO-Anlage gemäß Blockfließbild.


Gärrestzulauf
Vorlage Dekanter
Rückführung
Dekanter
Vorlage UF
Gärreste fest
UF-Ultrafiltration
Zulauf von UF
UO-Vorlagetank
Säuretank
Vorfiltration
Umkehrosmose I
Umkehrosmose II
Konzentratspeicher
Permeatspeicher
Flüssigdüngerspeicher
Zulauf Fütterung

2.3.8.1 Dekanter

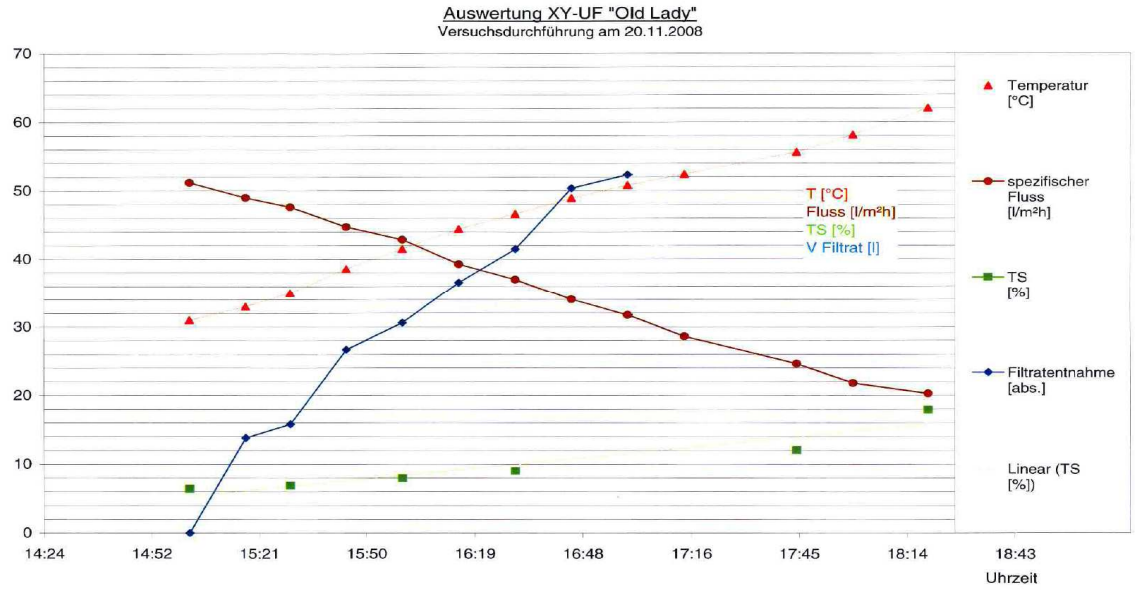
Nach der Verwertung des Gärrestesubstrats im Biogasreaktor und den Lagerbehältern mit Nachgärfunktion läuft das Substrat in die Dekantervorlage (1.000 m³ Volumen) und anschließend mittels Pumpen weiter in die beiden Dekanter in der Aufbereitungshalle. Die Dekanter wurden als horizontal gelagerte, feststofforientierte Vollmantel-Schneckenzentrifugen gestaltet. Sie werden in erster Linie eingesetzt um Suspensionen und Schlämme mit relativ hohem Feststoffanteil zu klären, aber auch für die Trennung von Flüssigkeiten bei gleichzeitiger Abschleuderung von Feststoffen. Somit trennen die installierten Dekanter die suspendierten Feststoffe nach dem Zentrifugalprinzip von der flüssigen Phase des Gärrestes ab. Diese Abtrennung ist insbesondere aufgrund des sehr hohen Abbaus an organischer Trockenmasse notwendig. Die max. Leistung der Dekanteranlage beträgt 387 m^3/d, bei einer 8,6% Trockensubstanz bzw. 300 m^3/d bei 12,5% Trockensubstanzanteil.

Die abgetrennten Feststoffe werden mit Hilfe einer Schnecke zur Lagerfläche für feste Gärreste verbracht. Das Verhältnis von festem zu flüssigem Substrat beträgt zurzeit 19% zu 81% mit einem Gehalt von 30 % TS in der Festform und 5-6 % TS in der flüssigen Phase, dem so genannten Zentrat.

Im Vorlagebehälter ist ein Füllstandssensor angebracht. Der maximale Füllstand des Behälters liegt bei ca. 50 cm unter der Decke. Um einer Sedimentbildung vorzubeugen, ist die Dekantervorlage mit einem Rührwerk ausgestattet, das in der Behälterdecke installiert ist. Die Dekantervorlage ist zur Zeit der Punkt mit dem höchsten Sedimentsaustrag. Da eine Räumschnecke im Intervall die Sedimente über eine Austragsschnecke ins Freie befördert, ist der Anfall kontinuierlich.

Zwei Kontrollschächte dienen der Leckageerkennung. Zur Erzielung eines definierten Überdrucks des gasdichten Lagerbehälters ist eine Über- und Unterdrucksicherung installiert. Diese Sicherung ist auf 10 mbar Sperrflüssigkeitsvorlage eingestellt.

Ähnlich wie bei der Annahmehalle wird die Abluft punktuell über den Dekantern und über dem Gärrestzwischenlager abgesaugt. Die flüssigen abgepressten Gärreste werden mittels Pumpen in die „UF-Vorlage“ (=Zentrat des Dekanters) gefördert und anschließend durch Förderpumpen der UF-Anlage zugeführt.


Auswertung XY-UF "Old Lady"
Versuchsdurchführung am 20.11.2008
70
60
50
40
30
20
10
0
14:24
14:52
15:21
15:50
16:19
16:48
17:16
17:45
18:14
18:43
Uhrzeit
T [°C]
Fluss [l/m²h]
TS [%]
V Filtrat [l]
Temperatur [°C]
spezifischer Fluss [l/m²h]
TS [%]
Filtratentnahme [abs.]
Linear (TS [%])

2.3.8.2 Ultrafiltration

Die flüssigen abgepressten Gärreste kommen anschließend mittels Pumpen in die „UF-Vorlage“ (=Zentrat des Dekanters) und werden anschließend durch Förderpumpen der UF-Anlage zugeführt, diese bringen das Substrat auf den erforderlichen Systemdruck und die notwendige Überströmgeschwindigkeit der Ultrafiltrationsstufe. Jeweils eine Ultrafiltrationsstufestufe besteht aus 3 parallel geschalteten Membranstrassen. Die Ultrafiltration reiht sich damit in die Gruppe der druckgetriebenen Membranverfahren ein. Sie schließt dabei die Lücke zwischen der Umkehrosmose und Nanofiltration einerseits und der klassischen Filtration andererseits.

Das Verfahren arbeitet nach dem Grundprinzip poröser Filter, d.h. Stoffe, die größer sind als die Porenweite der Membran werden selektiv zurückgehalten. Im Unterschied zu den klassischen Filtrationsverfahren besitzen die Membranfiltrationsverfahren jedoch deutlich kleinere Porengrößen. Mikrofiltrationsmembranen gewährleisten aufgrund ihrer Porengröße einen vollständigen Rückhalt beispielsweise für Bakterien.

Die Ultrafiltration ist vom Prinzip her eine Querstromfiltration. Die Membran lässt einen Wasserstrom mit niedermolekularen Substanzen, also gelösten Stoffen wie zum Beispiel Nitrat, Ammonium oder Phosphat passieren (Filtrat), während Feststoffe und Kolloide zurückgehalten werden. Bei der hier betrachteten Anwendung wird Abwasser mit hoher Geschwindigkeit durch eine rohrförmige Trennmembran geleitet, die je nach Ausführung Teilchengrößen von etwa 10-5 bis 10-2 mm zurückhalten kann. Es kann ein Druck von maximal 10 bar angewendet werden. Als Membranmaterial werden hauptsächlich Polyamide, PVDF oder Polysulfone und Celluloseacetate eingesetzt. Die Ultrafiltrationsanlage wird mit Tubularmembranen ausgerüstet. Diese haben die besten Eigenschaften bezüglich Verschmutzungsempfindlichkeit und werden speziell zur Abtrennung von Feststoffen eingesetzt.

Im Gegensatz zu Umkehrosmose werden die Ultrafiltrationsmembranen nicht intern, sondern über einen Prozesswasserspeicher rezirkuliert. Das Kreislaufwasser reichert sich dabei mit Feststoffen an. Die Entfrachtung findet über die Rückführung zu dem Dekanter statt.
Der nicht separierte Anteil des Wassers wird in die „UF-Vorlage“ zurückgeführt. Der separierte Teil wurde in der Ultrafiltration soweit gereinigt, dass es als Prozesswasser wieder in den Betriebskreislauf verwandt werden könnte. Allerdings existiert bei verstärktem Einsatz von Hühnertrockenkot das Problem der Kumulierung an Stickstoff, die den weiteren Prozess behindern würde.
In den Prozess wurde des weiteren eine Schwefelsäuredosierstelle, in die Filtratleitung der Ultrafiltration, nachgerüstet. Die Dosierstation dient dazu, anorganische Ablagerungen (z.B. Hydroxylapatit, Struvit) in der UO-Vorlage, bzw. im Zulauf zur Umkehrosmose zu lösen.
Diese Ablagerungen traten auf, wenn u.a. pH-Werte, Konzentration und die Strömungsverhältnisse in ungünstiger Weise zusammentreffen. Mit einer Verschiebung des pH-Wert in den sauren Bereich (<7) durch die Dosierung von Schwefelsäure wird die Entstehung der Ablagerungen verhindert. Die Bereitstellung der Schwefelsäure erfolgt über den vorhandenen Schwefelsäuretank.
Der Gesamtverbrauch an Schwefelsäure ab der Inbetriebnahme der UF-Säuredosierung erhöhte sich nicht bzw. nur unmerklich. Dies liegt daran, dass nun bereits der pH-Wert im UO-Zulauf im saueren Bereich ist. Somit kompensiert sich der erhöhte Verbrauch an Schwefelsäure in der UF durch den reduzierten Verbrauch in der UO.

2.3.8.3 Umkehrosmose

Die Umkehrosmosestufe besteht aus mehreren Blöcken (Druckrohr bestückt mit Wickelmodulen). Die Wickelmodule sind aus mehreren Membranen in Form von speziellen Membrantaschen zusammengesetzt, die um ein zentrales Permeatsammelrohr gewickelt sind. Dabei wird bei der Umkehrosmose der natürliche physikalische Diffusionsvorgang an den Membranen umgekehrt und somit für die Reinigung nutzbar gemacht. Die Verfahren der Osmose und auch der Umkehrosmose bedienen sich der physikalischen Trennwirkung einer semipermeablen (halbdurchlässigen) Membran.

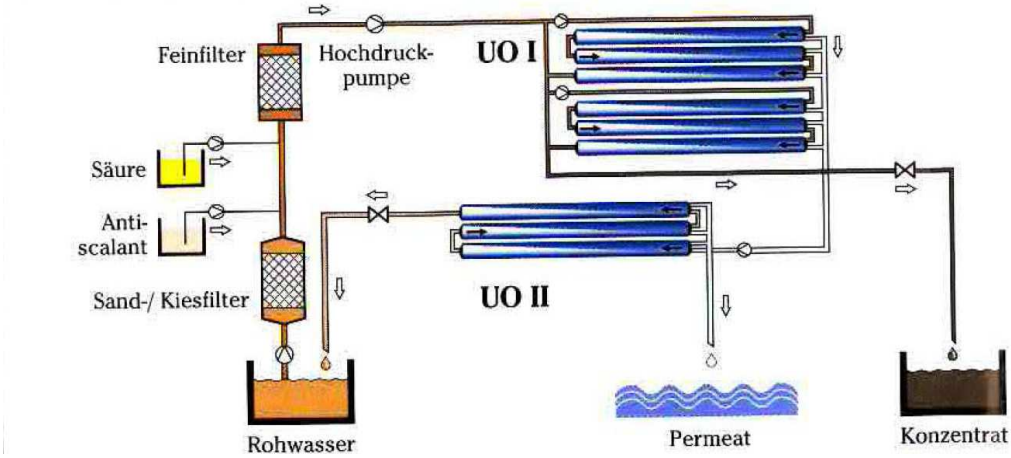
Die Osmose lässt sich durch folgenden Sachverhalt beschreiben. Sind die Konzentrationen an gelösten Stoffen auf den beiden Seiten der Membran unterschiedlich hoch, so ist das System nicht im thermodynamischen Gleichgewicht und wird versuchen, einen Konzentrationsausgleich zu erreichen. Mit den unterschiedlichen Konzentrationspotentialen als „treibende Kraft“ permeiert das Lösungsmittel von der weniger konzentrierten Seite durch die Membran auf die konzentriertere Seite. Hierbei nimmt das Volumen auf der Seite mit der höheren Konzentration ständig zu.

Dieser Vorgang dauert so lange, bis auf beiden Seiten der Membran die gleiche Konzentration erreicht ist. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich das System in einem thermodynamischen Gleichgewicht zwischen dem

Verdünnungsbestreben einerseits und einem hydrostatischen Überdruck infolge der Volumenvergrößerung auf der Seite der konzentrierten Lösung andererseits. Dieser hydrostatische Überdruck entspricht dabei der Druckdifferenz der osmotischen Drücke der unterschiedlich konzentrierten Flüssigkeiten.

Die Umkehrosmose hingegen stellt eine Umkehrung des oben genannten Osmoseprozesses dar. Bei Anwendung eines, die osmotische Druckdifferenz übersteigenden Druckes auf die höher konzentrierte Flüssigkeit, lässt sich der Vorgang der Osmose umkehren. Das Wasser (Permeat) dringt durch die Membran, zurück bleibt das Konzentrat. Eine Umkehrosmoseanlage besteht im Wesentlichen aus einer Hochdruckpumpe, der Membran und einem Druckregelventil. Der Betriebsdruck erreicht bei einer Umkehrosmose Werte bis 55 bar.

Im Prozess der Anlage wird dabei das Wasser dem Druckrohr unter einem Druck von 20 bis max. 55 bar zugeführt. Hier vermischt es sich mit dem Kreislauffluss und wird durch Rezirkulationspumpen den Wickelelementen des ersten Blocks zugeführt. In diesen Wickelelementen wird der Grossteil des Wassers separiert und als Permeat in die zweite UO-Stufe und anschließend dem „Permeatspeicher“ abgeführt.



Der verbleibende Anteil, das Konzentrat, fließt über ein Regelventil und ein Durchflussmessgerät in den „UO-Konzentratspeicher“. Das Druckventil erhält den Druck in der Anlage und regelt den vorgegebenen Konzentratfluss. Das Konzentrat aus der UO ist reich an Stickstoff und mineralischen Bestandteilen und kann nun als nährstoffreicher Flüssigdünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Der Flüssigdünger wird in zwei baugleiche mit Folienzeltdach abgedeckte Behälter gespeichert.

Durch den Prozess der UF und UO wird eine Halbierung der Ursprungsmenge erreicht. Somit verdoppeln sich die Düngewerte der Substrate pro t.

Über den im Abschlussbericht betrachteten Zeitraum liegt der Anteil an festem Gärrest durchschnittlich bei nur 19%. Der Betrachtungszeitraum beinhaltet auch die Anfahrphase der Biogasanlage mit sehr niedrigen TS Gehalten im Fermenter. Der Trenngrad des Dekanters ist abhängig vom TS Gehalt des Fermenterablaufs. Ist der TS Gehalt des Fermenterablaufs niedrig, so ist der Trenngrad auch niedrig.

Mittlerweile hat sich der Trenngrad erheblich verbessert. Der TS Gehalt in den Fermentern hat sich auf bis zu 14% erhöht. Somit liegt der Anteil an festem Gärrest mittlerweile bei etwa 30%. Entsprechend verringert sich auch der Anteil an flüssigem Gärrest erheblich.

Weiterhin liegt der TS Gehalt des Hühnerkotes tendenziell höher als geplant. Somit ist eine höhere Menge an TS zu verarbeiten. Die Erfahrung zeigt: bei höherem TS Gehalt ist auch ein höherer Nährstoffgehalt zu erwarten. Dies wiederum führt dazu, dass mehr Flüssigkeit zum Verarbeiten des Hühnerkotes benötigt wird. Der höhere Nährstoffgehalt im Fermenterablauf bewirkt, dass die Leitfähigkeit ansteigt. Gegenüber den Analysen im Laborversuch hat sich die Leitfähigkeit des Fermenterablaufs erheblich erhöht. Dies hat zur Folge, dass die Umkehrosmose weniger effizient arbeitet. Der Antzeil an Permeat sinkt, der Anteil an Flüssigdünger II steigt.

Der höhere TS Gehalt im Zulauf des Dekanters bewirkt, dass auch der flüssige Ablauf des Dekanters einen höheren TS Gehalt aufweist. Hier werden TS Gehalte bis zu 6,5% gemessen. Etwas über die Hälfte liegt der TS in gelöster Form vor, der Rest liegt als fester TS vor. Diese Feststoffe können mit den im Moment am Markt verfügbaren Filtrationstechniken nicht abgeschieden werden.

Das im Antrag formulierte Konzept, die Dekanteranlage als Feststoffsenke einzusetzen, ging nicht auf. Die feinen Feststoffe haben im Prinzip eine ähnliche Dichte wie der Fermenterablauf. Somit ist eine Abscheidung im Dekanter nicht möglich.

Die UF ist in der Lage zeitweise bis zu 62% an Filtratleistung zu erreichen. Im Durchschnitt wird diese Leistung aber bei weitem nicht erreicht. Im Prinzip hält die UF die Feststoffe in der UF Vorlage zurück, bis sich die Konzentration im Dünger so weit erhöht hat, dass eine weitere Verarbeitung unmöglich wird. Somit wird das behandelte Substrat als Flüssigdünger I ausgeschleust und dem Lagerbehälter zugeführt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die UO im Bereich des physikalisch möglichen arbeitet. Der durch den Dekanter ausgeschleuste feste Gärrest entspricht mittlerweile den Erwartungen. Die UF liegt weit hinter den Erwartungen zurück, was im Wesentlichen auf die TS Gehalte im flüssigen Ablauf des Dekanters zurückzuführen ist.

Sowohl der Zusatz von Flockungshilfsmitteln soll nun eingehend untersucht werden, als auch der Einsatz von Keramik-Modulen in der UF um eine weitere Leistungssteigerung zu erreichen.

Gärrest flüssig (Probenahme 17.Nov. 2008)			
Trockensubstanz		5,68	%
org. Trockensubstanz		2,82	%
Gesamtstickstoff	N	6,99	kg/qbm
Ammonium	N	3,69	kg/qbm

Phosphor	P2O5	3,01	kg/qbm
Kalium	K2O	8,95	kg/qbm
Magnesium	MgO	0,3	kg/qbm
Calcium	CaO	4,16	kg/qbm
Schwefel	S	1,8	kg/qbm

Gärrest fest (Probenahme 20. Feb. 2009)			
Trockensubstanz		30,06	%
org. Trockensubstanz		16,95	%
Gesamtstickstoff	N	11,41	kg/t
Ammonium	N	2,83	kg/t
Phosphor	P2O5	27,25	kg/t
Kalium	K2O	6,36	kg/t
Magnesium	MgO	9,98	kg/t
Calcium	CaO	46,71	kg/t
Schwefel	S	2,58	kg/t

2.3.8.4 Probleme Gärresteaufbereitung und Lösungsansätze zur Leistungserhöhung der Ultrafiltrationsanlage

Dreh- und Angelpunkt bei der gesamten Gärrestaufbereitung ist die Filtratleistung der UF-Anlage. Bei einem hohen Abscheidegrad der Dekanteranlage kommt es automatisch zu einer höheren Filtratleistung der UF-Anlage.

- Erhöhung des Abscheidegrades der Dekanteranlage – Einsatz von Flockungshilfsmitteln

Der Einsatz von Flockungshilfsmitteln ist regelmäßig ein probates Mittel zur Steigerung der Dekanterleistung. Die durchgeführten Versuche (Anlage 3: Abwassertechnische Beratungs- und Servicebüro Steding) zeigen eine recht deutliche Wirkung. Unter dem Gesichtspunkt des möglicherweise anstehenden Verbots von Polymeren in der Abwasserbehandlung und angesichts der extrem hohen Mengen an Flockungshilfsmitteln je m³ Substrat stellte dieser Lösungsansatz keine wirtschaftliche Lösung dar.
Der hohe Einsatz an Flockungshilfsmitteln lässt sich möglicherweise auf die extrem hohe Pufferkapazität des Substrats zurückführen. Möglicherweise sollte das Flockungshilfsmittel im Praxisbetrieb nochmals getestet werden, vielleicht ergeben sich Synergieeffekte, die sich im Labor nicht feststellen lassen.

- Versuche mit einem Sedikanter der Fa. Flottweg (Anlage 4: Versuche zum Einsatz von Sedicantertechnik“ (Firma Haase / Sedicanter der Firma Flottenweg)

Im Rahmen des Anlagenbetriebs wurde bei der Probennahme und den darauf folgenden Untersuchungen festgestellt, dass das Dekanterzentrat eine gewisse Neigung zur Sedimentbildung aufweist. Diese Sedimentbildung kann entweder mittels eines Sedikanters simuliert bzw. im Zeitraffer hervorgerufen werden. Derzeit laufen Versuche bei Flottweg, um diese Sedimentbildung genauer zu untersuchen.
Es wird vermutet, dass eben diese Sedimente – die einen sehr zähen, feinstofflichen Anteil am Substrat darstellen – wesentlich für die schlechte Filtratleistung der UF verantwortlich sind.
Abhilfe könnte somit auch ein absätziges Verfahren über verschiedene Lagerbehälter mit sich bringen.
Weitere Versuche hierzu werden vorbereitet.

- Versuche mit einer Scheiben-UF Anlage

Wie oben beschrieben besteht die Krux der UF Technik in der Notwendigkeit eines Vorlagebehälters.
Im Zuge von Nachforschungen durch die Fa. Haase wurde das System einer „Scheiben-Ultrafiltration“ entdeckt. Dieses System verzichtet gänzlich auf einen Vorlagebehälter. Vielmehr ist das System in der Lage, in einem einzigen Arbeitsgang die Feststoffe abzuscheiden. Dies wird mittels einer scheibenförmigen Anordnung der Filterflächen möglich. Die Abscheideleistung wurde in einem Test mit Originalsubstrat untersucht. Als Produkt förderte die Versuchsanlage einen schmierstoffähnlichen Brei zutage. Das Filtrat wies die notwendigen Eigenschaften für eine Weiterverarbeitung in der Umkehrosmose auf.

Bedauerlicher Weise sind die Investitionskosten für die geforderte Leistung der Scheiben-UF weit über den Möglichkeiten. Ein wirtschaftlicher Anlagenbetrieb erscheint nahezu nicht möglich. Darüber hinaus gibt es keinerlei Betriebserfahrung mit dem eingesetzten Substrat, sodass das Investitionsrisiko zu hoch erscheint.

Für den Fall dass diese Scheiben-UF Technologie sich als beständig, geeignet und dauerhaft einsatzfähig erweisen würde – könnte dies der gewünschte Durchbruch für eine Totalaufbereitung von Gärresten sein.
Ohne spürbare Investitionshilfen kann diese Technologie nicht weiter vorangetrieben werden.

2.3.8.5 Technische und elektrotechnische Ausrüstung und Datenerfassung

Die Container der Wasseraufbereitungsanlage umfassen ein Volumen von ca. 65 m^3. Die Container sind jeweils durch eine Trennwand in Maschinen- und Schaltraum unterteilt. Innerhalb des Containers im Maschinenraum sind entlang der Innenwand nacheinander folgende Anlageteile aufgestellt:

- Dosieraggregat
- Vorfilter
- Ansetz-/Rückspülbehälter
- Hochruckpumpaggregat
- Ultrafiltrationsstufe bzw. Umkehrosmosestufe

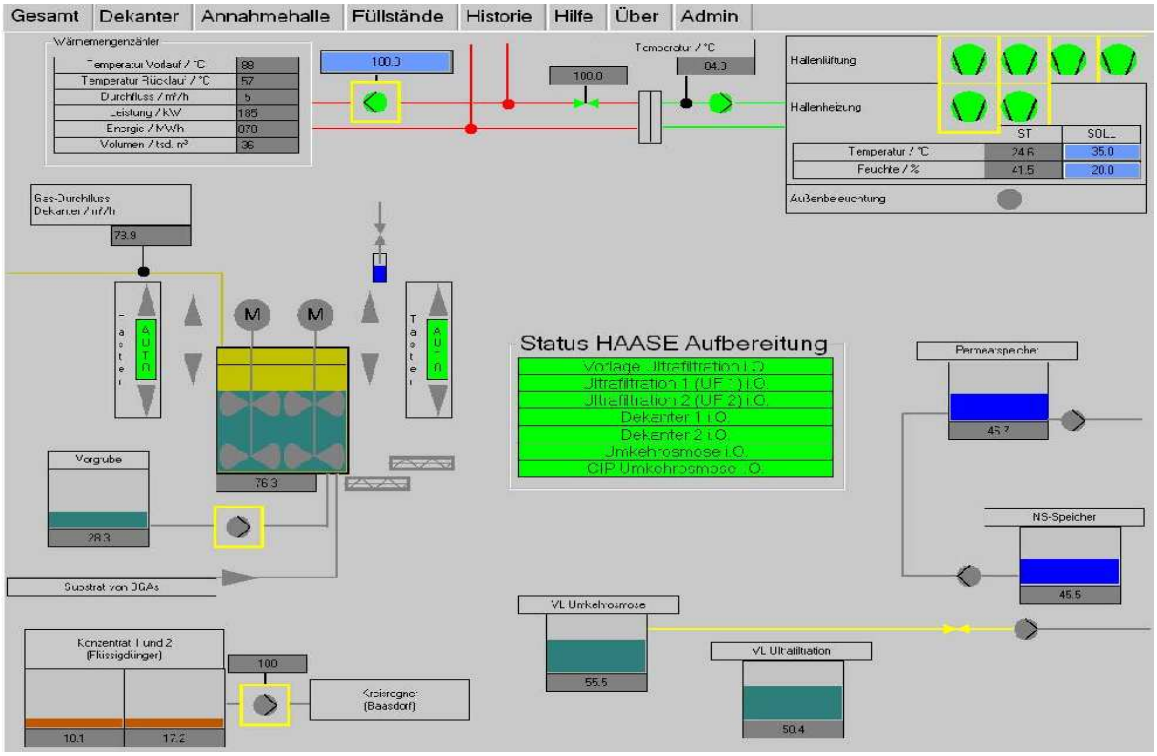
Im Schaltraum befinden sich die anlagenspezifischen Schaltschränke. Durch die Datenerfassung werden alle betrieblich wichtigen Änderungen des Betriebszustandes, wie Ein- und Ausschalten von Pumpen, Ventilen, Schieber, Aggregaten etc. protokolliert. Alle Alarme und Störmeldungen werden am PLS angezeigt und müssen vor Erlöschen behoben und quittiert sein. Prozesssignale werden in Zyklen von 1 sec. erfasst und dokumentiert, Stör- und Alarmmeldungen werden aufgezeichnet. Alle wartungsintensiven Anlageteile sind mit einer ausreichenden Anzahl von Betriebstundenzählern ausgestattet.

Im Wesentlichen werden folgende Bilanz- und Überwachungswerte erfasst:

- Summe Abwasser im Zulauf
- Summe UF-Filtrat
- Summe UO-Permeat im Ablauf
- Summe UO-Konzentrat im Ablauf
- Temperatur Zulauf
- Temperatur Ablauf
- Volumenstrom im Zulauf der UF/UO-Anlage
- Volumenstrom Permeat der UF/UO-Anlage
- Betriebdruck UF-Stufe
- Betriebsdruck UO-Stufe 1 und 2
- Leitfähigkeit Abwasser
- Leitfähigkeit Permeat
- pH-Wert UF-Filtrat
- pH-Wert Permeat

Zur Auswertung der Daten stehen Programme zur Verfügung, die eine nachträgliche Beurteilung des Betriebsverhaltens der Anlage und des Betriebsmittelverbrauches bei verschiedenen Lastfällen und unterschiedlichem Anlagebetrieb erlauben.

Die Steuerung und Überwachung der Wasseraufbereitung erfolgt über einen speziellen Panel-PC in der Aufbereitungshalle. Über das MSR werden die Prozesse visualisiert und die Füllstände der Behälter überwacht.



2.3.8.6 Betriebsüberwachung und Sicherheitstechnik

Der Leitfähigkeitswert eignet sich gut zur Überwachung des ordnungsgemäßen Betriebes der Membrananlage. Daher wird die Leitfähigkeit an verschiedenen Punkten der Anlage kontinuierlich erfasst. Wird eine systemspezifische Leitfähigkeit unterschritten, ist davon auszugehen, dass die Einleitgrenzwerte des 23. Anhanges der Abwasserverordnung eingehalten werden. Leitfähigkeit, pH-Wert, Temperatur und Menge von Zu- und Ablauf (Abwasser, Permeat) werden kontinuierlich gemessen. Die Permeatmengen der einzelnen Blöcke werden über Durchflussmesser ermittelt.

Die Anlage ist in sich geschlossen. Das Wasser verläuft in Rohrleitungen, welche durch eine Druckprüfung auf Dichtigkeit geprüft sind. Somit sind Leckagen bei ordnungsgemäßem Betrieb der Anlage ausgeschlossen. Eine absolute Gasdichtheit ist bei Wasserreinigungsanlagen nicht erforderlich. Bei vollständigem Stromausfall geht die Behandlungsanlage selbstständig in eine automatische Alarmierung des Bereitschaftsdienstes. Die wichtigsten Betriebszustände der Anlage können über das Zentrale Leitsystem abgerufen werden.

2.3.8.6 Vorlagebehälter

Jedem Verfahrensschritt ist ein geschlossener Vorlagebehälter (V jeweils 1.000 m³) vorgeschaltet.

2.3.8.7 Permeatspeicher

Das gereinigte Prozesswasser (Permeat) läuft als Endprodukt der Wasseraufbereitung in den Permeatspeicher.

Das Permeat wird in dem geschlossenen Speicher (V = 1.000 m³) zwischengelagert, bevor es in den Biogasprozess rückgeführt wird. Dieser Speicher dient neben dem Niederschlagsspeicher zugleich als Löschwasserspeicher. Deshalb ist ein Mindestfüllvolumen von 100 m³ eingestellt.

2.3.8.8 Gärrestlagerung

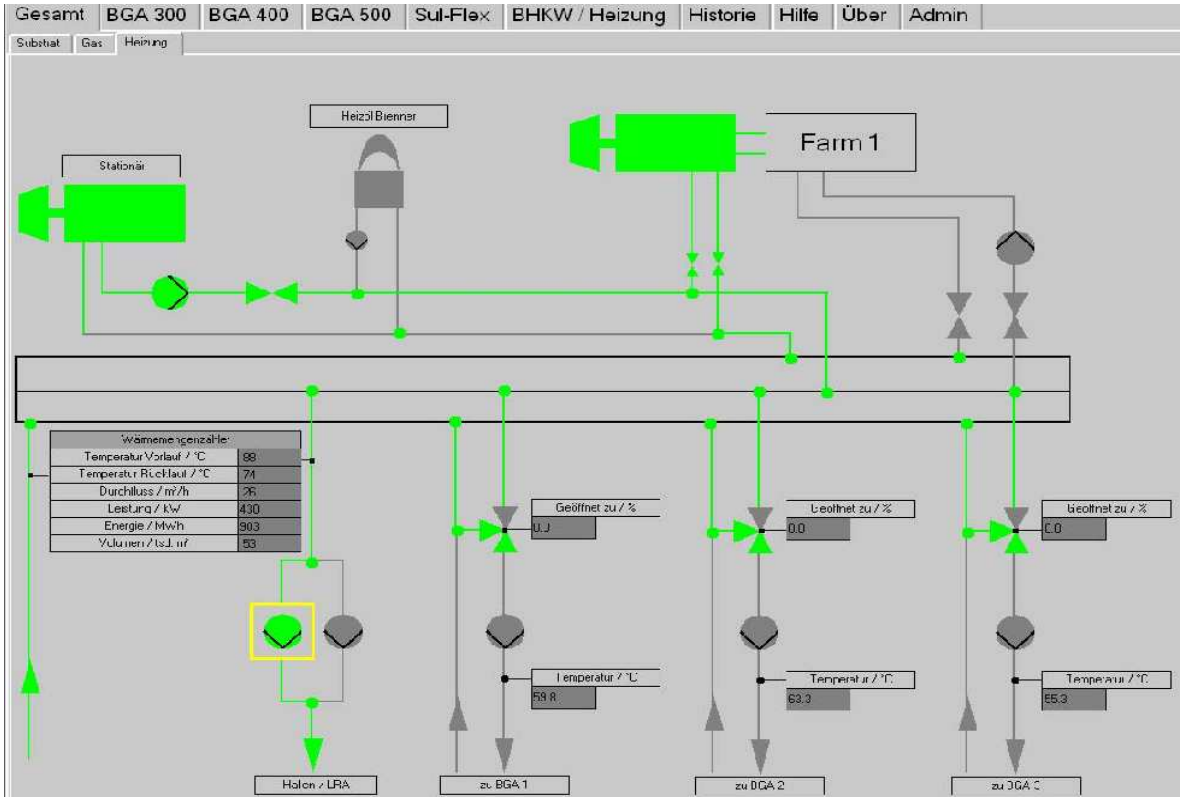
Der anfallende Gärrest, sowohl der flüssige als auch der feste Gärrest, wird wieder an die WIMEX Agrarprodukte Import & Export GmbH zurückgegeben. Dies wurde in einer Abnahmevereinbarung schriftlich geregelt. Die feste Phase wird auf einer innerhalb der Aufbereitungshalle abgetrennten Lagerfläche (ca. 1.500 m²) bis zur Abholung durch die WIMEX Agrarprodukte Import & Export zwischengelagert. Entstehende Emissionen werden durch eine Zwangslüftung über Dach (ca. 17 m über Grund) abgeführt. Der konzentrierte Gärrest (= Flüssigdünger) wird den beiden mit einem Folienzeltdach abgedeckten Lagerbehältern (Vnutz = 2 x 4.984 m³) zugeleitet. Diese beiden Lagerbehälter haben einen Durchmesser von jeweils 32 m und eine Höhe von 6,5 m. Bei einem Flüssigdüngeranfall in Höhe von ca. 16.000 t/a kann der Flüssigdünger ca. 7,5 Monate gelagert werden.

2.3.9 Wärmenetz

In den BHKW´s wird das Biogas in Strom und Wärme umgewandelt. Der hierbei erzeugte Strom wird ins öffentliche Netz eingespeist und die entstehende Wärme wird über ein installiertes Wärmenetz zur Beheizung zweier Hühnerfarmen am Flugplatz in Köthen genutzt. Ein weiteres BHKW versorgt das Wärmenetz in Baasdorf.

2.3.9.1 Wärmenetz Flugplatz

Die beiden Geflügelfarmen der WIMEX befinden sich östlich und südlich des Flugplatzes Köthen (siehe Anlage 6; Verlegungsplan Versorgungsleitungen). Die Farm 2 wurde über ein ca. 2,2 Kilometer langes Isopex-Doppelrohr (H 63+63) mit der Biogasanlage verbunden. Mit einem Druck von 6 bar fließt die Wärme zur Farm 2. Dort werden mit der Abwärme drei Geflügelhallen beheizt. Analog zu Farm 2 fließt die Wärme über ein DN 80/160 Kunststoffelmantelrohr in einer Art Ringsystem vom BHKW am Standort Farm 1 zur Biogasanlage bzw. die produzierte Abwärme vom BHKW am Standort der Biogasanlage zurück zur Farm 1. Ebenso werden vermietete Hallen und Büroräume am Flugplatzgelände geheizt.



Das gesamte Netz wird ebenfalls im Rahmen der MSR Visualisierung dargestellt. Die Visualisierung zeigt die Temperaturen im System sowie die Menge an transportierter Wärmeenergie.

2.3.9.2 Wärmenetz Baasdorf

Mit dem BHKW am Standort Baasdorf wird das dort installierte Wärmenetz betrieben. Das Wärmenetz beginnt beim BHKW und endet bei dem Wohnhaus in der Schulstraße bzw. in den Verwaltungsgebäuden in Baasdorf. Auf seinem Weg zweigt es in die Trocknungsanlage des Mischfutterwerkes, in die Garagen und in das Verwaltungsgebäude der AGRO-SAT GmbH ab. Insbesondere die Verwaltungs- und Bürobereiche der WIMEX werden durch die Abwärme autonom von fossilen Brennstoffen beheizt.

2.3.10 Trafostation

Aufgrund der Vorgaben der enviaM (örtlicher Energieversorger) wurden bei jedem der BHKW`s ein Blocktrafo errichtet. Diese Trafoanlagen wurden wiederum zu einer zentralen Übergabestation am Flughafengelände zusammengefasst. Hierzu mussten einige Kilometer Mittelspannungskabel verlegt werden.

Die Versorgung der Biogasanlage erfolgt ebenfalls über den Trafo an der Biogasanlage. Hier wurde das System der Differenzmessung unter Einberechung der Trafoverluste angewendet. Letztendlich konnte das von der Gut Mennewitz GmbH gewünschte Verfahren der Volleinspeisung durchgesetzt werden.

2.3.11 EDV-technische Umsetzung

2.3.11.1 MSR – Prozesssteuerung

Bei der Umsetzung der Maschinensteuerung bzw. Regelungstechnik wurden mit Hilfe einer EDV-Anlage verschiedene Varianten diskutiert und letztendlich auch realisiert. Bei dem Großteil der Anbieter am Markt wird eine SPS von Siemens sowie deren Visualisierungssoftware angeboten. Dabei handelt es sich um eine preislich im oberen Bereich befindliche Variante, die durch ihr proprietäres System auch nur mit denselben Komponenten erweiterbar ist. Da im Projekt BGA Köthen eine Vielzahl von Automatisierungsaufgaben zu lösen waren, suchte man auch nach Alternativen. Zum einen war der Investitionsaufwand bei der Anlagensteuerung nicht unerheblich, viel wichtiger schien es uns aber ein, offenes System zu schaffen. Da über eine Laufzeit von über 20 Jahren auch Firmen und Know-how abhanden kommen können, muss eine zukünftige Erweiterbarkeit bzw. Veränderungsmöglichkeit gegeben sein. Dass es zu solchen Problemen kommen kann, wurde schon jetzt nach 18 Monaten Laufzeit durch Insolvenzen beteiligter Firmen bzw. begrenzten Eingriff in die Reglungstechnik bei Havariefällen deutlich.

Für die Gesamtregelungstechnik entschied man sich, eine Open-Source Lösung einzusetzen, nämlich den Process Visualization Browser (pvbrowser). Alle Prozessbilder im Bericht sind aus dieser Visualisierungssoftware entnommen. Die Firma Awite entwickelte nach unseren Vorgaben die Prozessbilder sowie die Steuerungs- und Automatisierungsroutinen.

Mehrere Automatisierungsserver laufen auf verschiedenen Linux-Rechnern. Die als Panel-PC´s in den Schaltschränken verbauten Rechner übernehmen über die Visualisierungssoftware auch die Anzeige bzw. Steuerungsmöglichkeit.

So existiert pro Anlagenstrang ein Panel-PC, so dass sich drei PC´s redundant die Anlagensteuerung der Biogasanlage teilen. Ebenso wird jeweils in der Annahmehalle der Fütterungsprozess sind in der Aufbereitungshalle der Aufbereitungsprozess automatisiert bzw. visualisiert. Hier ist jedoch die MSR der Firma Haase direkt für die Prozesse der Wasseraufbereitung zuständig, der PVBrowser stellt hierbei nur die Schnittstellen und die Speicherbehälterautomatisierung sicher.

Das System ist über eine Internetschnittstelle mit Zugriffbeschränkung auf unterschiedlichen Plattformen (Windows, Linux, Mac OSX) erreich- und bedienbar. Folgende Automatisierungssysteme stellen das Gesamtsystem dar:

WAB: Wasseraufbereitung (Dekanter, UF, UO)

GVS: Gasverdichterstation

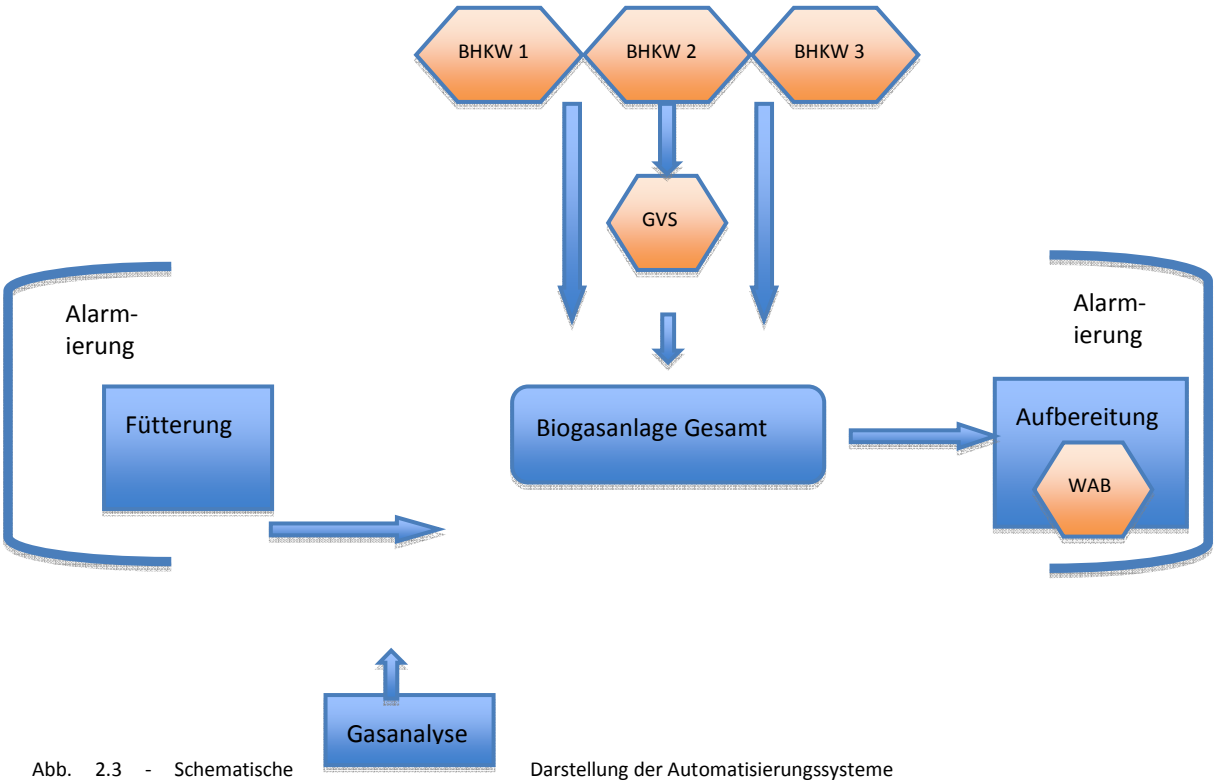


Abb. 2.3 - Schematische Darstellung der Automatisierungssysteme

Die Anlage besteht aus 11 Rechnern, auf welchen die unterschiedlichen Automatisierungsserver laufen. Die Fa. Haase hat die BHKW-Steuerung inkl. der Gasverdichterstationssteuerung und der Wasseraufbereitung über Siemens SPS bzw. deren Visualisierungssysteme realisiert. Diese sind über eigene Rechner ansteuerbar und konfigurierbar, werden aber automatisiert von der Gesamtsteuerung im Automatikbetrieb geregelt. Es werden alle nötigen Informationen bzw. Anlagenzustände an das Gesamtsystem übermittelt und verarbeitet, so das auch die Alarmierungskette vom Gesamtsystem gespeist wird.

Es ist zur Datenübermittlung auf dem gesamten Gelände, sogar bis zu den BHKW-Satelliten, ein Netzwerk aufgebaut worden. Bei den teilweise sehr großen Entfernungen war ein Glasfaserkabelnetzwerk unumgänglich.

Der Zugriff auf die Steuerungssysteme ist wie erwähnt von außen möglich. Da die Anzahl der Automatisierungsschritte nicht trivial war, hat man sich entschieden, das System nicht dahingehend zu überfrachten, auch die Prozessverwaltung- bzw. Analyseaufgaben zu integrieren.

2.3.11.2 Prozessverwaltung und Prozessanalyse

Die Aufgabe, die Prozessdaten aus der MSR dauerhaft zu speichern sowie diese zu Analysezwecken aufzubereiten, war ein weiterer Schwerpunkt bei der EDV-technischen Umsetzung des Projektes. Da die BGA-Köthen kein Standardprojekt darstellte, war auch auf den ersten Blick für diese Aufgabe keine fertige Software zu bekommen. Man entschied sich relativ früh dafür hier selbst Hand anzulegen. Im Projektantrag waren hierfür auch Aufwendungen geplant. Die im Firmenverbund vorhandenen Ressourcen konnten die nötigen technischen Lösungen erstellen.

So wurde eine Mehrschichtlösung aus Datenbankserver, Applikationsserver und Clientzugriffschicht entwickelt. Diese ermöglicht es, zentral die Daten in einer SQL-Datenbank performant und sicher zu speichern, den Zugriff über Internet auch bei mehrfachen gleichzeitigen Zugriffen sicherzustellen und Daten aus verschiedenen MSR-Bereichen zu sammeln, zu verrechnen oder zu verdichten und in einer verständlichen und lesbaren Form zur Verfügung zu stellen.

Abb: Zugang Biogasprogramm

Über Zugriffskontrolle können unterschiedliche Rechte und Funktionen gesteuert werden.

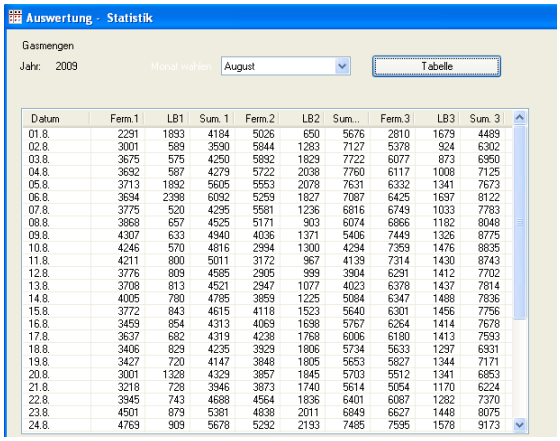
Folgende Bereiche werden in der Software berücksichtigt und verarbeitet:

- Fütterungstagebuch
- Wareneingang (Waage)
- Warenausgang (Waage)
- Warenausgang (flüssig)
- Gasproduktion
- Stromproduktion
- Wärmemengenverwaltung
- Gasqualitäten

- Untersuchungsergebnisse (Fermenterbiologie)
- Untersuchungsergebnisse (Nährstoffe)
- Auswertung Buchhaltung
- Bestandsverwaltung
- Mengenbilanzierung
- Aktuelle Leistungszahlen

Abb: Anzeige aktueller Leistungszahlen

Die Datenherkunft ist unterschiedlicher Art. Von einfachen händisch erfassten Daten bis zu, im Hintergrund aus der MSR, importierten Daten reicht das Spektrum. Der größte Teil der Daten entsteht bei der Speicherung der MSR-Daten im fünf Minuten Rhythmus. So werden die Daten aus der MSR als Datei in ein bestimmtes Verzeichnis geschrieben und von einem Serverprozess kontinuierlich in unsere Datenbank übernommen. Gerade aus dieser Datenreihe lassen sich Erkenntnisse Ableiten, die für die weitere Betreibung der Biogasanlage entscheidend sind. Exportfunktionen erlauben es, diese für weitere Auswertungen z.B. in Excel zu übernehmen.



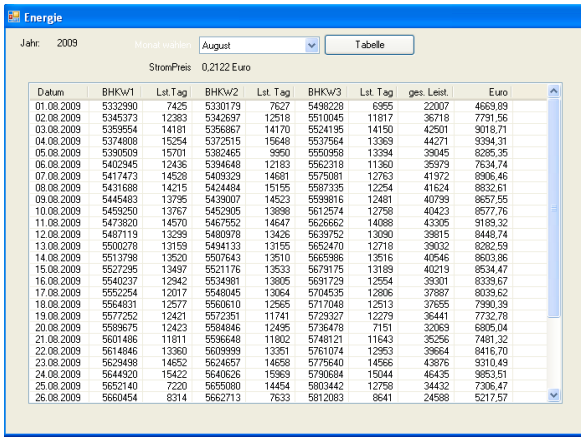


Abb: Anzeige der aufgezeichneten Gas bzw. Stromproduktionsdaten und Aufbereitung als Tages bzw. Monatsbetrachtung

Die Prozessverwaltungssoftware liefert bereits jetzt Daten für Monatsabschlüsse an die Buchhaltung, zur Rechnungslegung sowie zur Auswertung u.a. für diesen Bericht. Das System wird flexibel mit den noch weiteren Anforderungen, die solch eine komplexe Anlage mit sich bringt, weiterentwickelt.

2.3.11.3 Überwachung, Kontrolle

Die gesamte Biogasanlage wird videoüberwacht. Nachdem das Gelände sehr weitläufig ist, wurde entschieden eine, Videoüberwachung zu integrieren. An 9 Kamerapositionen wird dem Anlagenführer die Möglichkeit gegeben, bestimmte Bereiche zu überwachen.

Eine steuerbare Domkamera am Bürotower überwacht den kompletten Außenbereich und zeichnet, wie bei allen anderen Kameras, die Daten auch für eine nachträgliche Überprüfung auf.

Als Ergebnis werden sämtliche für den Betrieb der Anlage sowie für Überwachungszwecke erforderlichen Anlagedaten mittels elektronischen Betriebstagebuchs nach ATV-Standard erfasst und dokumentiert. Auftretende Störungen werden innerhalb eines Ereignisprotokolls dokumentiert und sind jederzeit einsehbar.

Abb: Anzeige der Kameraüberwachung

2.4 Die biologische Umsetzung der Vergärung von Hühnertrockenkot

2.4.1 Einsatzstoffe und Hilfsstoffe

2.4.1.1 Zusammensetzung der Einsatzstoffe

Im Inbetriebnahmejahr 2008 wurden anteilig 63% Hühnermist als Substrat für die Biogasanlage zugeführt. Die Variation reichte dabei von 41% bis 74% Anteil. Der Beginn der Fütterung war von Vorsicht geprägt und somit wurden in den ersten 3 Monaten die Prozentanteile des Hühnertrockenkots nur langsam gesteigert. Als Hauptkomponente wurde zu Beginn die Maissilage eingesetzt. Das spiegelt sich auch in den Standardabweichungen wieder. So wurde der Maisanteil von in der Spitze nahezu 60% sukzessive auf ca. 20% zurückgefahren. Bei der Grassilage wurde zu Beginn ein Anteil von 1% monatlich gesteigert, bis er zum Jahresende bei knapp 13% angekommen war. Hier ist die technologische Komponente der Mischbarkeit ein Testkriterium gewesen.
Somit wurde das Ziel, eine Anlage mit überwiegendem Anteil Hühnertrockenkot zu betreiben, prinzipiell erreicht.

Entsprechend wurden täglich 45,8 t Hühnermist gefüttert. Die weiteren Substrate setzten sich aus Maissilage, Grassilage und Gerstenschrot zusammen. Die Zugabe von Gerstenschrot wurde nötig, um den durch Mengenschwankungen reduzierten Hühnermistanfall auszugleichen. Prinzipiell ist die hohe Stickstoffbelastung des Getreideschrots eher als ein kritisches Zusatzprodukt zu hohen HTK-Zugaben zu sehen. Die Tatsache aber, dass ein recht hoher Gasertrag pro to Frischmasse erreicht wird, führte zur Überlegung, doch Schrote einzusetzen und Teile des Hühnermistes zu reduzieren, da im Inbetriebnahmejahr die Leistung der Fütterung eher begrenzend war.

Die Mittelwerte, Minimum und Maximum, mit den Standardabweichungen für die anteilige Futterzusammensetzung für 2008 sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Monat 03/08-12/08								
Zugaben	**t/d**	**t/Monat**	**t/Gesamt 08**	**t/a**	**Anteile**	**STABW %**	**Minimum**	**Maximum**
Hühnertrockenkot	45,8	1374	14019	16717	62,8%	11%	41%	74%
Maissilage	20,5	615	6270	7483	28,1%	23%	20%	58%
Grassilage	6,3	189	1934	2300	8,7%	3%	1%	13%
Getreideschrot	0,3	9	87	110	0,4%			
Ganzpflanzensilage	0	0	0	0	0,0%			
Gesamt:	**72,9**	**2187**	**22309**	**26609**	**100%**			

2.4. - Tabelle 1: Mittelwerte der Futterzusammensetzung der BGA für den Zeitraum März 2008 bis Dez. 2008

Der Zeitraum von Januar 2009 bis August 2009 war geprägt von einer stetigen Steigerung der durchschnittlichen Fütterungsmengen. So wurden im Schnitt knapp 61% Hühnertrockenkot gefüttert. Die Schwankungen wurden sowohl bei Maissilage als auch beim HTK reduziert. Die Standardabweichung lag nur bei 3% bzw. 7% im Vergleich zu 23% und 11% im Inbetriebnahmezeitraum. Getreideschrot hat sich als feste Komponente etabliert, was zum einem durch die hohe Energiedichte begründet ist, und zum anderen einen durch den Rohstoffpreisverfall durchaus interessanten, wirtschaftlichen Aspekt darstellt. Neu in der Mischung ist seit Mai Ganzpflanzensilage, die als Ergänzung von Maissilage und Grassilage durch Anbau als Zwischenfrucht wirtschaftlich interessant werden kann. Zukünftig ist auch der Einsatz von Sudangras sowie Zuckerhirse geplant. Die Mittelwerte, Minimum und Maximum sowie die Standardabweichungen für die anteilige Futterzusammensetzung für das Jahr 2009 sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Monat 01/09-08/09								
Zugaben	**t/d**	**t/Monat**	**t/Gesamt 08**	**t/a**	**Anteile**	**STABW %**	**Minimum**	**Maximum**
Hühnertrockenkot	57,9	1738	14078	21144	60,7%	7%	49%	66%
Maissilage	22,7	682	5526	8300	23,8%	3%	21%	29%
Grassilage	6,0	181	1465	2201	6,3%	5%	0%	13%
Getreideschrot	2,9	88	709	1066	3,1%	1%	2%	5%
Ganzpflanzensilage	5,9	176	1429	2146	6,2%	8%	0%	20%
Gesamt:	**95,5**	**2865**	**23206**	**34858**	**100%**			

2.4. -Tabelle 2: Mittelwerte der Futterzusammensetzung der BGA für den Zeitraum Jan. bis August 2009

Einen Überblick über den Verlauf der gesamten Fütterungsperiode und die dazugehörigen Anteile zeigt folgende Grafik. Die Hauptschwankungen sind die Folge der unregelmäßigen Verfügbarkeit des Hühnertrockenkots. So ist aufgrund von Alterszyklen der Geflügelbestände eine gleichmäßige Verfügbarkeit pro Monat nicht gewährleistet. So liegen die Ausstallungstermine manchmal innerhalb eines kurzen Zeitraums, ein anderes Mal jedoch Wochen auseinander. Man muss einen Teil des HTK´s zwischenpuffern oder über Änderungen der Fütterungsanteile strecken. Auch sind die Mistqualitäten aufgrund der Haltungsformen unterschiedlich. So unterscheiden wir verschiedene Mistarten wie folgt:

- Aufzuchtmist Elterntiere (Umstallung nach 20 Wo.) (12%)
- Produktionsmist Elterntiere (Produktion 43 Wo.) (64%)
- Großelterntiertmist (Gesamteinstallungswochen 63) (18%)
- Mastmist (30-40 Tage) (7%)

(Anteile an der Gesamtfütterung HTK in Klammern)

Eine Erkenntnis der letzten 18 Monate ist, dass eine gute Vorausplanung der Mengen und Fütterungsanteile sicherstellt, die gewünschte Leistung zu erreichen.

Das lässt sich sehr schön an den letzten beiden Monaten zeigen, da hier Mistmengen äußerst knapp waren und durch gesteigerte NaWaRos ersetzt wurden.

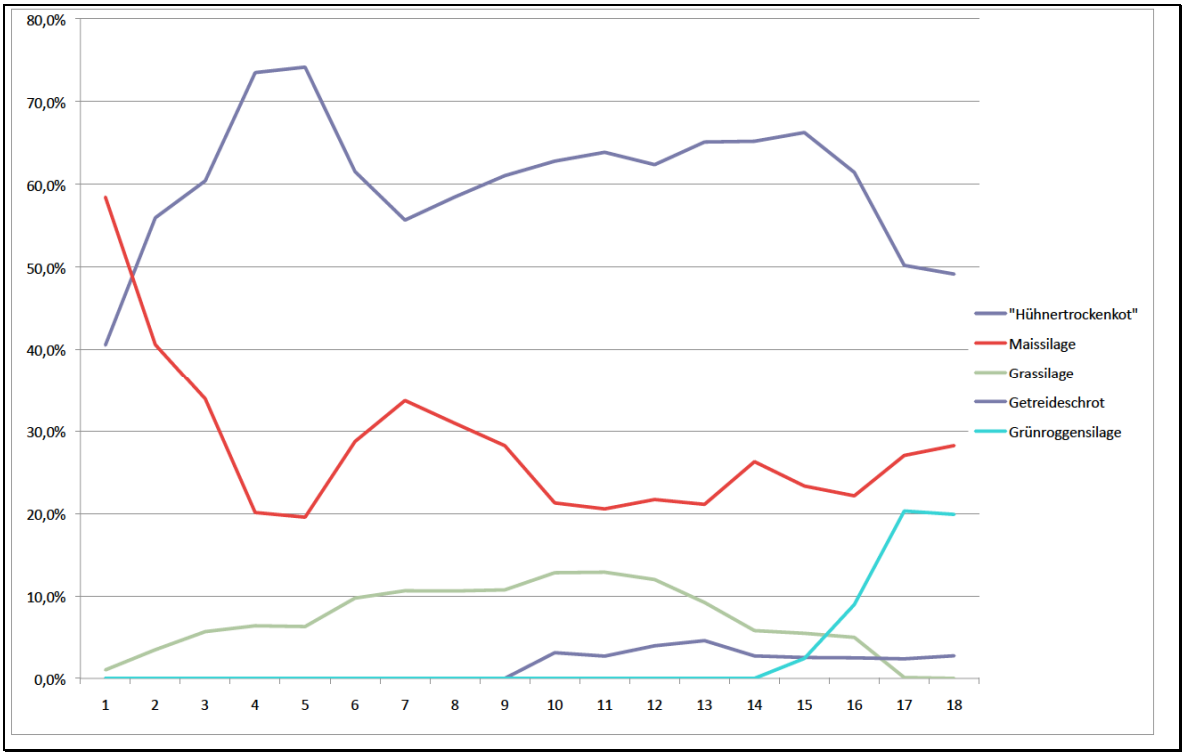


Abb. 2.4 - Tabelle 3: Anteile der Fütterungskomponenten März 2008 bis August 2009

2.4.1.2 Zusatz von Fermentationshilfsstoffen

Wie bereits in den vorab durchgeführten Laboruntersuchungen festgestellt, wurden Prozesswasser aus Permeat und Flüssigdüngerersatzwasser sowie Eisen als Fermentations-Hilfsstoffe benötigt, um einen stabilen Anlagenbetrieb zu erreichen. Als mögliche Hemmstoffe kommen vor allem Ammoniak und Schwefelwasserstoff vor. Die Ammoniakkonzentration, konnte durch die Zugabe von Prozesswasser, soweit verringert werden, dass keine Hemmung mehr vorlag. Als Fällungsmittel für Schwefelwasserstoff wurde Eisenhydroxid mit der Handelsbezeichnung Ferrosorp eingesetzt. Seit März 2008 wurden täglich durchschnittlich, 82,8 t Substrat, 101 t Prozesswasser und 1204 kg Ferrosorp DS (10% Eisenhydroxid als wässriges Granulat) der Biogasanlage zugeführt.

Der Prozesswasserbedarf lag bei 1,22 t Prozesswasser pro t Substrat.

Der Bedarf an Ferrosorp DS lag bei 14,5 kg pro t Substrat.

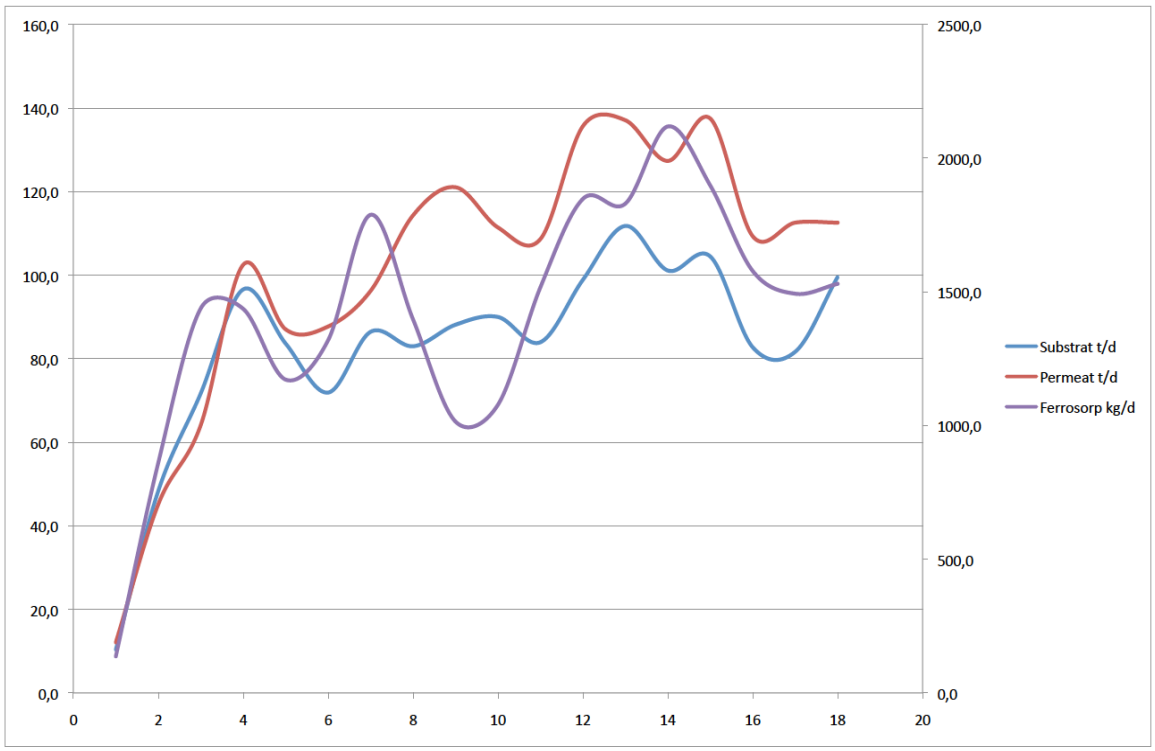


Abb: durchschnittliche tägliche Zugabe Substrate und Hilfsstoffe (Prozesswasser und Eisen) für die BGA.

Der Einsatz von Eisenhydroxid liegt höher als der in den Voruntersuchungen berechnete Wert von ca. 7-8 kg/to Substrat. Die Einsatzrate von Ferrosorp wurde nicht in erster Linie an der Hemmungsrate der Bakterien im Fermenter ausgelegt, sondern an den Gasqualitäten nach der Entschweflung und vor dem Einsatz in den BHKW´s. Hier wurde versucht, einen Wert unter 300ppm Schwefelwasserstoff sicher einzustellen.

Versuche, die Einsatzhöhe des relativ kostenintensiven Hilfsmittels zu reduzieren, sind u.a. durch die Erhöhung der Entschwefelungsleistung unternommen worden (siehe Sul-flex 2.3.6.1), aber auch durch den Einbau der Aktivkohlereinigung. In den kommenden Monaten wird versucht, schrittweise den Anteil zu senken, um Kostenersparnisse zu erzielen. Für den Betrieb der UO-Anlage ist Schwefelsäure zur Vermeidung von Kalkablagerungen notwendig. Sie wird auch gebraucht, um das zu verarbeitende Wasser auf den erforderlichen pH-Wert einzustellen. Hierzu sind max. 3kg Schwefelsäure (96 %) pro m^3 Wasser notwendig.

Aufgrund von Belagbildung infolge Ausfällungen von Salzen (Scaling) oder von Ablagerungen organischer Substanzen bzw. Schwebstoffen (Fouling) müssen die Membranen gereinigt werden. Dies geschieht in einer Kreislaufspülung durch alle Module/Behälter mit einer Alkalilösung mit Zusätzen. Die Reinigung erfolgt bei hoher Geschwindigkeit und niedrigem Druck (5 bis 15 bar). Des Weiteren besteht die Möglichkeit, die Reinigung bei höheren Temperaturen durchzuführen (45 bis 50 °C). Die Heißreinigung wird jedoch nur in Ausnahmefällen angewendet. Die Mengen der einzusetzenden Chemikalien können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

	UO	UF
Schwefelsäure	183.000 kg/a	
Saurer Reiniger	1.200 kg/a	1.200 kg/a
Alkalischer Reiniger	3.100 kg/a	3.100 kg/a
Antiscalant	610 kg/a	
Kiterkerzen	1.220 Stk/a	
Membranersatz	22 /a	6 /a

2.4.1.3 Leistungserträge der Einsatzstoffe

Der größte Anteil an organischer Substanz wurde durch den Hühnermist eingebracht.

Substrateinsatz	t/d	t p.a.	TS % d.OS	OTS % d.OS	OTS/d
Hühnermist	57,9	21.144	49%	37%	21,68
Maissilage	22,7	8.300	35%	34%	7,78
Gerste	2,9	1.066	87%	85%	2,52
Grassilage	6,0	2.201	25%	23%	1,38
Ganzpflanzensilage	5,9	2.146	30%	27%	1,59
Gesamt	**95,5**	**34.858**			**34,2**

2.4 – Tabelle 3: Zugeführte organische Substanz aus den Einsatzstoffen 2009

2.4.1.4 Produktionsergebnisse der Einsatzstoffe

Wenn die in den Vorversuchen ermittelten Gaserträge und ein effektiver BHKW-Wirkungsgrad von 40,3% (Abgabe Hersteller) zu Grunde gelegt werden, ergibt sich eine theoretische elektrische Leistung aus den Einsatzstoffen von 1.851 kW (Tabelle 2.3.1.3). Dieser Wert hat von dem Wert der reell produzierten elektrischen Leistung keine statistisch signifikante Abweichung. Der Unterschied liegt vor allem in dem unterschiedlichen Wirkungsgrad bei Teillastbetrieb sowie an der Tatsache, dass nicht alles produzierte Gas auch in den Motoren zu Strom und Wärme verbrannt wurde.

Somit kann als Ergebnis festgehalten werden, dass 62% der produzierten elektrischen Leistung aus dem Hühnertrockenkot stammen. Die restliche Leistung von 38% stammt aus der Mais-, und Grassilage sowie der gefütterten Gerste und Ganzpflanzensilage.

Substrateinsatz	t OTS/d	Biogasertrag. m^3/t OTS	Biogasertrag m^3/t FM	GPR (m^3/d)	P.el (kW)	Anteil Leistung
Hühnermist	21,68	500	183	10644	1.158	62%
Maissilage	7,78	600	201	4584	399	22%
Gerste	2,52	678	573	1675	147	8%
Grassilage	1,38	560	126	759	69	4%
Ganzpflanzensilage	1,59	563	150	880	78	4%
Gesamt	**34,2**			**18.544**	**1.851**	**100%**

2.4. – Tabelle 4: Produzierter Biogasertrag und die daraus resultierende elektrische Leistung aus den Einsatzstoffen 2009

Wie in der Abbildung 2.3. – Tabelle 6 ersichtlich war die Stromproduktion kontinuierlich steigend. Die insgesamt produzierte elektrische Leistung für die ersten 10 Betriebsmonate bis einschließlich Dezember 2008 waren 9.315 MWh. Im Mittel wurden somit 781 MWh monatlich bzw. 25,5 MWh täglich eingespeist. Wenn 7500 Betriebsstunden als Basis genommen werden, ergibt dies eine Durchschnittsleistung von 1.242 kW elektrische Leistung (Tab.5).

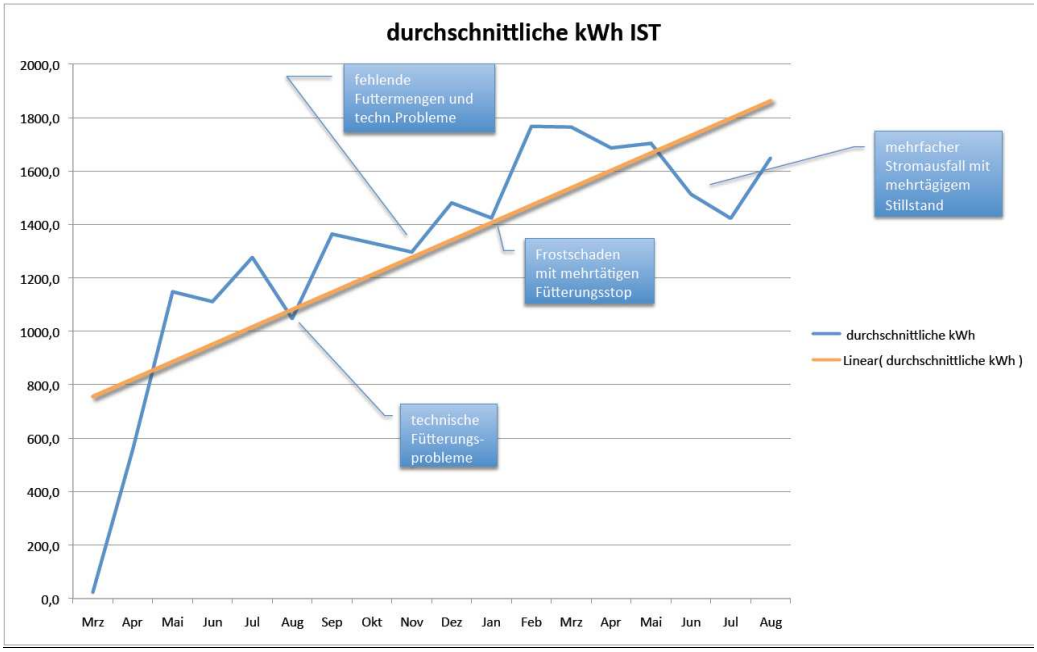


Abb 2.3: Stromproduktion aus Biogas für den Zeitraum März 2008 bis August 2009

	MWh/d	MWh/Monat	MWh/a	STAW
Stromproduktion	25,5	781	9.315	16%
Ø elekt. Leistung Gesamt (kW) Basis 8760 Bh	1.063	-	-	6%
Ø elekt. Leistung Gesamt (kW) Basis 7500 Bh	1.242			6%
Volllaststunden pro Jahr	4337			-

2.4. – Tabelle 5: Stromertrag aus Biogas für den Zeitraum März 2008 bis Dezember 2008

Da sich für den Gesamtzeitraum die Einfahrphase der Anlage stark bemerkbar macht, müssen vor allem die in 2009 produzierten Leistungsdaten betrachtet werden. Hier wurden bereits 38,7 MWh pro Tag produziert. Die Durchschnitts-BHKW-Leistung lag hier bei 1.886 kW bezogen auf 7.500 Betriebsstunden.

	kWh/d	MWh/Monat	kWh/a	STAW
Stromproduktion	38.7	1.177	14.144	9%
Ø elekt. Leistung Gesamt (kW) Basis 8760 Bh	1.615	-	-	3%
Ø elekt. Leistung Gesamt (kW) Basis 7500 Bh	1.886			3%
Volllaststunden pro Jahr prognostiziert	> 6.585			-

2.4. – Tabelle 6: Stromertrag aus Biogas für den Zeitraum Januar 2009 bis August 2009

Die Differenz zwischen tatsächlicher Stromproduktion von 1.615 kW pro Std. zum theoretischen Stromertrag aus Gasproduktion von 1.851 kW pro Std. liegt u.a. an den nicht berücksichtigten Gasverlusten (Abfakeln bzw. Abströmen des Biogases über die Schaumfallen in Störfällen) bis zur Verbrennung sowie am Wirkungsgrad der Verbrennung. Es schwankt dieser bei Teillast zwischen 35%-40%. So entstehen ca. 0,5 % Speicherverluste und bei technischen Havarien, bzw. Servicearbeiten kann nicht alles produzierte Gas verbrannt und zu Strom werden – es wird entweder abgefackelt oder entweicht über die Überdrucksicherungen.

Das ergibt einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 35,3% umgesetzte Stromenergie gegenüber den technischen 40% des Aggregats. Der größte Teil beruht sicher auf Gasverlust. Dieser ist aber leider nur schwer zurückzurechnen, da der jeweilige Wirkungsgrad in Teillast nicht bekannt ist. Emissionsmessungen zur Bestimmung der Gasverluste in die Atmosphäre stehen noch aus.

Wirkungsgrad BHKW	40%
Gesamtleistung kW	2.148
BHKW	Deutz 3 x 716 kW
Fermentervolumen (m^3)	6.000
Gesamtzugabe (t/d)	95,5
Br (kg OTS/cbm d)	4,9
HRT (d)	61
Wirtschaftsdünger Anteil	61%

2.4. - Tabelle 7: Anlagenparameter bezogen auf die eingesetzten Stoffe

2.4.2 Mikrobiologische Untersuchung der Biologie bei hohen Anteilen an Hühnertrockenkot

2.4.2.1 Voruntersuchungen der Biologie im Labormaßstab

Im Vorfeld wurden parallel zur Anlagenplanung der Rückert Naturgas GmbH im Labor umfangreiche Versuche zur Vergärbarkeit der geplanten Einsatzstoffe (Hühnermist, Gras- und Maissilage) durchgeführt. Diese Versuche wurden in Durchlauffermentern bei konstanten Temperaturen über einen Zeitraum von insgesamt 12 Monaten durchgeführt. In Abstimmung mit dem Planungsbüro Rückert Naturgas GmbH wurden nach einer eingehenden Charakterisierung der geplanten Einsatzstoffe mehrere Versuchsreihen im Labor der Firma Biogas Oberfranken durchgeführt.

Folgende Parameter wurden in den Laborfermentern variiert und getestet:

- Gärtemperatur
- Hydraulische Verweilzeit
- Organische Raumbelastung
- Prozesswasserbedarf für einen stabilen Gärprozess in Abhängigkeit der eingesetzten Hühnerkotmenge (für diese Versuchsreihe wurde Osmosewasser, das von der Fa. Haase eigens aufbereitet wurde, verwendet)
- Bedarf an Hilfsstoffen für die Fermentation, insbesondere Spurenelemente und Eisen

Mittels der Ergebnisse der durchgeführten Laborversuche konnten dann für den Betrieb der Biogasanlage entsprechende Vorgaben für die aufzubereitende Prozesswassermenge, der Spurenelement- und Eisenbedarf bezogen auf eine Tonne eingesetzter Hühnerkot gemacht werden. Im Weiteren konnten

fundierte Vorgaben für die Prozesstemperatur, die Gasausbeuten und die organische Raumbelastung getroffen werden.

Die Daten der Biogasanlage in Baasdorf gehen weitgehend konform mit den im Vorfeld ermittelten Ergebnissen. Vor allem der Bedarf an Prozesswasser und sonstiger Hilfsstoffe konnte von uns mit relativ hoher Präzision anhand der Laboruntersuchungen prognostiziert werden. Dies kann jetzt nach etwa einjährigem Betrieb der Biogasanlage bestätigt werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Voruntersuchungen

Die in 2007 durchgeführten Laborversuche haben gezeigt, dass die vom Auftraggeber gelieferten Proben Hühnermist in Kofermentation mit den Substraten Grassilage, Maissilage, CCM und GPS für eine Biogasgewinnung gut geeignet waren. Allerdings sollte der Trockensubstanzgehalt unter 10% gehalten werden, um einer Hemmung der Gärbiologie entgegenzuwirken. Bei Raumbelastungen von 6 kg OTS/m^3*d oder höher ist es empfehlenswert, einen Nachgärer mit einzubeziehen, da das eingesetzte Substrat nicht vollständig vergoren wurde.

Das anfangs eingesetzte Substrat in Masseprozent stellt sich wie folgt dar:

1. Hühnermist 86 %
2. Maissilage 5%
3. Gras 3 %
4. GPS 4%
5. CCM 2%

Nach 7 Monaten wurde die eingesetzte Substratzusammensetzung geändert in:

1. Hühnermist 70 %
2. Maissilage 30%

Diese Zusammensetzung kam dann dem Anlagenbetrieb der BGA recht nahe.

Die Versuchsfermenter liefen insgesamt 10 Monate (März – Dezember 2007).

Die durch die täglichen Zugaben an Substrat bestimmte Raumbelastung wurde in den Fermentern langsam gesteigert. Folgende Raumbelastungen wurden getestet:

- 1 kg OTS / m^3 d
- 2 kg OTS / m^3 d
- 4 kg OTS / m^3 d
- 8 kg OTS / m^3 d

In den Laboruntersuchungen zeigte der Hühnermist eine Biogasproduktion von ca. 300 bis 348 Nm^3/t OTS (bzw. 84 bis 96 N cbm/t Frischmasse).

Damit lag die in der BGA produzierte Gasmenge etwa 20 bis 30 % über den Werten, die in den Laboruntersuchungen gemessen wurden. Diese großen Differenzen im Gasertrag waren wahrscheinlich auf die unterschiedliche Qualität und Alter der zur Verfügung stehenden Hühnermistproben zurückzuführen.

Um einen stabilen Gärprozess zu gewährleisten war es notwendig, Prozesswasser zuzugeben. Zum einen, um den Trockensubstanzgehalt in einem Bereich zu halten, in dem das produzierte Biogas noch gut durch das Gärsubstrat in den Gasraum entweichen kann und um die Durchmischung des Gärsubstrates zu gewährleisten. Zum anderen musste die Konzentration an Ammonium-Stickstoff begrenzt werden, um eine Hemmung durch Ammoniak zu vermeiden.

Die Prozesswasserzugabe wurde analog zur Raumbelastung erhöht. Das zugegebene Wasser bestand zu 1 Teil aus Leitungswasser (pH-Wert 7,1; Leitfähigkeit 383 mS) und zu 4 Teilen aus Osmosewasser (pH-Wert 7,5; Leitfähigkeit 52 mS).

Die Wasserzugabe in den Laboruntersuchungen entsprach der Gesamtmasse an zugeführten Substraten. Diese Wasserzugabe reichte aus, um die Ammoniumkonzentration im Gärsubstrat unter 4 kg N/m^3 zu halten und den Trockensubstanzgehalt von < 12 % TS zu halten. Das Gärsubstrat mit diesem ansonsten als sehr hoch angesehenen TS-Gehalt war wider erwarten sehr gut rührfähig.

Die Zugabe von Eisen zur Bindung des im Gärprozess produzierten Schwefelwasserstoffs war für einen stabilen Gärprozess unumgänglich und entsprach 6,4 kg Ferrosorp DG pro t zugeführtes Substrat.

Im Betrieb der BGA war eine Zugabe von 14,5 kg Ferrosorp DS erforderlich. (siehe 2.3.1.2 Zusatz von Hilfsstoffen).

Der Einfluss der Fermentationstemperatur auf die Gasproduktion wurde bei einer Raumbelastung von 4 kg oTS / m^3 d im Bereich 38°C bis 44 °C getestet. Der Gasertrag bei 44°C war 14% höher als bei 38°C bei sonst identischen Rahmenbedingungen.

Die durch die täglichen Zugaben an Substrat bestimmte Raumbelastung wurde in den Fermentern bis zu 8 kg oTS / m^3 d gesteigert. Auch bei dieser hohen Raumbelastung wurde bei ausreichender Wasser und Eisenzugabe eine stabile Fermentation erreicht.

Tab. Nährstoffgehalte der produzierten Gärreste

Verteilung der Düngewerte auf feste und flüssige Phase der produzierten Gärreste:

Kalium und Ammonium sind zu einem größeren Anteil in der flüssigen Phase zu finden. Gesamtstickstoff, Schwefel, Phosphor, Magnesium und Calcium sind vorwiegend in der festen Phase zu finden.

		Flüssig	Fest	
Trockensubstanz		5,68	30,06	%
org. Trockensubstanz		2,82	16,95	%
Kalium	K_2O	8,95	6,36	kg/t
Ammonium	N	3,69	2,83	kg/t
Gesamtstickstoff	N	6,99	11,41	kg/t
Schwefel	S	1,8	2,58	kg/t
Phosphor	P_2O_5	3,01	27,25	kg/t
Magnesium	MgO	0,30	9,98	kg/t
Calcium	CaO	4,16	46,71	kg/t

2.4. - Tabelle 8: Nährstoffgehalte

2.4.2.2 Die Biologie der Biogasanlage

Die Gärsubstrate der Fermenter werden regelmäßig (monatlicher Rhythmus) von Dr. Robert Müller, Stefanie Lempenauer biogas oberfranken GbR in Hof analysiert und ausgewertet.

Die Analysen umfassten chemische Parameter wie:

- pH-Wert
- Trockensubstanz (TS) und organische Trockensubstanzgehalt (oTS)
- FOS/TAC-Wert
- Ammonium und Ammoniakkonzentration
- Gärsäuremuster mit Einzelnachweisen für Essig-, Propion- und Buttersäure mittel Ionenchromatographie

Die Analyseergebnisse haben deutlich gezeigt, dass die Biogasanlage keinerlei prozessbiologische Probleme aufwies. Das Essigsäureäquivalent war, von wenigen Ausnahmen abgesehen in allen Fermentern stets unter 2.000 mg/L.

2.4.2.2.1 Die Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen bestimmen die Anzahl und die Zusammensetzung der Biologie. Die Biogasanlage kann biologisch betrachtet als äußerst stabil angesehen werden. Die einzelnen Parameter sind nachfolgend dargestellt.

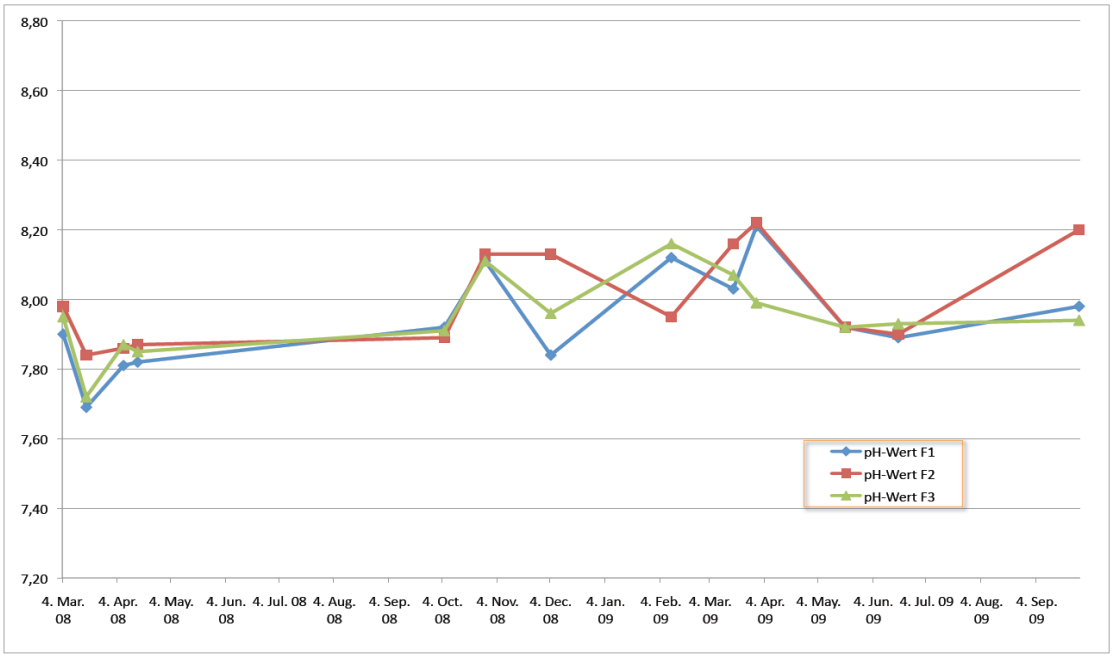


Abb. 1 pH-Werte seit Inbetriebnahme in den 3 Fermentern

Die Abbildung 1 zeigt, dass die pH-Werte der Fermenter relativ schnell einen stabilen Wert im leicht alkalischen Bereich (bei einem pH-Wert von 8) ereicht haben.

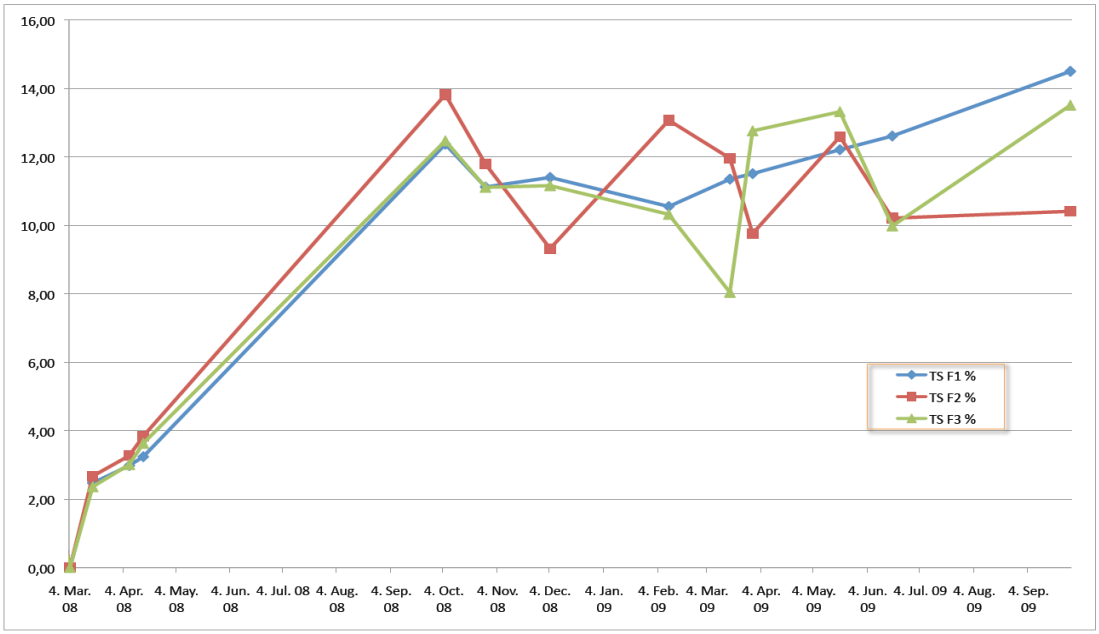


Abb. 2 Trockensubstanzgehalt seit Inbetriebnahme in den 3 Fermentern

Die TS-Gehalte konnten in einem Bereich unter 15% der Frischmasse gehalten werden, was durch die gezielte Permeatrückführung möglich wurde (siehe Abb. 2). Aufgrund dieser TS-Gehalte war das Gärsubstrat mit der verwendeten Rührtechnik in den Fermentern sehr gut mischbar.

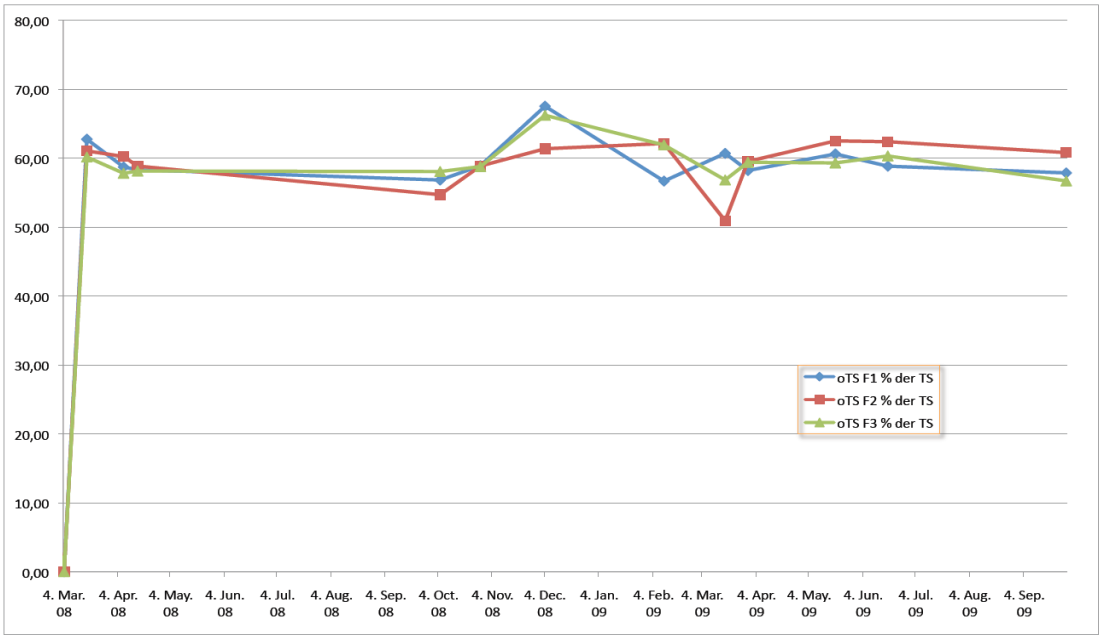


Abb. A3. Organischen Trockensubstanzgehalt seit Inbetriebnahme in den 3 Fermentern

Die Gärsäuremuster zeigten in allen drei Fermentern, wie für stabile gut funktionierende Biologie typisch, ein hohes Verhältnis von Essigsäure zu Gesamtsäure (siehe Abb. A4 – A6). Ein weiteres Indiz dafür, dass keine signifikante Hemmung insbesondere durch eine Aufsalzung /Anreicherung von Ammonium/Ammoniak vorlag.

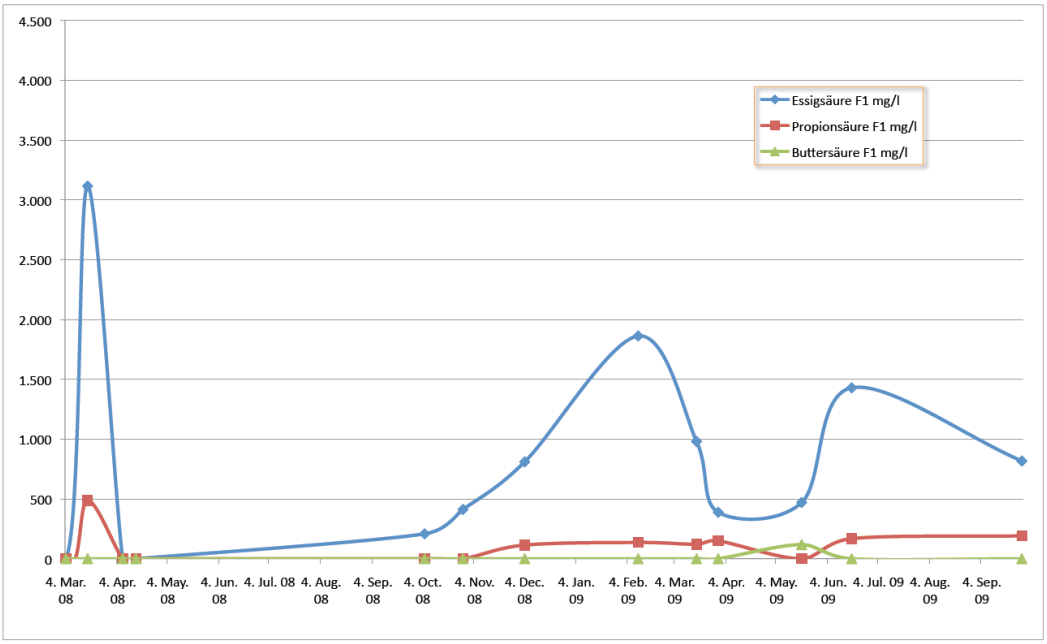


Abb. A4. Gärsäurekonzentrationen seit Inbetriebnahme im Fermenter 1

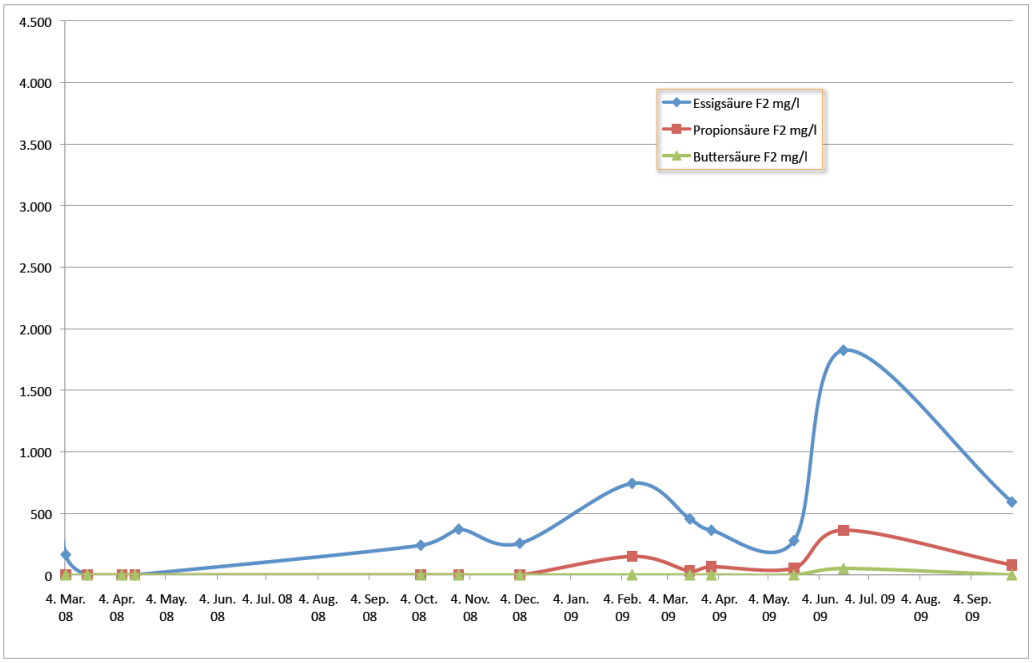


Abb. A5.Gärsäurekonzentrationen seit Inbetriebnahme im Fermenter 2

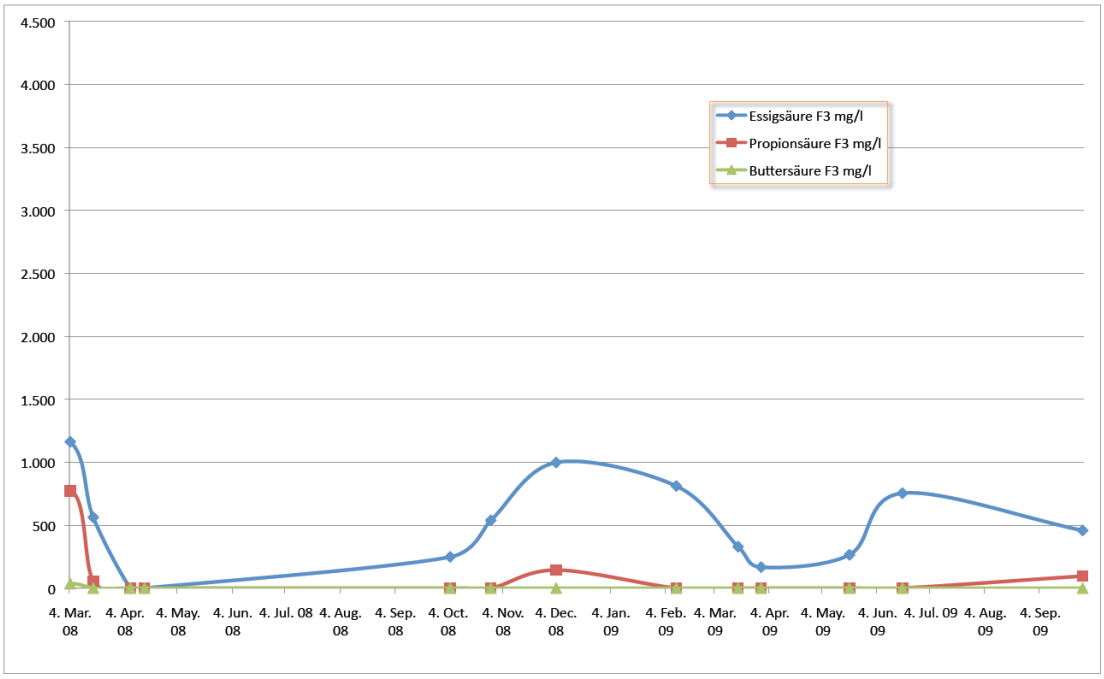


Abb. A6. Gärsäurekonzentrationen seit Inbetriebnahme im Fermenter 3

Die Konzentration an Ammonium lag in allen Fermentern und bei jeder Messung unter 5000 mg / L NH_4.Gemessen als gesamt Ammonium (siehe Abb. A7).

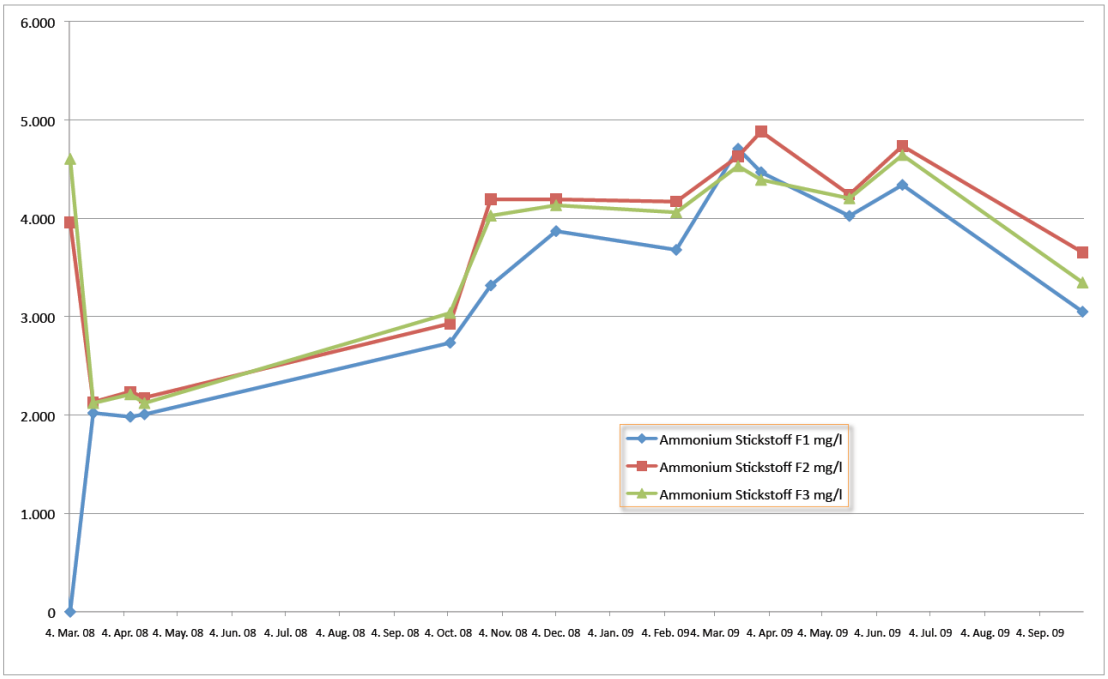


Abb. A7. Ammoniumstickstoffkonzentrationen seit Inbetriebnahme in den 3 Fermentern

Die entsprechende Ammoniakkonzentration wurde für die im jeweiligen Fermenter vorhandenen Bedingungen für Temperatur und pH-Wert aus der gemessenen Gesamt Ammonium Konzentration errechnet. Die Ammoniakkonzentration der untersuchten Fermentersubstrate lagen in der Regel unter 1000 mg/L NH3-N (siehe Abb. A8). Bei diesen Ammoniakkonzentration ist erfahrungsgemäß keine starke Hemmung der Methanbakterien zu erwarten.

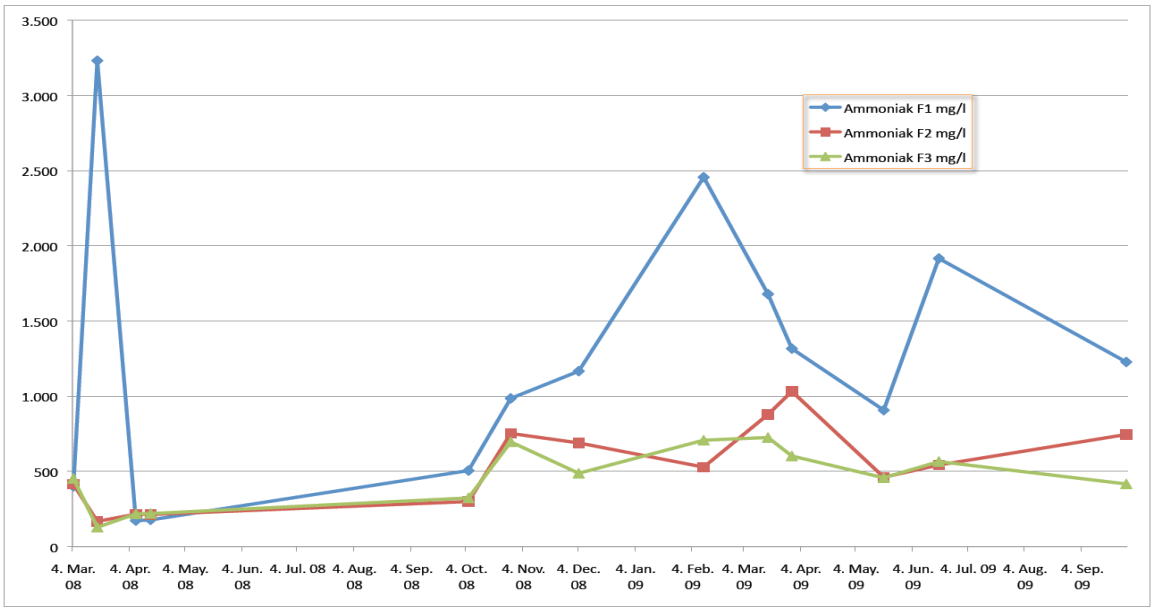


Abb. A8. Ammoniakkonzentrationen seit Inbetriebnahme in den 3 Fermentern

Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Gärsubstrat (flüssige Phase) lag bei Werten unter 50 mg/L H_2S-S (siehe Abb. A9). Diese nicht hemmende Konzentration an Schwefelwasserstoff konnte durch die Zugabe von

Eisen als Hilfsstoff für die Fermentation erreicht werden. Die Bindung von Schwefel an Eisen wird durch eine Fällungs-Reaktion erreicht:

$$S2- + Fe2+ \rightarrow FeS$$

Der ausgefällte Schwefel kann somit auch nicht ins Biogas gelangen. Versuche haben aber gezeigt, das Eisensulfid bei einer Ausbringung auf landwirtschaftliche Anbauflächen wieder zu 100% verfügbar ist (Ergebnisse sind hier nicht gezeigt).

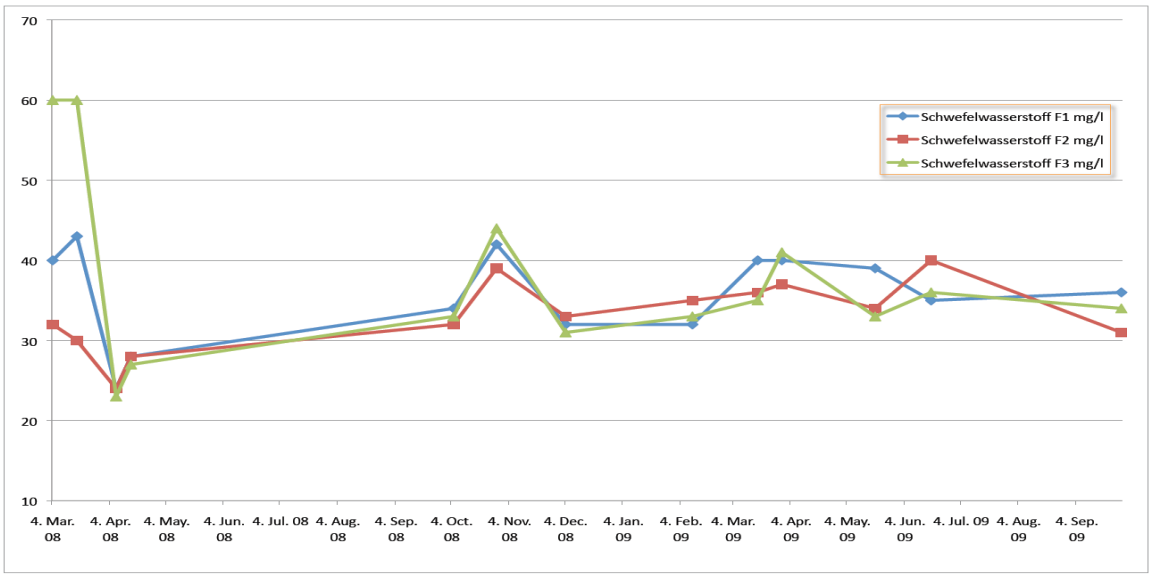


Abb. A9. Schwefelwasserstoffkonzentration seit Inbetriebnahme in den 3 Fermentern

Die Gärtemperatur wurde in allen Fermentern im oberen mesophilen Bereich stabil gehalten (Abb. A10).

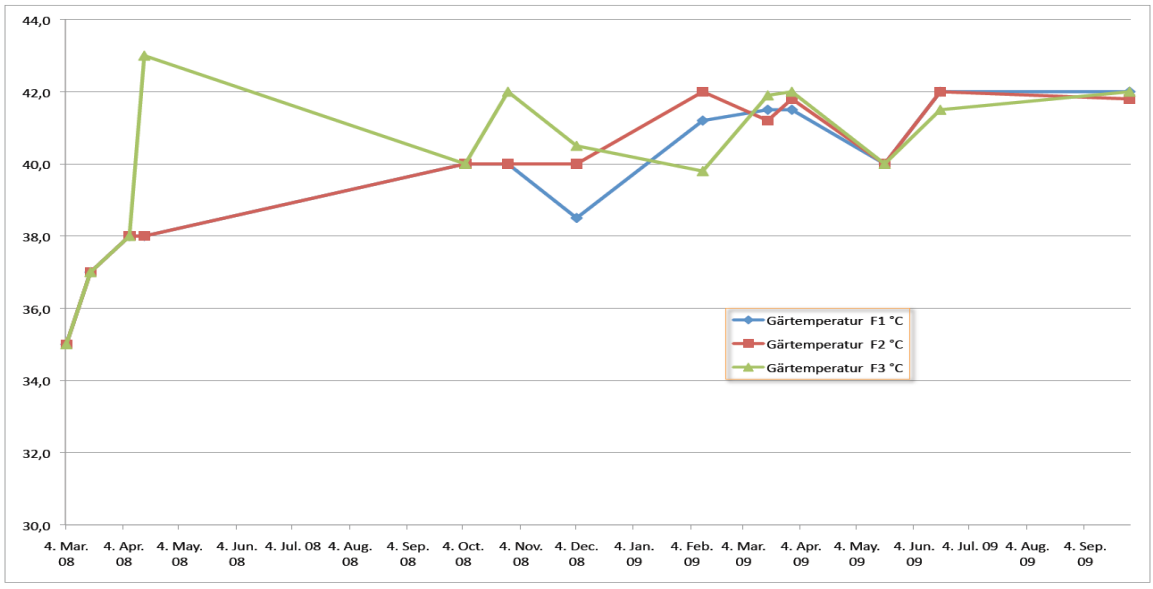


Abb. 10. Temperaturverlauf seit Inbetriebnahme in den 3 Fermentern

2.4.3.2.2 Die produzierende Biologie

Zur genauen Analyse der Biologie und näheren Bestimmung der Resultate aus der Hühnertrockenkotvergärung, werden permanent die einzelnen Bakterienzusammensetzungen untersucht. Im Speziellen handelt es sich um die fluoreszenzmikroskopische Bestimmung der Methanbakterien (Abb. 3) sowie der Gesamtbakterien über die Acridine Orange Färbung.

Probenbezeichnung	**Gesamtzellzahl**	**Methanbakterien**
	(Gesamtzellen pro mL*)	(aktive Zellen pro ml*)
Fermenter 1	2,08 ± 0,43 *10^{+09}	5,49 ± 1,70 * 10^{7}
Fermenter 2	3,02 ± 0,52 *10^{+09}	1,76 ± 0,17 * 10^{8}
Fermenter 3	3,08 ± 0,73 *10^{+09}	2,58 ± 0,2 * 10^{8}
Ultrafiltration	2,85 ± 0,72 *10^{+09}	2,42 ± 0,81 * 10^{7}
Dekanter	4,69 ± 0,59 *10^{+09}	1,34 ± 0,14 * 10^{8}
Umkehrosmose	4,77 ± 0,83 *10^{+08}	1,61 ± 3,95 * 10^{6}
Zulauf Ultrafiltration	2,45 ± 0,30 *10^{+09}	2,26 ± 0,23 * 10^{8}
Zentrat Dekanter	3,49 ± 1,25 *10^{+08}	1,19 ± 0,17 * 10^{8}

2.4. – Tabelle 9: Zellzahlbestimmungen als Gesamt und Methanbakterien in Proben der GM Biogas GmbH vom 24.09.2008.

*: Mittelwert und Standardabweichung aus jeweils n = 6

Probe	**Methanbakterien**			**Gesamtzellzahl**			**Verhältnis**
	MZZ / mL	**mg TS / L**	**g BM / L**	**GZZ / mL**	**(mgTS / L)**	**g BM / L**	**MB/GZZ**
Fermenter 1	5,49 *10^{+07}	12,20	0,17	2,08 *10^{+09}	461,56	6,59	2,64%
Fermenter 2	1,76 *10^{+08}	39,11	0,56	3,02 *10^{+09}	670,00	9,57	5,84%
Fermenter 3	2,58 *10^{+08}	57,33	0,82	3,08 *10^{+09}	684,89	9,78	8,37%
Ultrafiltration	2,42 *10^{+07}	5,38	0,08	2,85 *10^{+09}	632,78	9,04	0,85%
Dekanter	1,34 *10^{+08}	29,78	0,43	4,69 *10^{+09}	1042,22	14,89	2,86%
Umkehrosmose	1,61 *10^{+06}	0,36	0,01	4,77 *10^{+08}	105,93	1,51	0,34%
Zulauf Ultrafiltration	2,26 *10^{+08}	50,22	0,72	2,45 *10^{+09}	543,44	7,76	9,24%

Zentrat Dekanter	1,19 *10^{+08}	26,44	0,38	3,49 *10^{+08}	77,47	1,11	34,14%

2.4. – Tabelle 10: Umrechnungen in bakterielle Trockensubstanz (TS) und Biomasse (mit Zellwasser) (speziell als MB und Gesamt) sowie der Ermittlung des Methanbakterienanteils der Gesamtbakterien aus Fermenter- und sonstigen Proben vom 24.09.2008

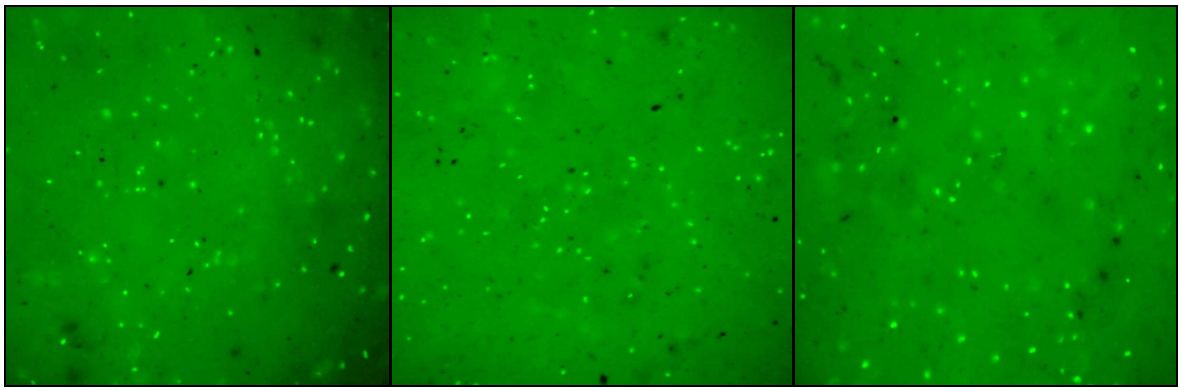


Abb. 3.Fluoreszenzmikroskopische Bestimmung der Methanbakterien in Fermenter 1, 2 und 3.

In den Fermenterproben waren etwa 2,6 % (F1) bis 8,4% (F3) aktive Methanbakterien im Verhältnis zu den gesamt vorgefundenen Bakterien nachweisbar. Bis jetzt fehlt allerdings die Erfahrung der wissenschaftlichen Beurteilung dieser Ergebnisse. Verglichen mit anderen gut abbauenden mesophilen Biozenösen aus NaWaRO BGA sind die Werte vergleichbar. Das höchste Verhältnis von aktiven Methanbakterien zu Gesamtbakterien war im Zentrat Dekanter zu finden.

Ebenso hatte auch der Zulauf der UF eine recht hohe Gesamtbakterien- und Methanbakteriendichte. Bezogen auf einen Liter Gärsubstrat befindet sich also bis zu etwa 0,8 g aktive Biomasse in Form von Methanbakterien in den Fermentern.

2.5 Behördliche Anforderungen

Die Errichtung und der Betrieb einer Biogasanlage unterliegen strengen bau- und umweltrechtlichen Vorschriften, Bestimmungen, Gesetzen sowie Verordnungen. Insbesondere im Vorfeld der Planungen musste neben dem Antrag auf Baugenehmigung nach § 70 BauO LSA und § 66 BauO LSA auch den immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren gemäß § 4 BlmschG für Anlage nach Nr. 4, Spalte 1.4, Spalte 2 der 4. BlmSchV Rechnung getragen werden. Des Weiteren wurde der rechtskräftige Flächennutzungsplan geprüft und anschließend eine Änderung beantragt. Zur bauplanungsrechtlichen Sicherung des Projektes wurde ein vorhabenbezogener Bebauungsplan erstellt. Aber auch die Themen Anlagensicherheit, Arbeitschutz, Brandschutz, Maßnahmen bei Störfällen sowie entsprechende DIN-Normen, Unfallverhütungsvorschriften und berufgenossenschaftlichen Regelungen wurde Rechnung getragen.

Neben den bereits erläuterten Punkten bestanden aber auch noch einige Nachweisverfahren gegenüber dem Netzbetreiber (envia-M). So musste zur Erlangung der einzelnen Vergütungen gemäß dem

„Erneuerbaren Energien-Gesetz“ (EEG) unter anderem die selbständige Einheit der einzelnen Anlagen durch Gutachten eines unabhängigen Wirtschaftsprüfers nachgewiesen (Anlage 7: Bescheinigung des Anlagebegriffs Bsp. BGA Köthen) werden. Aber auch die einzelnen Positionen, welche kumuliert die Vergütung für die Biogasanlage ergeben, mussten belegt werden. Erst nach der Vorlage eines Umwelt-, KWK-Wärme- und Güllegutachtens (Anlage 8: Umweltgutachten nach EEG 2009 (Güllebonus)) wurden die einzelnen Vergütungen sukzessive ausbezahlt.

2.5.1 BImSchG

Für das Konzept der Biogasanlage wurde ein Genehmigungsantrag nach § 4 BImSchG (nach Nr. 1.4, Spalte 2 der 4. BImSchV) gestellt. Der Antrag beinhaltete die Errichtung und den Betrieb einer Biogasanlage gemäß § 4 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG).

Die Genehmigung der Biogasanlage umfasst die Errichtung von drei eigenständig und unabhängig voneinander betriebenen Biogasanlagestrecken inkl. einer gemeinsamen genutzten Wasseraufbereitungsanlage auf dem ehemaligen Gelände des Flugplatz Köthen.

Die auf dem Gelände der Biogasanlage bestehenden und denkmalgeschützten Gebäude wurden erhalten und in das Konzept der Biogasanlage integriert. Das Konzept einer Biogasanlage mit 3 x 625 kW elektrischer Leistung wurde aus den bereits näher erläuterten Gründen im Rahmen einer Änderungsanzeige nach § 15 BImSchG verbessert. Im Rahmen der Änderungsanzeige wurden aber auch noch weitere Modifikationen beantragt. Anstelle der 3 x 625 kW Motoren von Jenbacher hatte man sich nun für drei räumlich getrennte 716 kW Motoren von Deutz entschieden. Aufgrund der räumlichen Trennung musste nun für jeden Motor ein selbständiges Genehmigungsverfahren gemäß § 4 BImSchG beantragen werden.

Für jedes der drei Projekte (Standort: BHKW Baasdorf, BHKW Farm 1 und BHKW Biogasanlage) wurde daher ein Antrag für die Errichtung eines BHKW-Containers bzw. für die Einbindung des BHKW`s in die Anlagen am Standort sowie die Installation der erforderlichen Nebenanlagen gestellt.

Dies war erforderlich, da bei einer installierten elektrischen Leistung von 716kW und einer Feuerswärmeleistung von 1,778 MW die einzelnen Anlagen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG – 1.4 b Spalte 2 der 4. BImSchV) und darüber hinaus nach § 3c des Umweltverträglichkeitsgesetzes (UVPG= einer standortbezogenen Vorprüfung) genehmigungspflichtig sind.

Weitere wesentliche Abweichungen zum ursprünglichen Genehmigungsverfahren gab es im Bereich der Feststoffzufuhreinrichtung. Ursprünglich war hier jeweils eine Zufuhreinrichtung pro BGA geplant. Im Zuge der Vorplanung erkannte man allerdings die Vorteile einer Mischstation (Firma BHS Sonthofen) inkl. des Pumpsystems der Firma Putzmeister. Des Weiteren wurde die Anzahl der Gasfackeln von drei auf eine, bei der Biogasanlage III, reduziert.

Unter anderem wurden bereits die ersten Erkenntnisse aus den Voruntersuchungen der Gärresteproben in die Genehmigungsverfahren integriert. Im Folgenden wurden daher in den Reaktoren Sandaustragsschnecken geplant, beantragt und installiert, um so dem Problem der Versandung

vorzubeugen. Im Jahre 2009 wurde abschließend noch eine Änderungsanzeige gem. § 15 BlmSchG für die Nachrüstung eines Oxi-Katalysators für jedes BHKW und die Errichtung dreier Aktivkohlefilter abgegeben.
Im Rahmen der BlmSchG mussten auch die Auswirkung der Biogasanlage auf die Menschen in der Umgebung, den Boden und die angrenzende Biologie, das Grund- und Oberflächenwasser, die Tier und Pflanzenwelt, die Landschaft sowie auf die Luft und auf das Klima untersucht und durch Gutachten, Herstellergarantien und Prognosemodellen belegt werden.
So wurden unter anderem auch Emissions- und Immissionsgutachten für Geruchstoffe, Stäube und Geräusche (Schallimmissionsprognose) sowie die Ermittlung einer erforderlichen Mindesthöhe der geplanten BHKW-Abgaskamine in Auftrag gegeben.
Eine Belastung oder Gefährdung durch die Biogasanlage konnte jedoch in allen Punkten ausgeschlossen werden.
Neben den anlagen- und umwelttechnischen Fragen mussten auch noch Konzepte der Anlagensicherheit, des Arbeits- und Brandschutzes und ein Maßnahmenprogramm bei Störfällen entwickelt werden.

2.5.1.1 Emissions- und Immissionsgutachten

Das Beurteilungsgebiet zur Reinhaltung der Luft nach TA Luft liegt bei einer Austrittshöhe von weniger als 20m über Flur bei einem Mindestradius von 1km um den Emissionsmittelpunkt.
Daraus abgeleitet wurde für die Beurteilung der Auswirkung der aus der Errichtung und dem Betrieb der BHKW`s auf die Schutzgüter gemäß § 1 BlmSchV zu erwartenden Emissionen an Geruch, Lärm und Staub, das Untersuchungsgebiet mit einem Radius von 1 km gewählt.
Aufgrund der Abstände der BHKW`s zu den nächsten relevanten Immissionsorten und der Art der Emissionsquelle (Abgasschornstein mit entsprechender Ableitbedingung ca. 11m über Grund) wurde eingeschätzt, dass der Betrieb der BHHK´s keine relevanten Immissionszusatzbelastungen verursacht. Zudem gibt es für Anlagen der Nr. 1.4 der 4. BlmSchG keine Regelungen zu Geruchstoffemissionen aus Verbrennungsmotoren.
In einem umfangreichen Schallimmissionsgutachten wurde festgestellt, dass alle in der Biogasanlage auftretenden Lärmimmissionen hauptsächlich durch die BHKW`s auftreten. Wie aus den Gutachten zu ersehen war, unterschreiten die im Bereich der beurteilungsrelevanten Immissionsorte (BHKW Baasdorf, Farm I und am Standort der Biogasanlage) zu erwartenden Schallemissionen die in der DIN 18005 bzw. in der TA Lärm (1998) festgelegten schalltechnischen Orientierungswerte von 60 dB(A). Auch die Emissionswerte für Staub führen zu keinen nennenswerten Staubebelastung. Die von den Herstellern der Motoren garantierte Einhaltung der Staubemissionswerten konnte durch Vorortversuche bestätigt werden.
Eine besondere Problematik bei dem Betrieb einer Biogasanlage auf Hühnertrockenkotbasis, kann die Entwicklung von Ammoniak bereiten. Daher wurde speziell diesem Punkt besonders viel Aufmerksamkeit geschenkt.
In der Biogasanlage sind als wesentliche Quellen von Ammoniakemissionen zu nennen:

- die Abluftströme aus der Annahmestelle und der Aufbereitungshalle,
- diffuse Emissionen aus den weitgehend gekapselten Gurtbandförderern und den Annahmetrichtern der Eintragsschnecken,
- geringfügige Emissionen von möglichen Fehlgärungen der Grassilage,
- geringfügige Emissionen von Vorlagebehältern.

Die Abluftströme aus der Annahme- und der Aufbereitungshalle sind 1 m über First (ca. 16,20 m über Grund bei der Annahmehalle, ca. 17,20 m über Grund bei der Produktaufbereitungshalle) und werden mittels Ventilatoren in die freie Atmosphäre ausgeblasen. Es wird die Abluft aus den Bereichen der Hallen abgesaugt, in denen ammoniakbeladene Luft entstehen kann. Dies betrifft in der Annahmehalle das Hühnertrockenkotzwischenlager (ca. 750 m²) und die zentrale Misch- und Dosierstation sowie in der Produktaufbereitungshalle der Bereich mit den Dekantern und dem Gärrestezwischenlager (ca. 750 m²).
Die Gurtbandförderer wurden weitgehend gekapselt, so dass sich die Emissionen weitgehend auf die Übergänge von einem Förderband zum nächsten Förderband beschränken. Die Annahmetrichter der Eingangsschnecken verfügen jeweils über eine Öffnung von 3,6 m², die mit einer Abdeckhaube (Hutze) versehen sind.
Emissionen von den Lagerbehältern mit Nachgärfunktion treten nicht auf, da diese mit einer Betondecke fest verschlossen sind und entstehendes Gas zu den über den Fermentern abgedeckten Foliensäcken und von dort den BHKW`s zugeleitet wird.
Die Emissionen aus der mit einer Betondecke versehenen Behältern „Vorgrube“, „Vorlage Dekanter“, „Vorlage für Ultrafiltration“ und „Vorlage für Umkehrosmose“ sind minimal.
Die beiden Flüssigdüngerlager wurden mit einem Folienzeltdach abgedeckt. Ein relevantes Emissionspotential entsteht auch hier nicht. Durch die Zugabe von Schwefelsäure bei der Ultrafiltration wird ein leicht saures Milieu erreicht (pH-Wert von 5 –6), so dass sich das im Flüssigdünger enthaltene Ammonium nicht zu Ammoniak umwandelt.
Die ermittelten Konzentrationen an weiteren relevanten Immissionsorten lassen die Aussage zu, dass keine erhebliche Beeinträchtigungen zu befürchten sind.
Die aus der Konzentration ableitbaren Stickstoffdepositionen sind nicht geeignet, die relevanten Immissionsorte erheblich zu beeinträchtigen.

2.5.1.2 Anlagensicherheit und Brandschutz

Die Betriebszeit der Biogasanlage Flugplatz Köthen sowie der beiden BHKW`s umfasst den Zeitraum von täglich 24 Stunden. Die Anlage wird ganzjährig ohne Stillstandzeiten betrieben. Bei der Errichtung, beim Betrieb sowie bei Störungen werden die Vorschriften der „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ sowie ergänzend bzw. teils aktualisiert die Vorschriften der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) beachtet. Die zuständige Berufsgenossenschaft ist die landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft

Mittel- und Ostdeutschland mit Sitz in Neuenburg. Darüber hinaus werden die wesentlichen Unfallverhütungsvorschriften der landwirtschaftlichen VSG und der gewerblichen BGV und BGR erfüllt.
Da es sich bei einer Biogasanlage um eine bauliche Anlage handelt, die zur sachgerechten Erfassung des Brandrisikos einer eingehenden Betrachtung bei der Planung und einer engen Abstimmung der einsatztaktischen Notwendigkeit mit der Führung der Einsatzkräfte der örtlichen Feuerwehr bedarf, wurde in gemeinsames Brandschutzkonzept mit der örtlichen Feuerwehr und der Stadt Köthen erarbeitet.
Der Brandschutzplan umfasst zum einen die Zu- und Durchfahrten, Lage , Anordnung , Bemessung und Kennzeichnung der Rettungswege, Sicherheitsbeleuchtung usw.. Aber auch die Menge der erforderlichen Löschwassermengen sowie die Löschwasserversorgung wurde festgelegt. So stehen für die Löschwasserversorgung der Niederschlagswasserspeicher mit 150 m^3 und der Brauchwasserspeicher mit 100 m^3 zur Verfügung.
Vor Inbetriebnahme wurde im Einvernehmen mit der örtlichen zuständigen Feuerwehr eine Brandschutzverordnung auf Grundlage der DIN 14096 erarbeitet.

3. Ergebnisse

3.1 Wirtschaftslichkeitsanalyse

Im Rahmen der Planung der Biogasanlage wurden zum Zwecke der Wirtschaftlichkeitsanalyse folgende Aspekte betrachtet:

- laufende oder einmalige Kosteneinsparung
- Rentabilität der Investition
- Vergleich mit anderen am Markt befindlichen Verfahren
- sonstige positive Aspekte

3.1.1 Laufende oder einmalige Kosteneinsparung

Die Kosteneinsparungen sind im Vergleich zu einer konventionellen Biogasanlage zu ermitteln. Hinzu kommen noch Synergie-Effekte für eigene angebundenen Wirtschaftseinheiten. Kosteneinsparungen fallen in den Bereichen Transport, Dünger und Wärme an.

Die für den Bereich Transport prognostizierten Kosteneinsparungen im Vergleich zu einer konventionellen Biogasanlage haben auch nach Bau der Biogasanlage Flugplatz Köthen weitgehend Gültigkeit. Die in der Planphase berechnete projektbezogene Kosteneinsparung von rund T€ 112 pro Jahr wird entsprechend der

reduzierten Leistung der Wasseraufbereitung etwas geringer ausfallen. Bei der momentanen Leistung der WAB zeichnet sich bei mittleren Transportentfernungen von ca. 5-10 km eine Kostenersparnis von ca. T€ 80 jährlich ab. Eine detailliertere Betrachtung kann erst nach einem längeren Untersuchungszeitraum erfolgen.

Für den Bereich Dünger wurde für angeschlossene Wirtschaftseinheiten eine Kostenersparnis rund T€ 175 pro Jahr bei Zukauf von Dünger aus der Biogasanlage Flugplatz Köthen anstelle von mineralischem Dünger ermittelt. Auch diese Größe hat sich nach Durchführung des Projekts nicht grundsätzlich geändert.
Analog zur Rohstoffpreiserhöhung der Jahre 2007 und 2008 ist der durchschnittliche Preis für Mineraldünger gestiegen. Somit war die Gärsubstratbewertung höher als in der Planungsphase prognostiziert. Veränderungen ergeben sich analog zur Transportkostenersparnis durch die reduzierte Wasseraufbereitungsleistung. Im Folgenden werden wir auf diese Unterschiede noch etwas genauer eingehen.

Angeschlossene Wirtschaftseinheiten profitieren von der Möglichkeit, Fremdwärme aus der Biogasanlage zu beziehen. In der Planphase wurde eine Nutzung für im Bereich des Fernwärmenetzes Biogasanlageanlage befindliche Tierfarmen, Getreidetrocknungsanlagen, Technikgebäude und Verwaltungsgebäude angenommen. Insgesamt wurde mit einer Kostenersparnis von rund T€ 230 pro Jahr gerechnet.
Tatsächlich wurden zum Winterhalbjahr 2007/2008 nur die Biogasanlage, sowie die Farmen Flugplatz 1 realisiert.
Die Farm Flugplatz 2 wurde erst im laufenden Jahr 2008 an das Wärmenetz angeschlossen. Übergangsweise wurde eine Notheizung installiert. Zum Winterhalbjahr 2008/2009 wurde dann für das BHKW 2 in Baasdorf ein eigenes Nahwärmenetz errichtet. Hiervon werden neben dem Getreidetrockner (überwiegend Feuchtmais) auch Wohn- und Verwaltungsgebäude sowie eine Werkstatt beheizt. Da die Gesamtinvestitionskosten durch die beschriebenen Änderungen in die Höhe schnellten, entschied man sich beim Nahwärmenetz Baasdorf die Investition durch den Nutzer, die WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH, durchführen zu lassen. Aus diesem Grund sind hieraus die Wärmeerlöse nicht als Einnahme zu rechnen.
Das eigentliche Wärmeprojekt, die Beheizung des Landratsamtes in unmittelbarer Nähe (ca.500m) wurde über den Projektzeitraum fallengelassen. Grund hierfür war das mangelnde Interesse auf Seiten der Behörde, eine beidseitige Lösung zu erreichen. Die politischen Kräfte favorisierten diese Lösung zwar, aber im Zuge der Neugründung eines größeren Landkreises (Köthen-> Anhalt-Bitterfeld) wurden andere Probleme bevorzugt behandelt. Ebenso wurde versucht, über den derzeitigen Energieversorger eine Lösung über eine Grundlasteinspeisung in deren bestehendes Fernwärmenetz zu realisieren. Auch diese Lösung wurde nicht weiter forciert. Mit der Tatsache, dass der Beginn der Stromproduktion etwas verzögert zum Plan erfolgte, ist für die Wärmenutzung ein längerer Realisierungszeitraum entstanden. Es existieren Planungen, im Jahr 2010 zwei weitere Farmen auf dem Flugplatzgelände zu errichten und diese anzuschließen. Ebenso sind Überlegungen zur Gärrestetrocknung bzw. anderweitiger Nutzung in der

Planung. Aber ein größerer Teil der ursprünglich geplanten Wärmeerlöse werden deshalb nicht direkt in der Biogaskalkulation realisiert, sondern reduzieren den Aufwand bei dem jeweiligen Nutzer. Diese trägt aber auch die Investitionslast.

3.1.2 Rentabilität der Investition

Im Zuge der Planung der Biogasanlage wurde die Rentabilität der Investition untersucht. Hierzu erfolgte die Aufstellung einer Plan-Gewinn- und Verlustrechnung mit einem Planungshorizont von 20 Jahren auf deren Basis verschiedene Kennzahlen ermittelt wurden.

Im Folgenden werden vorliegende IST-Zahlen mit der Planung 2008 und 2009 verglichen und eine auf Basis der IST-Zahlen ermittelte aktualisierte Plan-Gewinn- und Verlustrechnung erstellt. Wesentliche Abweichungen zwischen PLAN und IST werden ermittelt und deren Ursachen erläutert.

PLAN / IST Vergleich 2008

In der Planphase wurde die Biogasanlage in einem Profitcenter dargestellt. Im IST wird die Biogasanlage durch eine Betreiber- und eine Besitzgesellschaft geführt. Zum Zwecke der Wirtschaftlichkeitsanalyse werden beide Gesellschaften als ein Profitcenter betrachtet und aggregiert den ursprünglichen Planzahlen gegenübergestellt.

Wirtschaftlichkeitsanalyse Biogasanlage 2008						
	Profitcenter Betreiberges. 2008	Profitcenter Besitzges. 2008	Summe IST 2008	PLAN 2008	Abweichung	
Stromumsatz	1.644	0	1.644	2.500	<1>	-856
Wärmeumsatz	0	0	0	81	<2>	-81
Bestandsveränderung	81	0	81	0		81
GESAMTLEISTUNG	**1.725**	**0**	**1.725**	**2.581**		**-856**
sonstige Erträge	7	28	35			35
Substrataufwendungen	488	28	516	628	<3>	112
Eigenstromaufwendungen	94	0	94	80		14
ROHERGEBNIS	**1.150**	**0**	**1.150**	**1.873**		**-723**
Personalaufwand	60	0	60	63		-3
Wartungs- und Serviceaufwand	128	0	128	229		-101
UO - UF Aufwendungen	147	0	147	383		-236
Versicherungsaufwand	40	0	40	51		-11
Verwaltungsaufwand	26	7	33	8		25
sonstige Aufwendungen	12	18	30	17		13
Leasing	0	340	340	0	<4>	340
EBITDA	**738**	**-365**	**373**	**1.122**		**-749**
Abschreibung	5	378	383	666	<5>	-283
EBIT	**733**	**-743**	**-10**	**456**		**-466**
Zinsergebnis	0	-303	-302	-307		5
EBT	**733**	**-1.046**	**-312**	**149**		**-461**
EBT kumuliert						

<1>

Die Umsatzerlöse IST weichen um T€ -856 von den Umsatzerlösen PLAN ab. Im Plan wurde von einer ganzjährigen Stromerzeugung unter Volllast ausgegangen. Dies konnte im ersten Jahr der Stromerzeugung nicht erreicht werden. Zum einen ergaben sich in der Bauphase zeitliche Verschiebungen, zum anderen führten technische Probleme später als erwartet zu einem Betrieb unter Volllast. Die Mindererlöse stellen sich demgemäß als eine Periodenverschiebung ohne wesentlichen Einfluss auf die Rentabilität dar.

<2>

Entgegen der Planung enthält die Gewinn- und Verlustrechung keine Wärmeumsätze. Ursache hierfür sind:
Ein späterer Baubeginn des Fernwärmenetzes und die Änderungen in der Finanzierungsstruktur des Fernwärmebereichs und der Nichtanschluss einer geplanten Wirtschaftseinheit.
(Siehe oben)
In der Plan-Gewinn- und Verlustrechung wurde von einer Investition in das Fernwärmenetz durch die Betreibergesellschaft in voller Höhe ausgegangen. Folglich wurde der Wärmeumsatz mit üblichen Verrechnungspreisen angesetzt. Jedoch wurde ein Teil des Fernwärmenetzes durch die wärmebeziehende Wirtschaftseinheit selbst investiert. Hieraus resultiert ein geringerer Verrechnungspreis für den Wärmebezug. Im Jahr 2008 ist kein Wärmeerlös verrechnet worden. Erst im Folgejahr wird mit einer Berechnung begonnen. Dies hat jedoch per Saldo keine Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage.

<3>

Die unter <1> erläuterten zeitlichen Verschiebungen führen im Bereich der Substrataufwendungen zum gegenläufigen Effekt, den geringeren Einsatz von Rohstoffen. Auch dies hat keinen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage im Ganzen.

<4> <5>

Bei der Planung der Biogasanlage wurde von einer Finanzierung der Anlage ohne Einsatz von Leasingverträgen ausgegangen. Entsprechend wurde die Abschreibung berechnet. Im Zuge der Umsetzung des Projekts erwies sich Leasing von Wasseraufbereitung und Blockheizkraftwerken im Rahmen der Gesamtfinanzierung als vorteilhaft. Ein Investitionsvolumen von T€ 2.467 wurde im Rahmen eines sale & lease back Geschäfts realisiert. Die Laufzeit der Leasingvereinbarung beträgt 10 Jahre.

Neben einer geringeren Bemessungsgrundlage für die Abschreibung (Leasing) haben sich im Vergleich zum Investitionsplan die Gesamtinvestitionskosten von T€ 10.413 (Plan) auf T€ 11.066 (Ist) erhöht. Ursächlich hierfür waren, wie bereits im Bericht erwähnt, die Veränderungen der BHKW Standorte. So wurden ein Mikrogasnetz mit entsprechender Gasverdichterstation nötig, Versorgungsleitungen waren weiträumig zu legen, zwei BHKW Container baulich zu realisieren, verstärkte Technik für den Einsatz von hohen HTK-Anteilen, um nur einige zu nennen. Daraus ergibt sich eine Erhöhung der Positionen AfA und Leasing gegenüber der Position AfA Plan G+V von T€ 57.

Zusammenfassend erklären sich die Abweichungen zwischen Plan und Ist für das Jahr 2008 durch Periodenverschiebungen in der Anlaufphase und höhere Herstellkosten der Gesamtanlage. Diese Abweichungen haben keinen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage.

PLAN / IST Vergleich 2009

Der Plan-/ Istvergleich 2009 basiert auf Ist - Zahlen für den Zeitraum Januar bis August 2009. Anhand dieser Zahlen wurde ein Forecast für 2009 erstellt. Dieser wird mit den Planzahlen 2009 verglichen.

Wirtschaftlichkeitsanalyse	Biogasanlage	2009					
	profit center betreiberges. 2009.01_08	profit center besitzges. 2009.01_08	Summe IST 2009.01_08	Summe FORECAST 2009	PLAN 2009		Abweichung
Stromumsatz	2.014	0	2.014	3.021	2.560	<1>	461
Wärmeumsatz	0	0	0	20	158	<2>	-138
Bestandsveränderung	0	0	0	0			0
GESAMTLEISTUNG	**2.014**	**0**	**2.014**	**3.041**	**2.718**		**323**
sonstige Erträge	29	0	29	35			35
Substrataufwendungen	551	0	551	826	638	<3>	188
Eigenstromaufwendungen	122	0	122	183	82	<4>	101
ROHERGEBNIS	**1.370**	**0**	**1370**	**2067**	**1.998**		**69**
Personalaufwand	49	0	49	74	64		10
Wartungs- und Serviceaufwand	175	0	175	263	238	<5>	25
UO - UF Aufwendungen	191	0	191	287	390	<6>	-104
Versicherungsaufwand	1	40	41	45	52		-7
Verwaltungsaufwand	8	0	8	10	8		2
sonstige Aufwendungen	8	13	21	27	18		9
Leasing	0	210	210	315	0	<7>	315
EBITDA	**938**	**-263**	**675**	**1.047**	**1.228**		**-181**
Abschreibung	3	360	363	540	666	<8>	-126
EBIT	**935**	**-623**	**312**	**507**	**562**		**-55**
Zinsergebnis	-3	-173	-176	-270	-271		1

EBT	**932**	**-796**	**136**	**237**	**291**	**-54**

<1>

Umsatzerlöse trotz fehlender Wärmeumsätze insgesamt höher, da seit dem 01.01.09 das neue EEG greift und die Anlage den Güllebonus sowie den erhöhten NaWaRo-Bonus erhält.

<2>

Die Wärmeerlöse siehe Erklärung 2008

<3>

Substratkosten fallen höher aus, da die Planzahlen noch aus dem Jahr 2007 stammen, vor der Explosion der Rohstoffpreise 2007/2008. Diese Preise betreffen vor allem die Silage sowie Getreideschrot. Für die Verrechnungspreise liegen die Marktpreise der Region zugrunde. Ein weiterer Grund war der etwas geringere Mistanteil, auch dieser wurde schon im Bericht erwähnt. Als dritten Grund muss man den geringeren Wirkungsgrad sehen, der letztendlich auch eine Verteuerung der Substratkosten verursacht.

<4>

Der Eigenstromanteil liegt ebenso über den Erwartungen der Plan G+V. Das beinhaltet sicher einen höheren Verbrauch als geplant. Ein weiterer Teil wird durch höhere Entfernungen verursacht, die den Pumpaufwand doch verteuern. Ebenso sind mehr elektrische Verbraucher angeschlossen worden als in den ersten Planungen. Beleuchtung der Hallen, Lüftungssysteme der Hallen usw. Einen erheblichen Anteil der Eigenstromkostensteigerungen hat aber die Erhöhung der Strombezugskosten um 23% von 2008 auf 2009 bewirkt. So stieg der durchschnittliche Preis von 10.9 Cent/kWh auf 13.4 Cent/kWh. Das hat natürlich auch Auswirkungen auf die Kosten der UF-UO Anlage, da ein Großteil der Kosten aus Stromkosten bestehen.

<5>

Der Wartungsaufwand ist im Vergleich zum Plan um T€ 62 höher, da aufgrund zahlreicher Havarien, verursacht durch Fremdkörper, ein erhöhter Verschleiß aufgetreten ist.

<6>

Der Aufwand UF-UO Anlage unter den Plandaten, kann aber dennoch nicht zufrieden stellen. Als Kernproblem muss hier die reduzierte Leistung gesehen werden. Diese Tatsache allein verursacht dramatisch höhere Stückkosten als geplant.

Weitere Veränderungen wurden schon bei der Strombezugskostenbetrachtung erwähnt. Die Erhöhung der Preise um 23% verändert hier die Kostensituation deutlich zu Ungunsten der Gesamtkosten. So stieg der Anteil der Stromkosten an den Gesamtkosten der WAB um 26% von 44% auf 70%. Der Basispreis der Stromkostenberechnung für die Plan G+V lag bei nur 10 Cent/kWh. (13.4 Cent/kWh IST)

Erfreulicher hingegen entwickelte sich der verminderte Einsatz von Hilfs- und Betriebsstoffen. So blieben Reinigungsmittel, Schwefelsäure, sowie Fällungshilfsmittel unter den geplanten Mengen. Vor allem der Einsatz von Fällungshilfsstoffen, der im Plan bei ca. T€ 80 lag, wurde nicht benötigt. Wie im Bericht zur Wasseraufbereitung bereits genannt, wäre ein Einsatz von Flockungshilfsmitteln durchaus geeignet höhere Abscheideleistungen zu erreichen, aber die für den Betrieb nötigen Mengen stellen keine wirtschaftliche Lösung dar um die volle Leistungsfähigkeit der Wasseraufbereitung zu ermöglichen. So bleibt der Anteil Zusatzstoffe und Hilfsmittel ca. 33% hinter den erwarteten Kosten. Ähnliches gilt für Wartungs- und Reparaturarbeiten. Diese liegen bei ca. 60 % der Plankosten. Hier muss aber sicher berücksichtigt werden, dass teilweise Garantieansprüche genutzt wurden und die Auslastung, sowie die Lebensdauer noch keinem durchschnittlichen Jahr entsprechen.

Um zu vergleichbaren Stückkostenbetrachtungen zu kommen haben wir beide Jahre 2008 sowie 2009 zusammengefasst. Aus den bekannten kumulierten Fermenterabläufen zum Ende August 2008 von 78.168 m^3 werden für das Gesamtjahr 95.539 m^3 zum Jahresende prognostiziert. Das ist mit den ebenfalls im Forcast zum Jahresende errechneten Kosten ein Vergleich der mit den Mengen Fermenterablauf 2009 Plan in etwa übereinstimmt.

	KOSTEN							**Zulauf**	**Kosten pro**
	Gesamt	Stromkosten	Anteil	Zusatzmittel	Anteil	Ersatzteile	Anteil	cbm	cbm
IST 2008	147.006,44 €	104.736,84 €	71%	40.767,80 €	28%	1.501,80 €	1%	33.539	4,38 €
IST 2009	286.788,08 €	199.301,98 €	69%	58.315,90 €	20%	29.170,20 €	10%	62.000	4,63 €
IST Gesamt	**433.794,52 €**	**304.038,82 €**	**70%**	**99.083,70 €**	**23%**	**30.672,00 €**	**7%**	**95.539**	**4,54 €**
PLAN	390.000,00 €	171.600,00 €	44%	150.177,00 €	39%	77.775,00 €	20%	99.746	3,91 €

Abb. Tabelle Stückkosten Wasseraufbereitung ohne AfA und sonstige Zusatzkosten wie Personal etc.

Das sind zwar nur 0,63 € pro m^3 mehr, spiegelt aber nicht die Wirtschaftlichkeitsunterschiede tatsächlich wieder. Es sind zum einen noch keine Dauerbetrachtungen, die eine gesicherte Stückkostenbetrachtung ermöglichen, zum anderen hat die schlechtere Leistung der WAB auch eine Verschiebung der Düngerfraktionen fest und flüssig zur Folge. Es muss also ein weitere Bewertung der Düngermengen und Verwertungsmöglichkeiten erfolgen.

	Gärreste fest	**Gärreste fl.**	
Preis pro cbm Plan	12,00 €	5,00 €	
Preis pro cbm IST	12,00 €	2,00 €	
	cbm	**cbm**	
IST	18.139	53.406	
PLAN	33.300	16.520	**Gesamt:**
Erlöse Dünger IST	217.668,00 €	106.812,44 €	**324.480,44 €**
Erlöse Dünger PLAN	399.600,00 €	82.600,00 €	**482.200,00 €**

Abb: Tabelle Düngerkalkulation

Die Differenz T€ 158 liegt zum großen Teil daran das der wesentlich höhere Anteil von flüssigem Gärrest nicht so gut zu vermarkten ist wie der feste. Die Preise am Markt lassen sich nicht wie im der Planrechnung

realisieren. Zusammen mit den höheren Stückkosten, vor allem Strombezugskosten der WAB, lassen die Wirtschaftlichkeit der Wasseraufbereitung abschmelzen.

<7> + <8>

Änderungen bei Leasing und Abschreibung haben dieselben Ursachen wie in Plan- Istvergleich 2008. Es kommt sogar zu einer Mehrbelastung von T€ 186 was auch damit zusammenhängt, das neben der Steigerung der Gesamtinvestitionssumme, den Leasingbeträgen nur eine Laufzeit von 10 Jahren zugrunde liegt.

Aktualisierte Plan Gewinn- und Verlustrechnung 2010 bis 2027

Anschaffungskosten 11.195
Kalkulationszinsfuß 4,50%

PlanGuV für die Jahre 2008 bis 2027

in T€	Vorjahr	1 2008	2 2009	3 2010	4 2011	5 2012	6 2013	7 2014	8 2015	9 2016	10 2017	11 2018	12 2019	13 2020	14 2021	15 2022	16 2023	17 2024	18 2025	19 2026	20 2027
Stromumsatz		1.760	3.056	3.250	3.550	3.570	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600
Wärmeumsatz		0	20	25	26	26	27	27	28	28	29	29	30	30	31	32	32	33	34	34	35
GESAMTLEISTUNG		**1.760**	**3.076**	**3.275**	**3.576**	**3.596**	**3.627**	**3.627**	**3.628**	**3.628**	**3.629**	**3.629**	**3.630**	**3.630**	**3.631**	**3.632**	**3.632**	**3.633**	**3.634**	**3.634**	**3.635**
		29%	27%	26%	24%	23%	21%	21%	21%	21%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Substrat kosten		516	826	850	940	950	955	965	974	984	994	1004	1014	1024	1034	1044	1055	1065	1076	1087	1098
Eigenstromkosten		94	183	185	189	192	196	200	204	208	213	217	221	226	230	235	239	244	249	254	259
∅ variable Kosten		610	1.009	1.035	1.129	1.142	1.151	1.165	1.178	1.192	1.206	1.220	1.235	1.249	1.264	1.279	1.294	1.310	1.325	1.341	1.357
ROHERGEBNIS		**1.150**	**2.067**	**2.240**	**2.447**	**2.454**	**2.475**	**2.462**	**2.449**	**2.436**	**2.422**	**2.409**	**2.395**	**2.381**	**2.367**	**2.353**	**2.338**	**2.323**	**2.309**	**2.293**	**2.278**
Kosten Betriebspersonal		60	74	90	92	94	96	97	99	101	103	105	108	110	112	114	116	119	121	124	126
Wartung und Service		128	263	300	306	312	318	550	336	342	349	356	363	371	628	391	398	406	415	423	431
Betriebskosten UO-UF		147	287	305	314	324	333	343	354	364	375	386	398	410	422	435	448	461	475	489	504
Versicherungen		40	45	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Verwaltungskosten		33	10	10	10	11	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	13	14	14	14
sonstige Kosten		30	27	25	26	26	27	27	28	28	29	29	30	30	31	32	32	33	34	34	35
∅ fixe Kosten I		438	706	783	802	821	840	1.045	865	895	928	960	993	1.026	1.070	1.099	1.074	1.100	1.126	1.153	1.180
EBITDA		**712**	**1.361**	**1.457**	**1.645**	**1.633**	**1.635**	**1.377**	**1.564**	**1.530**	**1.495**	**1.459**	**1.422**	**1.385**	**1.097**	**1.304**	**1.264**	**1.224**	**1.183**	**1.141**	**1.098**
Abschreibung/Leasing		723	855	856	856	856	856	856	856	856	856	593	593	557	557	557	0	0	0	0	0
EBIT		**-11**	**506**	**601**	**789**	**777**	**779**	**521**	**708**	**674**	**639**	**866**	**829**	**828**	**540**	**747**	**1.264**	**1.224**	**1.183**	**1.141**	**1.098**
Zinsen		302	236	212	191	173	154	139	84	31	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBT		**-313**	**270**	**389**	**598**	**604**	**625**	**382**	**624**	**643**	**624**	**865**	**829**	**828**	**540**	**747**	**1.264**	**1.224**	**1.183**	**1.141**	**1.098**
EBT kumuliert		**-313**	**-43**	**346**	**944**	**1.548**	**2.173**	**2.555**	**3.179**	**3.822**	**4.446**	**5.310**	**6.140**	**6.968**	**7.508**	**8.255**	**9.519**	**10.743**	**11.926**	**13.067**	**14.165**
Gewerbesteuer		0	0	43	66	66	69	42	69	71	69	95	91	91	59	82	139	135	130	125	121
Körperschaftssteuer/Soli		0	0	64	111	112	116	71	116	120	116	161	154	154	101	139	235	228	220	212	204
ERGEBNIS		**-313**	**270**	**282**	**421**	**425**	**440**	**269**	**439**	**452**	**439**	**609**	**584**	**583**	**380**	**526**	**890**	**862**	**833**	**803**	**773**
ERGEBNIS kumuliert		**-313**	**-43**	**239**	**660**	**1.085**	**1.525**	**1.794**	**2.234**	**2.686**	**3.125**	**3.734**	**4.318**	**4.901**	**5.281**	**5.807**	**6.697**	**7.558**	**8.391**	**9.194**	**9.967**
CF operativ		712	1.361	1.350	1.468	1.454	1.450	1.264	1.379	1.339	1.310	1.203	1.177	1.140	937	1.083	890	862	833	803	773
CF finanz		-302	-236	-212	-191	-173	-154	-139	-84	-31	-15	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF invest.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF		410	1.125	1.138	1.277	1.281	1.296	1.125	1.295	1.308	1.295	1.202	1.177	1.140	937	1.083	890	862	833	803	773
CF kumuliert		410	1.535	2.673	3.950	5.231	6.527	7.652	8.948	10.256	11.551	12.753	13.930	15.070	16.007	17.090	17.980	18.841	19.674	20.477	21.250

Unter Verwendung folgender Rahmendaten wurde die Plan Gewinn- und Verlustrechnung 2010 bis 2027 angepasst.

Gesamtinvestitionsvolumen: 11.195 T€

Davon sale & lease back: 2.467 T€

Kalkulationszinsfuß: 4,5 %

Die Gesamtinvestition stieg gegenüber dem im Antrag befindlichen Wert um T€ 129. Wie bereits erwähnt waren die Investitionen um weitere T€ 220 höher als geplant, dieser Teil wurde aber vom Wärmenutzenden für das Nahwärmenetz Baasdorf selbst investiert. Die Plan G+V wurde mit den veränderten Rahmenbedingungen des EEG 2009 angepasst.

Auf der Einnahmenseite, wird der erreichte Vergütungspreis multipliziert mit einer durchschnittlichen Leistung von 1868kWh, wobei mit einer Leistungssteigerung in den ersten fünf Jahren gerechnet wurde.

Auf der Kostenseite wird mit den bisher bekannten Kostengrößen, auf die Laufzeit indiziert um 2-3 %, gearbeitet. Ersatzinvestitionen für BHKW-Grundmotore sind als Kosten berücksichtigt. Bei den Futterkosten ist die Rohstoffpreisdelle, die im Moment zu erkennen ist, für die Ernten 2009 und 2010 ansatzweise berücksichtigt – ansonsten steigen diese Kosten auch. Um ein schnelle Investitionsbeurteilung zu erhalten, wenden wir nachfolgend ein statisches Verfahren an – die Rentabilitätsanalyse.

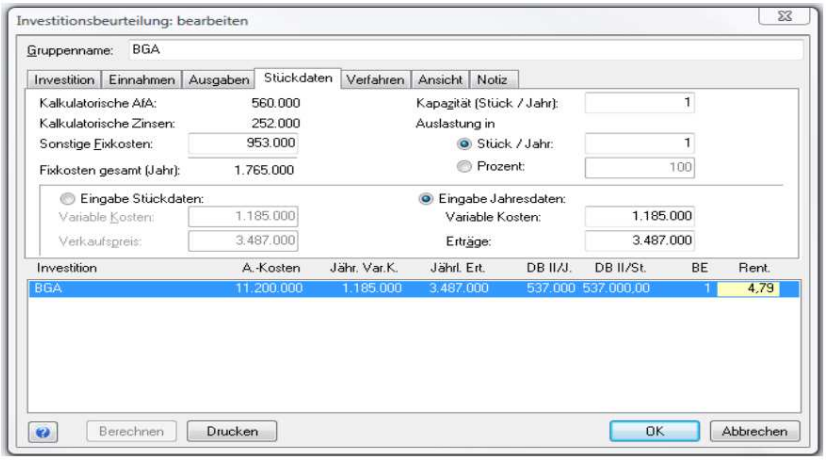
statisches Verfahren

Rentabilitätsrechnung

aus Modul Corporate Planner

Investitionsbeurteilung

Rentabilität	**4,79%**



Für die Eingangsgrößen Anschaffungskosten im Verhältnis zum Deckungsbeitrag pro Jahr entsteht eine Rentabilität von 4,79%. Der errechnete Deckungsbeitrag wird bei der einmaligen statischen Berechnung nur mit kalkulatorischen Zinsen bzw. Abschreibungen errechnet, sowie mit gemittelten Jahreszahlen wie variable und Fixkosten. Der Wert liegt im positiven Bereich, verglichen mit dem Kalkulationszinsfuss, oder mit dem im Antrag gerechneten 3,25%. Neben dem statischen Verfahren zur Beurteilung der Investitionstätigkeit können wir aufgrund der gut abschätzbaren Investitionsdauer und der investitionsrelevanten Ein- und Auszahlungen, diese auch dynamisch durchführen.

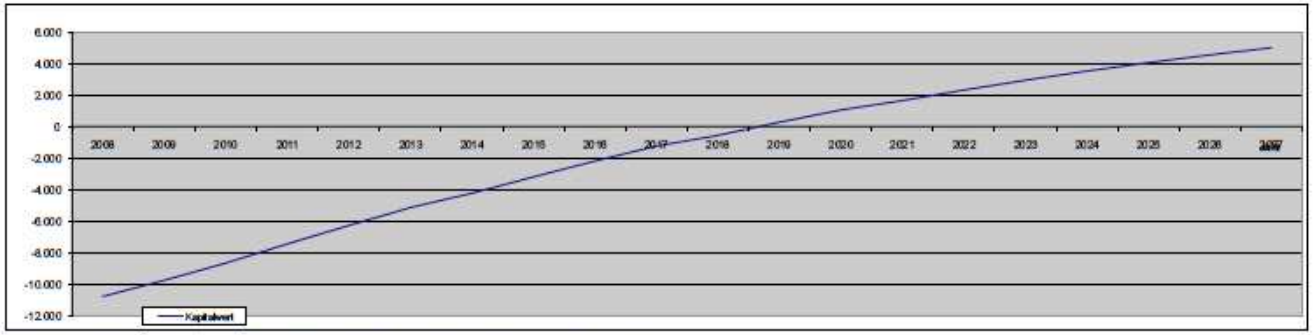
		1 2008	2 2009	3 2010	4 2011	5 2012	6 2013	7 2014	8 2015	9 2016	10 2017	11 2018	12 2019	13 2020	14 2021	15 2022	16 2023	17 2024	18 2025	19 2026	20 Jahre 2027		
Einnahmen		1.760	3.076	3.275	3.576	3.596	3.627	3.627	3.628	3.628	3.629	3.629	3.630	3.630	3.631	3.632	3.632	3.633	3.634	3.634	3.635	Æ	3.467
(vgl. GESAMTLEISTUNG)	kum.	1.760	4.836	8.111	11.687	15.283	18.909	22.536	26.164	29.792	33.421	37.050	40.680	44.310	47.941	51.573	55.205	58.838	62.472	66.106	69.741		
Ausgaben		1.350	1.951	2.030	2.121	2.136	2.145	2.389	2.148	2.130	2.149	2.171	2.207	2.245	2.534	2.328	2.368	2.409	2.451	2.494	2.537	Æ	2.215
(ohne Abschr. (Steuer)	kum.	1.350	3.301	5.331	7.452	9.588	11.734	14.123	16.270	18.400	20.549	22.720	24.928	27.175	29.707	32.035	34.403	36.812	39.263	41.757	44.294		

dynamische Verfahren

Amortisationsrechnung

aus Modul Corporate Planner
Investitionsbeurteilung

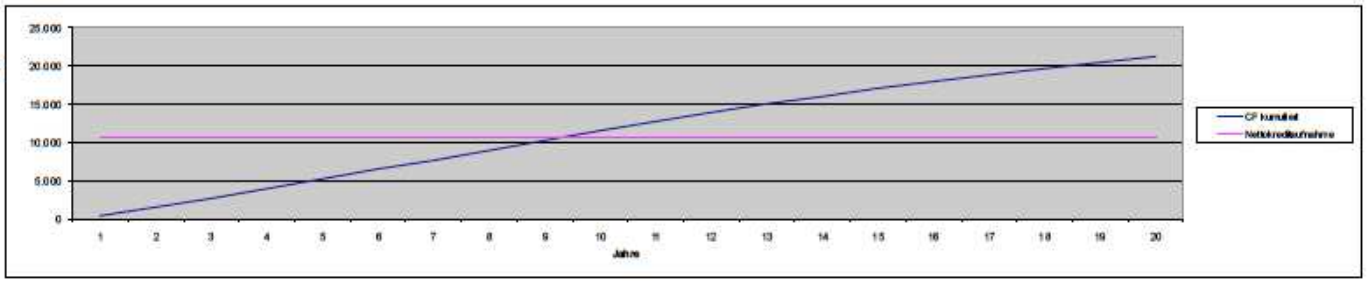
Kapitalwert		-10.807	-9.778	-8.686	-7.466	-6.294	-5.156	-4.247	-3.206	-2.198	-1.245	-568	270	1.051	1.644	2.318	2.943	3.522	4.057	4.551	5.007		
Amortisation	11,41																						
(Amortisation statisch)	10,00																						
Zinsfuß	9,20%																						



FK langfristig	10.776	10.596	10.022	9.053	8.073	7.080	6.075	5.056	2.622	1.574	483	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Gesamtkapital		10.909	10.065	9.292	8.733	8.165	7.600	6.850	4.856	4.260	3.608	3.734	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659		
Gesamtkapitalrentabilität		0,10	0,00	6,47	9,04	9,51	10,25	7,61	14,58	15,81	17,70	23,19	50,00	49,93	32,57	45,01	76,20	73,77	71,29	68,76	66,18	Æ	32,40
Umsatzrentabilität		0,00	8,78	11,88	16,73	16,79	17,24	10,53	17,20	17,71	17,18	23,83	22,85	22,81	14,88	20,56	34,80	33,69	32,55	31,39	30,20	Æ	20,08
ROI		0,00	2,68	4,19	6,85	7,40	8,22	5,58	12,85	15,08	17,28	23,16	50,00	49,93	32,57	45,01	76,20	73,77	71,29	68,76	66,18	Æ	31,85

Kreditaufnahme Liegenschaften (lang)
Leasingverpflichtungen Liegenschaften
10.776

Tilgung (IST) 10 Jahre
Tilgung (schnellst) 9 Jahre



Der positive Kapitalwert von T€ 5.007 zeigt auch hier eine vorteilhafte Investition. Einhergehend zeigt die Amortisationsdauer von 11,41 Jahren den dynamischen Effekt gegenüber der statischen Betrachtung von 10 Jahren. Der Kalkulationszinsfuß liegt bei 9,2%.

Die Gesamtkapitalrentabilität liegt bei 32,64% (Plan 13,57%) , die Umsatzrentabilität bei 20,08% (Plan 10,54%) und der ROI bei 31,85% (Plan 10,81%). Diese Kennzahlen liegen alle über den Planzahlen, das hat aber, wie im Bericht erwähnt, maßgeblich mit den gestiegenen Vergütungssätzen des EEG 2009 zu tun. Die Kostenstruktur gegenüber der Plan- G+V hat sich erhöht, konnte aber durch die Vergütungserhöhung positiv abgefangen werden. Als Vergleich folgt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ohne den Technologiebonus, der heute nicht mehr für diese Art der Anlagenkonzepte bezahlt wird.

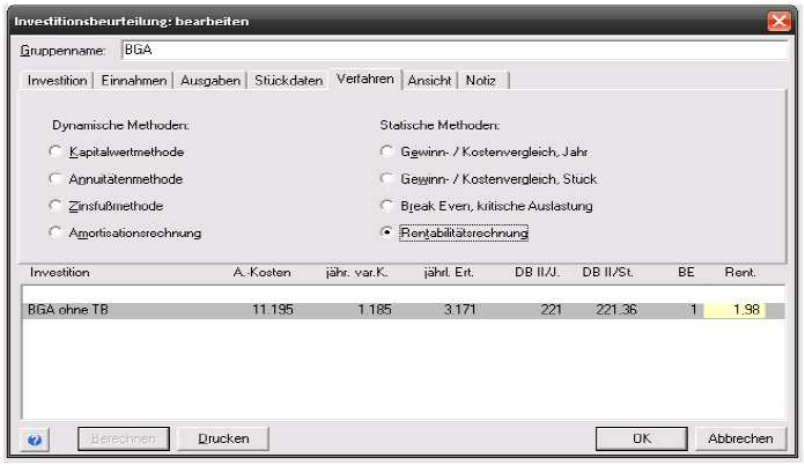
statisches Verfahren

Rentabilitätsrechnung

aus Modul Corporate Planner

Investitionsbeurteilung

Rentabilität	1,98%



Die Rentabilität sinkt von 4,79% auf 1,98%. Der Kapitalwert auf nur mehr T€ 1.186. Die Amortisation verlängert sich um über 5 Jahre auf jetzt 16,7 Jahre. Hier sind gegenüber einer einperiodischen Betrachtung größerer Unterschiede aufgrund von Zinseffekten zu sehen (Amortisation statisch 12 Jahre). Der Zinsfuß sinkt ebenfalls auf 5,66%.

Die Gesamtkapitalrentabilität liegt bei 23,75% , Umsatzrentabilität bei 12,67% und der ROI bei 22,78% .

Fazit: Allgemein muss hier nochmals erwähnt werden, dass es gerade für solche innovativen Anlagenkonzepte, finanzielle Investitionsanreize wie Zinsverbilligung oder Technologiebonus ausgenutzt werden müssen. Sonst entsteht die Gefahr, dass Investoren bei solch unsicheren Technologieabschätzungen nicht investieren werden. Das sich das EEG in eine angenehmere Richtung bewegt hat, war bei der Investitionsentscheidung nicht zu erkennen. Aus den gezeigten Zahlen heraus lässt sich aber für Neuanlagen mit den neuen Vergütungssätzen, auch ohne Technologiebonus, kalkulieren.

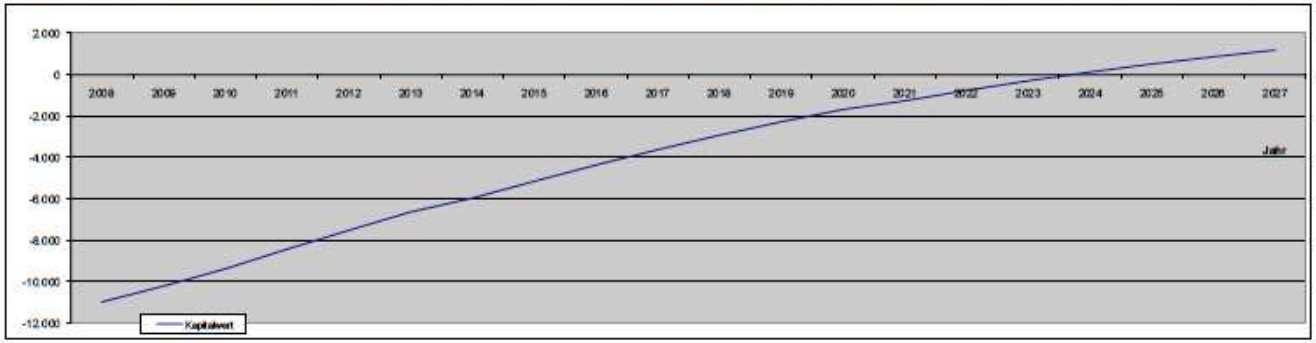
		1 2008	2 2009	3 2010	4 2011	5 2012	6 2013	7 2014	8 2015	9 2016	10 2017	11 2018	12 2019	13 2020	14 2021	15 2022	16 2023	17 2024	18 2025	19 2026	20 Jahre 2027		
Einnahmen		1.575	2.792	2.980	3.253	3.271	3.299	3.300	3.300	3.301	3.301	3.302	3.303	3.303	3.304	3.304	3.305	3.306	3.306	3.307	3.308	Æ	3.171
(kpl. GESAMTLEISTUNG)	kum.	1.575	4.366	7.346	10.599	13.870	17.169	20.469	23.770	27.070	30.372	33.674	36.977	40.280	43.584	46.888	50.193	53.499	56.805	60.112	63.420		
Ausgaben		1.350	1.951	2.030	2.121	2.136	2.145	2.369	2.148	2.130	2.149	2.171	2.207	2.245	2.534	2.328	2.368	2.409	2.451	2.494	2.537	Æ	2.215
(ohne Abschr / Steuer)	kum.	1.350	3.301	5.331	7.452	9.588	11.734	14.103	16.270	18.400	20.549	22.720	24.928	27.173	29.707	32.035	34.403	36.812	39.263	41.757	44.294		

dynamische Verfahren

Amortisationsrechnung

aus Modul Corporate Planner
Investitionsbeurteilung

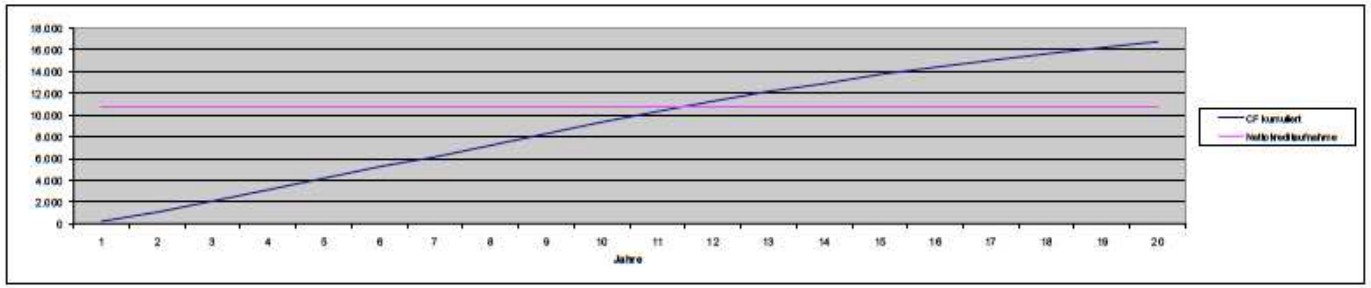
Kapitalwert		-10.980	-10.210	-9.377	-8.428	-7.517	-6.631	-5.961	-5.151	-4.363	-3.622	-2.925	-2.278	-1.681	-1.266	-761	-298	126	514	866	1.186		
Amortisation	16,70																						
(Amortisation statisch)	12,00																						
Zinsfuß	5,66%																						



FK langfristig	10.776	10.596	10.022	9.053	8.073	7.080	6.075	5.056	2.622	1.574	483	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Gesamtkapital		11.094	10.535	9.404	8.230	7.119	6.324	5.344	3.118	2.292	1.410	1.306	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659		
Gesamtkapitalrentabilität		0,00	2,10	3,25	5,67	6,35	7,14	3,63	12,21	15,11	22,08	41,25	30,27	30,20	12,84	25,28	56,47	54,04	51,56	49,03	46,45	Æ	23,75
Umsatzrentabilität		0,00	0,00	3,14	8,47	8,54	9,03	1,66	8,99	9,55	8,97	16,28	15,20	15,17	6,45	12,69	28,35	27,12	25,87	24,60	23,30	Æ	12,67
ROI		0,00	0,00	1,00	3,35	3,92	4,71	1,03	9,51	13,76	21,01	41,18	30,27	30,20	12,84	25,28	56,47	54,04	51,56	49,03	46,45	Æ	22,78

Kreditaufnahme Liegenschaften (lang)
Leasingverpflichtungen Liegenschaften
10.776

Tilgung (IST) 10 Jahre
Tilgung (schnellst) 11 Jahre



3.1.3 Vergleich mit anderen am Markt befindlichen Verfahren

Es existieren keine vergleichbaren Anlagen am Markt.

3.1.4 sonstige positive Aspekte

Die Produktionsbereiche Landwirtschaft (Futtermittelerzeugung), Geflügelproduktion sowie Düngerverwertung und Düngerproduktion verschmelzen aufgrund der engeren Zusammenarbeit im Hinblick auf die Schließung der Nährstoff und Energiekreisläufe.

Die Geflügelproduktion profitiert von der gesicherten Verwertung der erzeugten Wirtschaftsdünger sowie von den niedrigeren Kosten für die Wärmebereitstellung.

Die Landwirtschaft profitiert von der ausgeglichenen Qualität des aufbereiteten Wirtschaftsdüngers sowie von der Einsparung an Handelsdünger. Die Entkopplung von dem stark schwankenden Düngermarkt beruhigt die Unsicherheiten hinsichtlich Rohstoffpreisen. Somit können die Erzeugerkosten besser kalkuliert werden .

Die Energieerzeugungsanlage sowie Düngerproduktionsanlage profitiert von der gesicherten Bereitstellung an Wirtschaftsdünger sowie NaWaRo´s. Das EEG sichert eine garantierte Vergütung der erzeugten Stroms.

Das Schließen von Kreisläufen birgt zwar gewisse Schwierigkeiten – so die Abhängigkeit von Veränderungen innerhalb des Kreislaufs – bietet aber letztendlich Chancen für ein sicheres Wachstum der verschiedenen Geschäftsfelder.

3.2 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Aufgrund der vorliegenden Daten zur Stromproduktion ist eine enge Korrelation der Stromproduktion zur Fütterung zu erkennen. Zur Auswertung wurden die Tagessummen der erzeugten kWh der täglich zugeführten Masse an organischer Substanz gegenübergestellt:

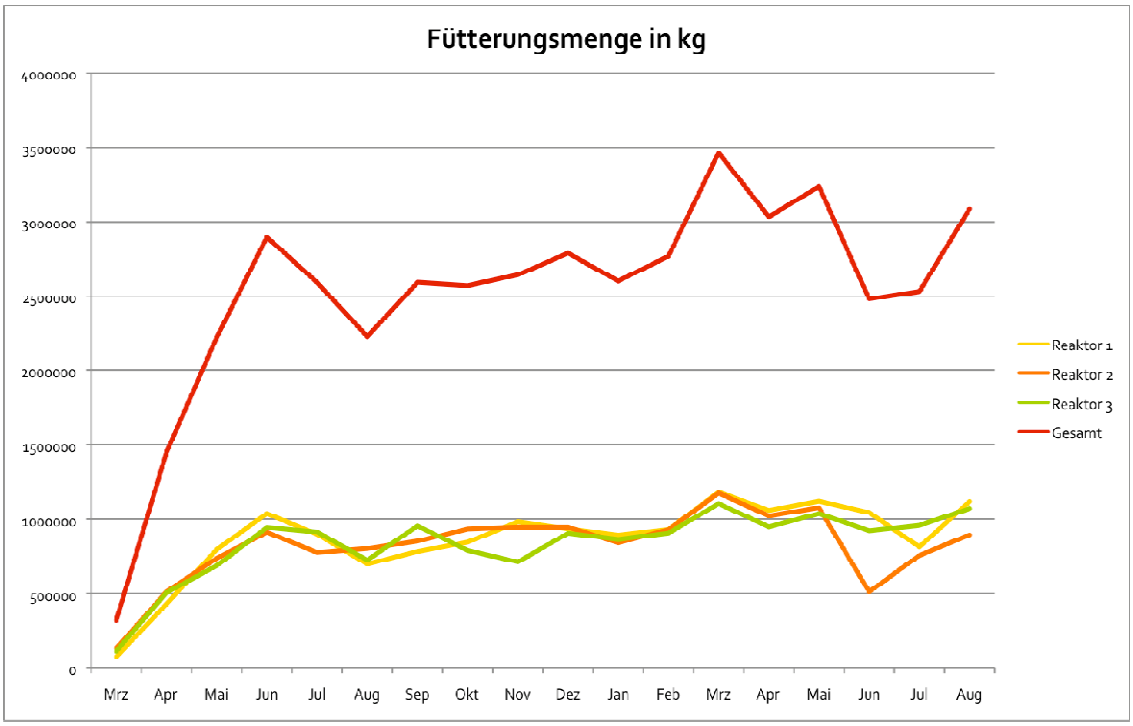


Abb. Gesamtfütterungsmenge sowie die einzelnen Reaktorstränge in kg/Monat

Die hier abgebildete Grafik zeigt den Verlauf der Fütterung seit Inbetriebnahme im März 2008 bis Ende August 2009. Die ersten vier Monate waren geprägt von einer vorgegebenen Fütterungskurve. Nur durch eine sanfte Steigerung der Fütterungsmengen konnte das produktive Wachstum der Bakterienstämme gewährleistet werden.

Die Schwankungen im nachfolgenden dargestellten Verlauf wurden überwiegend durch technische Defekte verursacht. So haben die bereits erwähnt Fremdkörper in der Fütterungstechnik zu Stillstandzeiten geführt. Ebenso hat ein fremdverursachter 14-stündiger Stromausfall eine konstante Fütterung bzw. Stromproduktion unterbunden.

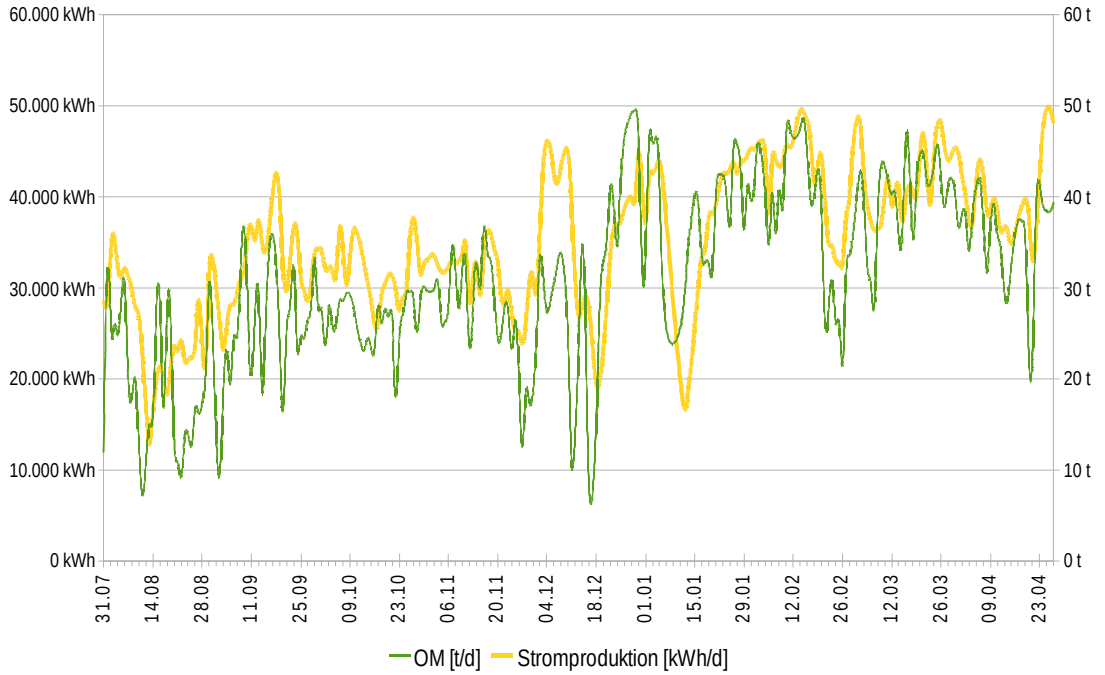


Abb. Ausschnitt Stromproduktion der BHKW´s zur jeweiligen Fütterung eines Reaktors (x3)

Die Gesamtfütterungsmenge über den Zeitverlauf hat zu einer durchschnittlichen Leistung von 381 kWh/t FM geführt, dass heißt bei einer Gesamtfütterungsmenge von 115,6 t/d ergibt sich eine durchschnittliche Leistung von 3*613 kW/h bzw. 1840 kW/h. Dies entspricht der Maximallast von 3*716 kW bei den als Grundlage zur Wirtschaftlichkeit berechneten 7500 Volllaststunden pro Jahr. Nicht berücksichtigt sind Verluste der Gasproduktion über die Notfackel bzw. Überdrucksicherungen. Ebenso ist die Differenz des Wirkungsgrades der Motoren bei Teillast in dieser Gesamtrechnung nicht berücksichtigt.

So zeigt sich, dass bei Aufteilung der Produktion in das Anfahrjahr 2008 die durchschnittliche Ausbeute bei 356 kWh/t FM lag, die sich ab Januar 2009 bei 405 kWh/t FM einpendelte. So erscheint es logisch, dass gerade in der Anfahrzeit die Motoren mit einer hohen Zahl von Betriebsstunden mit schlechteren Wirkungsgraden betrieben worden sind (35% vs. 40%). Auch führten in 2008 vermehrte Ausfälle aufgrund von Inbetriebnahmeproblemen zur teilweise nicht vollständigen Verbrennung des Biogases in den BHKW`s.

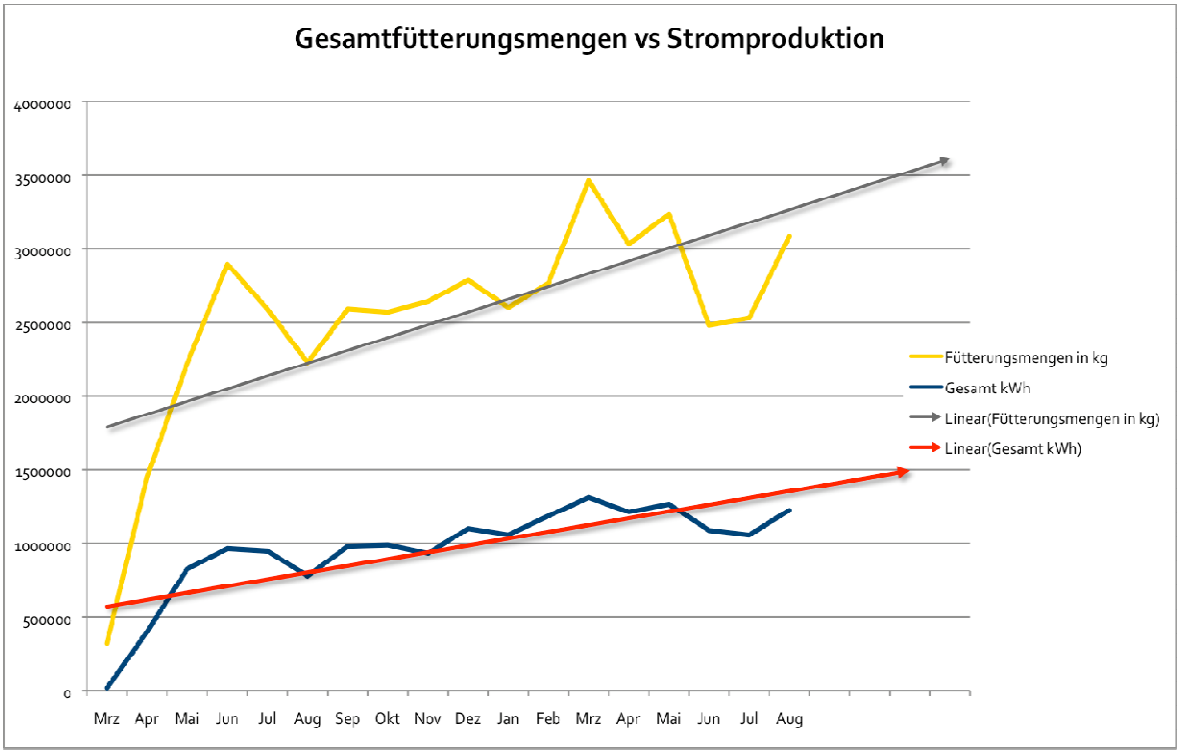


Abb. Gesamtfütterung in Verhältnis zur Erzeugung von Strom durch die BHKW´s

Insgesamt ist ein positiver Trend zu verzeichnen und mit jeder technischen Optimierung kann eine stabilere Fütterung in Bezug zur Nennlast gesichert werden. Die zentrale Misch- und Dosierstation als eine weitere Innovation bereitet naturgemäß wie fast alle Neuerungen einige Inbetriebnahme- und Dauerbetriebsprobleme, die aber auch bei der Planung als solche eingeschätzt und somit berücksichtigt worden sind.

Es gab zuvor nur bedingte Erfahrungswerte und so musste manches über kleine und große Optimierungen verbessert werden. Seit August 09 sind die Fördergeschwindigkeiten der Substratzufuhr erhöht worden – eine Antwort auf schwankende Gaserträge bzw. Fremdkörperstillstandszeiten. So ist man jetzt besser in der Lage, diese verlorenen Futtermengen aufzuholen. Auf Seiten der Annahmehalle und der darin befindlichen Einbringtechnik kann jetzt von einer 95%igen Verfügbarkeit der Nennlastmengen ausgegangen werden. Restprobleme bei nicht zu separierenden Fremdstoffen bleiben jedoch bestehen.

Abb. Fremdstoffe im Kugelventilhahn Substratleitung (2 Wochen blockiert!)

So führten immer wieder einzelne Fremdstoffe zu längeren Havarien, die aufgrund der Tatsache, dass die Substratzufuhr für alle Fermenter über ein gemeinsames Einbringsystem erfolgt, die Gesamtleistung reduzieren können, aber auch die Fütterung negativ beeinflussen. Sind alle Reaktorbehälter voll und kann kein Ablauf realisiert werden, muss auch auf eine weitere Zufütterung verzichtet werden.

Die Zusammensetzung des Fütterungssubstrates entspricht in den meisten Punkten den geplanten Werten. Der im Gesamtverlauf des Beobachtungszeitraums eingesetzte Anteil an HTK lag bei ca. 62%. Die ursprünglich geplanten 70% wurden vor allem deshalb nicht erreicht, weil während der Anfahrphase aus Sicherheitsgründen ca. 50% Maisanteil eingesetzt wurden. Eine Folge der Erweiterung der Anlage ist, dass es Monate gibt, in denen nicht genug HTK zur Verfügung stand. Wegen der unterschiedlichen Altersstruktur der Tiere in den zur Zulieferung von HTK eingeplanten Farmen standen keine konstanten Mistmengen zur Verfügung. Als dritten Grund ist die Transportentfernung mancher Farmen zu nennen, die eine Mischkalkulation mit einem etwas höheren Anteil an NaWaRo´s zur Folge hatte.

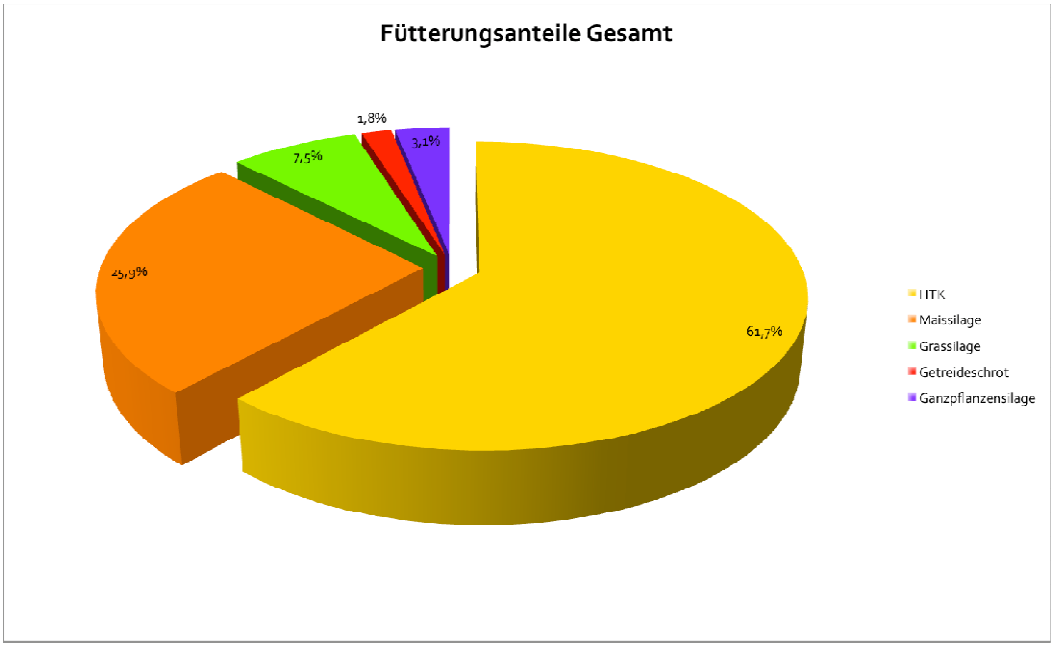


Abb. Anteil verschiedener Substrate über den gesamten Beobachtungszeitraum

Im Verlauf des Beobachtungszeitraums wurden aber durchaus auch höhere Anteile als 70% HTK eingesetzt wobei keinerlei Probleme entstanden. So wurden u.a. im Juni und Juli bis zu 75% HTK eingesetzt.
Seit Winter 2008/2009 wurde begonnen, Getreideschrot der Mischung zuzugeben.

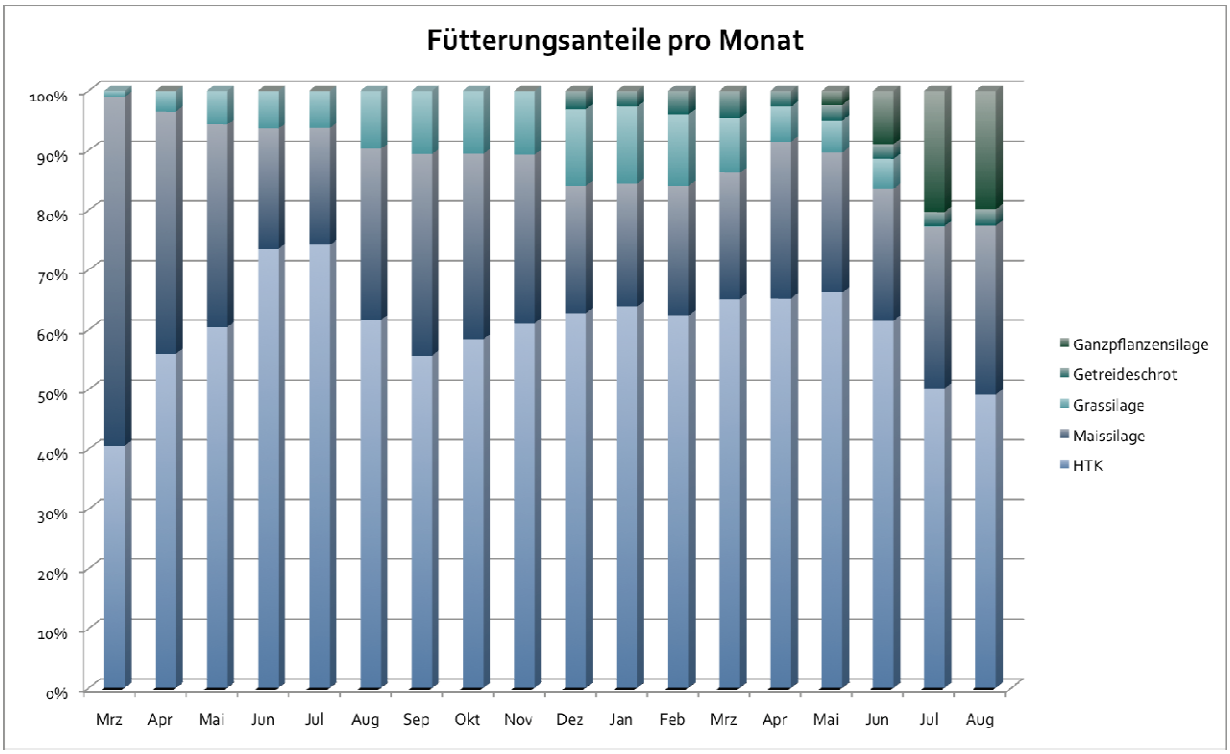


Abb. Anteil verschiedener Substrate über den gesamten Beobachtungszeitraum pro Monat

Seit Mai 2009 wurde Ganzpflanzensilage als weiteres Substrat zugefüttert. Der Wechsel zwischen unterschiedlichen Substraten ist sowohl in der Art, als auch in ihrem Mengenverhältnis möglich, unterliegt technisch aber bestimmten Grenzen. So ist ein zu hoher NaWaRo-Anteil nicht möglich, da immer ein gewisser Anteil an HTK nötig ist, um eine gute Mischqualität zu erreichen.

Zwischenergebnis Fütterung:

Die Vergärung von Hühnertrockenkot ist auch in hohen Konzentrationen möglich. Die biologische Grenze konnte auch bei höheren Anteilen nicht erreicht werden. Hinderlich waren vor allem die Störungen durch Fremdkörper, die ein Herantasten an Raumbelastungen unmöglich machten. Eine wichtige Erkenntnis der ersten 18 Monate Betrieb ist, dass eine störungsfreie Fütterung von großer Bedeutung und daher nach Möglichkeit zu gewährleisten ist - eine Tatsache, die dazu führte, dass derzeit die Einbringtechnik überdacht wird. Zahlreiche Versuche, mit Trenneinrichtungen zur Abtrennung von Störstoffen zu einer höheren Auslastung zu kommen, sind nicht von ausreichendem Erfolg gekrönt worden. Der erforderliche Abscheidegrad der Trenneinrichtung würde über 99,99% liegen müssen (in 100t HTK finden sich etwa 10 kg an Störstoffen). Zurzeit werden Versuche unternommen, durch einen zusätzlichen Futtermischwagen die Fremdkörpern, bereits vor dem eigentlichen Fütterungsprozess, abzutrennen. Erste Tests zeigen positive Ergebnisse. Beispielsweise erkennt der Fahrer größere Fremdkörper schon beim Abfräsen der Substrate und kann bei einer Beschädigung der Fräsmesser sehr schnell und einfach während der Fütterungszeit Reparaturen vornehmen. Ebenso ist eine genauere Mischung der Substrate möglich (wiegecomputergesteuert), was zu einer besseren Mischbarkeit im Dosiersystem führt. Die Probleme der Mischbarkeit mit Grassilage oder ähnlichen faserartigen Substraten werden damit weitgehend gelöst. Inwieweit erhöhte Gaserträge wegen besserer Fräskanten oder optimaler Substratbehandlung, nachweisbar sind, bedarf erst eines längeren Beobachtungszeitraums. Die Variante, getrennte Dosiersysteme je Reaktor zu planen, halten wir nicht unbedingt für besser geeignet. Dieses hätte zwar in der Anfangsphase zu mehr Flexibilität geführt und sicherlich höhere Leistungen gebracht, aber das bestehende Einbringsystem wurde durchaus so konzipiert, dass die Leistung für Volllast gewährleistet ist. Mit der Sicherstellung, dass die Fremdstoffe nicht ins Dosiersystem gelangen, ist eine Leistung von bis zu 2,5 MW erreichbar. Bei einer Optimierung der Taktzeiten auf 4.5min/Charge sind ca. 160 to Substrat bei einer täglichen Laufzeit von 22 Stunden darstellbar. Ebenfalls erkennbar ist, dass durch ausreichenden Gärraum (Hauptreaktor, LG) Leistungen von 800 kW pro Anlagenstrang erreichbar sind.

Fazit: Mit Verhinderung der Fremdstoffprobleme bzw. sonstiger Störfälle wie Stromausfälle mit Schwimmschichtbildung, Einfrieren der Fütterung etc. ist in der BGA Köthen eine elektrische Leistung von durchschnittlich 2.0 - 2.5 MW realisierbar. Als Zusatzinvestition wäre nur ein weiteres BHKW zu planen.

Zwischenergebnis Biogasreaktoren:

Bei der Planung der Biogasanlage wurde schon sehr früh über die Sedimentationsneigung bei der Vergärung von Hühnertrockenkot diskutiert. Es wurde dann bei der Realisierung an verschiedenen Stellen darauf

regiert. So wurde generell die Vermutung angestellt bzw. es existieren Erfahrungswerte, dass durch einen liegenden Fermenter ein zwangsgerührtes größeres Volumen sedimentfrei bleibt als bei konventioneller Technik. So schaffen es die beiden Haspelrührwerke, den größten Teil des nötigen Gärvolumens auch dauerhaft zu erhalten. Sandausträge in den rechteckigen Reaktoren wurden ebenso geplant wie die Räumschnecke in der Dekantervorlage. Für die runden Lagerbehälter mit Nachgärfunktion (LG) wurden ausreichende Öffnungen vorgesehen, um eine bergmännische Räumung der Behälter zu ermöglichen. So sind die Öffnungen so konzipiert, dass ein BobCat hindurchpasst. Dieser kann dann ein Förderband beschicken, welches ebenfalls durch eine hierfür geplante Öffnung passt. Dieser Fall wurde in einem Turnus von mehreren Jahren erwartet. Leider muss festgestellt werden, dass die Lagerbehälter schon nach einem Jahr bis zu 30% mit Sedimenten gefüllt sind. Das bedeutet auch, dass eine wirtschaftliche Nutzung dieser Behälter in Frage gestellt ist. Eine Räumung ist für Herbst 2009 geplant und deshalb liegen noch keine Daten über Geschwindigkeit und Kosten vor. Es werden jetzt Versuche unternommen, die Leistung der LG´s bezüglich ihrer Gasproduktion zu bestimmen. Eventuell reicht es aus, diese Gasproduktion auf die Dekantervorlage zu schieben, um sie aus dem Prozess zu nehmen. Die Dekantervorlage mit ihrer Räumschnecke kann dann die Arbeit der Sedimentsausträge in vollem Maße übernehmen. Da auch diese mit Rührwerken ausgestattet ist, kann es durchaus sein, dass das Restgaspotential über diesen Behälter auch ausgetrieben werden kann. Die Verweildauer beträgt immerhin 5 Tage. Die LG´s könnten dann eventuell als Endlager dienen, eine entsprechende Verrohrung vorausgesetzt.

Fazit: Eine wirtschaftliche Vergärung hoher HTK-Anteile mit konventioneller Biogastechnik in Form von runden Gärbehältern ohne entsprechende Rührtechnik halten wir für unmöglich. Die Sedimente verringern das nutzbare Volumen innerhalb kurzer Zeit. Hierbei entstehen immense Kosten und es kommt zu langen Ausfallzeiten. Leidvolle Erfahrungen wurden, beim zweimaligen Entleeren der Dekantervorlage aufgrund von technischen Defekten gemacht.

Abb. Sedimentbildung Dekantervorlage

Zwischenergebnis Biologie:

Der Bau der LG´s war eine Investition in eine „Biologiereserve“ hinsichtlich der biologischen Verweildauer. Diese beträgt in den LG`s rund 30 Tage. Aufgrund unzureichender Erfahrungswerte bei der Vergärung von hohen Mistanteilen wurde nicht am Gärraumvolumen gespart.

Im Allgemeinen kann, anders als vermutet, davon ausgegangen werden, dass ein HTK-Anteil von 70% und darüber hinaus von Seiten der Biologie her beherrschbar bleibt. Wird der Stickstoffanteil mit Prozesswasser kontrolliert gehalten, so lässt sich hervorragend Gas produzieren. Das erscheint aus den Erfahrungen der letzten 18 Monate leichter als bei einer reinen NaWaRo-Anlage. So konnten extreme Futtermengenänderungen leicht beherrscht werden. Die Bakterienstämme reagierten sehr gelassen auf diese Umstände. Aussagen wie die Anlage „hängt am Gas wie ein Ferrari „ zeigen die positive biologische Seite der Vergärung. So reagiert die Gasproduktion auch sehr schnell auf sich ändernde Fütterungsmengen – sie lässt schnell nach und fängt sich aber ebenso rasch. Neben der Gasproduktion zeigten sich aber auch keine anderen Probleme. Keine Hemmungen durch überproportionale Säurebildung, keine Hemmung durch Ammoniak oder andere Parameter. Ein Phänomen, das in den letzten Monaten verstärkt aufgetreten ist, ist das Absinken der Methanwerte nach einer längeren Fütterungspause. Dieser Umstand war bei einer höheren HTK-Fütterung nicht so stark erkennbar.

Fazit: Die Biologie bei hohen Hühnertrockenkotmengen erscheint über den Beobachtungszeitraum unkritisch. Bei welchen Einsatzraten Probleme auftauchen, z.B. TS-Gehalte, Ammoniakgehalte etc. lassen sich erst in Zukunft besser abschätzten, wenn ausreichende Erfahrungen vorliegen. Hierfür war der Messzeitraum zu kurz.

Zwischenergebnis Wasseraufbereitung:

Ähnlich wie bei der Beurteilung der Biologie erscheint der Zeitraum für Aussagen bezüglich der Wirkungsweise der Wasseraufbereitung zu kurz. Zum einen war die Wasseraufbereitung als der letzte Inbetriebnahmekandidat erst Monate später ins Rennen gegangen, zum anderen haben technische Probleme auch zu nicht vollständigen Leistungserkenntnissen geführt. Es kann kaum etwas darüber gesagt werden, wie sich Veränderungen der Fütterungszusammensetzung im Zeitverlauf darstellen, da sich ein stabiler Anlagezustand erst vor etwa einem halben Jahr eingestellt hat. Somit sind Vergleiche der Leistung bei unterschiedlichen Fütterungen noch nicht möglich. Über die Probleme, die sich im Zusammenhang mit der Wasseraufbereitung ergeben haben, ist im vorderen Teil des Berichtes bereits eingegangen worden. Um die Gesamtleistung weiter zu verbessern, bedarf es weiterer Forschungsarbeit.

Fazit: Kernproblem ist die Notwendigkeit des UF Vorlagebehälters. Könnte man aufgrund des Einsatzes einer Scheiben-UF – welche ohne Vorlagebehälter auskommen kann – die Abtrennung der Feststoffe vor der UO optimieren, hätte man den Quantensprung hinsichtlich Gärrestaufbereitung und somit auch der Geflügelkotvergärung in Ballungsräumen geschafft.

3.3 Stoff- und Energiebilanz (Input- und Outputrelation)

Bei der BHKW Inbetriebnahme im Dezember 2007 wurden ca. 4000 cbm Schweinegülle als Impfgülle eingebracht. Die Fütterung der Reaktoren erfolgte im Februar mit Testchargen. Die eigentliche Fütterung begann jedoch erst Anfang März, da die Inbetriebnahme der MSR im Zeitraum Januar bis Februar erfolgte.

Während der gesamten Laufzeit von März 2008 bis August 2009 wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Futtermengen den Fermentern zugeführt. Die Mengenangaben t/a beziehen sich auf den Zeitraum von März 08 August 09, liegen aber in etwa bei einer Jahresmenge bei Volllast und sind somit auch als Jahreswerte vergleichbar.

Tabelle 1. Fütterungsmengen Input

TS	oTS	Input	Anteil	
49%	75%	27.387 t/a	55,4%	Hühnerkot, Trockengut, ohne Stroh
35%	96%	11.796 t/a	23,8%	Maissilage, Wachsreif, Körnerreich
25%	90%	3.399 t/a	6,9%	Gras, Silage
87%	97%	796 t/a	1,6%	Gerste Körner vierzeilig
40%	94%	1.429 t/a	2,9%	GPS Getreide mittl. Kornanteil
6%	85%	4.000 t/a	8,1%	Schweinegülle (Impfgülle)
50%	0%	660 t/a	1,3%	Eisenhydroxid (Ferrosorp)
		49.467 t/a	**100%**	**Fütterung Gesamt**

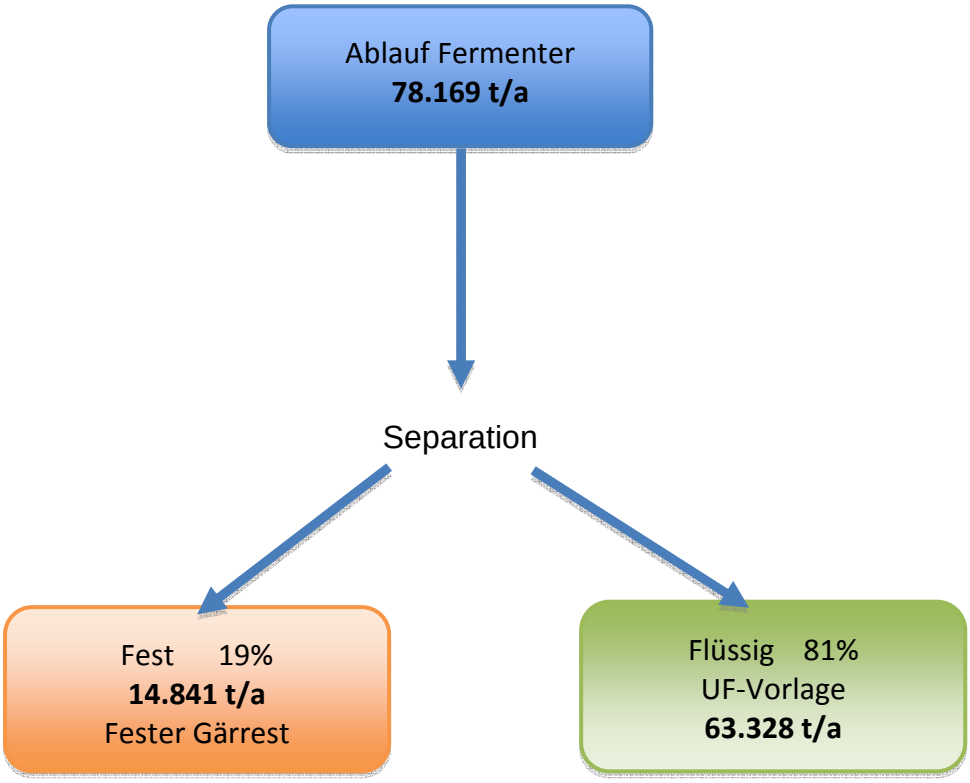
Tabelle 2. Bilanz Fermenterzulauf - Fermenterablauf

Mengen		
49.467 t/a	47%	Fütterung Gesamt
55.551 t/a	53%	Prozesswasser
105.018 t/a	100%	**Fermenterzulauf Gesamt**
16.350 t/a	16%	Bestandmengen Ende August
10.499 t/a	10%	Umsetzung zu Biogas
78.169 t/a	**74%**	**Fermenterablauf**

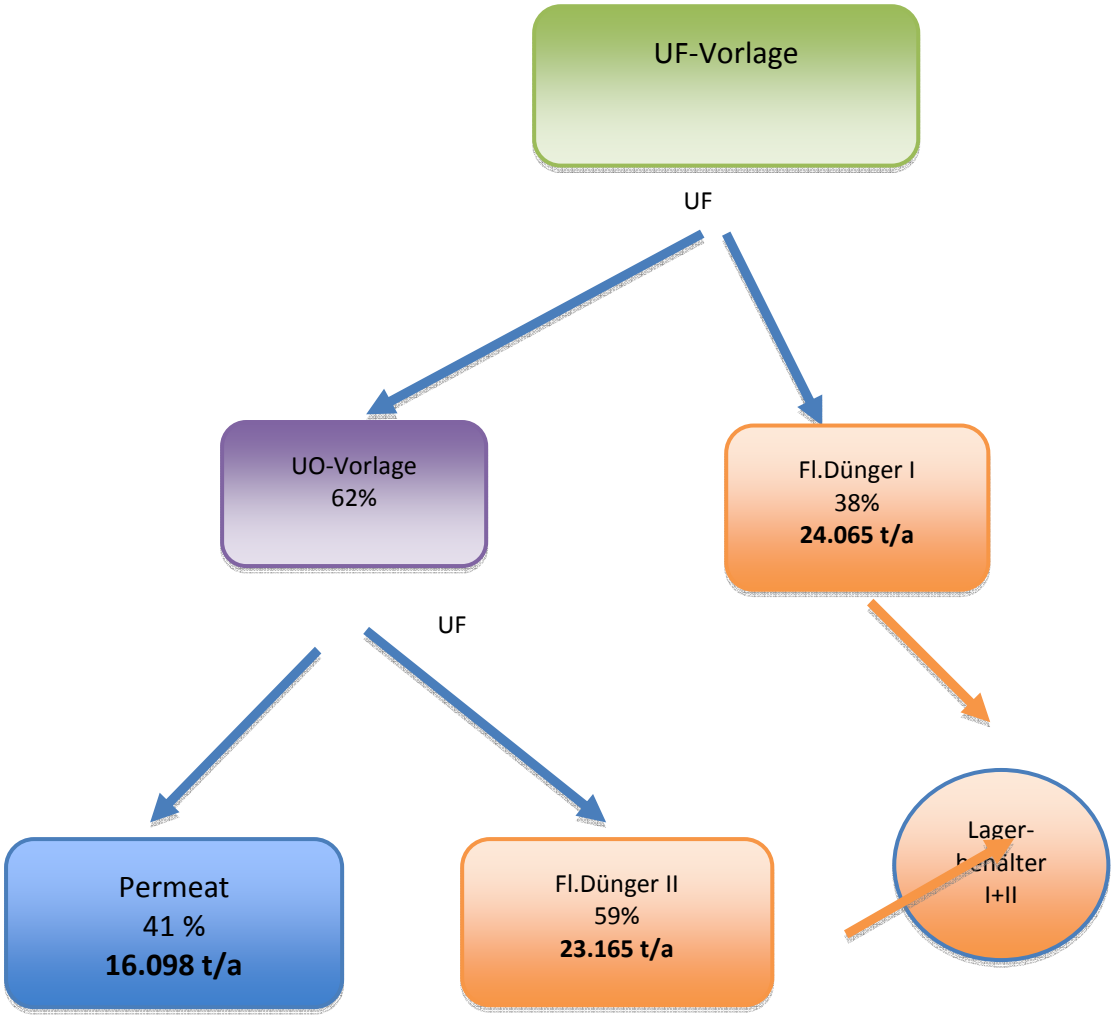
Mit den Kugelventilpumpen in den Pumpenräumen wird von allen Fermentersträngen in die Dekantervorlage abgeleitet. Die beiden Dekanter trennen anschließend das Material in eine feste und eine flüssige Phase.

Der Anteil der festen Phase liegt bei ca. 19%, so dass sich für die gesamte Inputmenge eine Menge an 14.841 to festes Gärsubstrat ergibt. Diese Menge wurde über die Fuhrwerkswaage gewogen und ausgebracht.

Abb. Aufteilung Fermenterablauf (Zulauf Dekantervorlage)



Die Leistung der UF liegt unter den geplanten 100%-Grenze, sie erreichte Spitzenwerte von nur 62%. Das liegt vor allem an der Tatsache, dass in der Separationsstufe Dekanter eine ausreichende Abscheidung der TS nicht möglich ist. So liegt der Trockensubstanzanteil nach der Separation bei ca. 5-6% und nicht wie der geforderte Wert < 1,5% TS Eingang Ultrafiltration. Dieses reduziert zum einen die Leistung der UF, zum anderen sind TS-Rückstände in der UF-Vorlage vorhanden, die ein Aufkummulieren der Trockensubstanz zur Folge haben und einen kontinuierlichen Betrieb verhindern. So muss abhängig von der im Zeitverlauf sinkenden Leistung der UF, die UF-Vorlage geleert werden.



Die Umkehrosmose hat derzeit im Mittel eine Leistung von 41%. Die Leistung liegt hier auch etwas unter den gewünschten Werten von 55%, lässt sich aber mit Verfahrensoptimierung annähernd auf die nötige Anlagenleistung bringen. Hier sind vor allem unnötige Stillstandszeiten ein Leistungshindernis.

So ergibt sich als Gesamtbilanz folgende Tabelle. Aus den dem Biogasprozess zugeführten Mengen entstehen folgende Produkte: Gas (10.499 t/a), ein fester Dünger (14.841 t/a), flüssiger Dünger (47.230 t/a) sowie ca. 16.098 t/a Permeat als Rückführung in den Prozess. Der Rest der Menge ist der Bestand in den Behältern zum Stichtag.

Tabelle 3 : Aufteilung Fermenterzulauf

Mengen		
10.499 t/a	Gasabbau	10%
14.841 t/a	Fester Gärrest p.a.	14%
16.098 t/a	Permeat	15%
23.165 t/a	Dünger I	22%
24.065 t/a	UF Ablauf Dünger II	23%
16.350 t/a	Bestand	15,6%
105.018 t/a	**Gesamt**	**100%**

4. Empfehlungen und Zukunftsaussichten

Im Folgenden werden Empfehlungen ausgesprochen und Zukunftsaussichten aufgezeigt, die sich beispielsweise im Bau einer weiteren Biogasanlage in Neubukow wieder finden könnten.
Einen Teil der Veränderungen für die zukünftige Entwicklung der Biogasanlage in Köthen bringt schon die Änderung des EEG am 01.01.09 mit sich. Das doch sehr investive und riskante Projekt war deshalb in Angriff genommen worden, weil u.a. einer großer Teil der Standardrisiken beherrschbar schienen. So war es kein Risiko auf der Futterseite, der Ausbringungsseite Substrat sowie auf Seiten der Wärmenutzung. All diese Dinge waren im Firmenverbund zu Marktpreisen keine Risiken. Trotzdem hätte es mit der alten Vergütung aufgrund der schwierigeren Vollasterreichung zu finanziellen Engpässen kommen können. Die Erhöhung der Vergütungssätze, wie im folgenden beschrieben, ermöglichen es jedoch auch diese Probleme wirtschaftlich erfolgreich zu meistern.

4.1 EEG 2009

Das EEG 2009 hat nicht nur die Vergütungsregelungen für Strom aus Biogasanlagen erheblich verändert. Auch die generellen Änderungen, besonders, wie der Begriff der Anlage definiert wird, wirken sich deutlich auf die Planung, Errichtung und auch auf eine mögliche Erweiterung bzw. Modifizierung der Biogasanlage aus. So gibt es bei Vorliegen der jeweiligen Voraussetzungen, EEG-Zuschläge für NaWaRo-betriebene Anlagen, für Anlagen, die mindestens 30 Masseprozent Wirtschaftsdünger einsetzen (Gülle-Bonus), einen 1

Ct Zuschlag für den KWK-Bonus, sowie den neu eingeführten Luftreinhaltungs-Bonus (auch Formaldehyd-Bonus genannt).

4.1.1 NaWaRo–Bonus

Die Einzelheiten zum NaWaRo-Bonus sind im Wesentlichen mit den Vorgaben des EEG 2004 identisch. Neu ist, dass nunmehr jede NaWaRo-Anlage ein Einsatzstofftagebuch führen muss. Neu hinzugekommen ist die so genante Positivliste der rein pflanzlichen Nebenprodukte. Diese Liste beinhaltet Nebenprodukte, die nicht unter den Begriff der NaWaRos fallen, wie z.B. aussortierte Kartoffeln oder Gemüseabputz. Der Einsatz derartiger Stoffe hätte nach bisherigem Recht zum endgültigen Entfall des NaWaRo-Bonus geführt. Nach dem neuen EEG dürfen die in der Liste aufgeführten Stoffe künftig eingesetzt werden. Der in diesen Anlagen erzeugte Strom enthält dann die gesamte EEG-Vergütung, mit Ausnahme des NaWaRo-Bonus. Der NaWaRo-Bonus wird nur für den tatsächlich aus NaWaRos erzeugten Strom gezahlt. Der aus Nebenprodukten erzeugte Strom wird von der gesamten Strommenge abgezogen. Zum Nachweis über die entsprechenden Mengen muss ein Einsatzstofftagebuch geführt werden.
Bei der Biogasanlage Köthen stellt sich aufgrund des Hühnertrockenkotverfahrens nicht die Frage nach dem Einsatz von Nebenprodukten, denn die Anlage wird auch weiter mit 100% NaWaRos betrieben und erhält somit auch den 100%igen NaWaro-Bonus Zuschlag.

4.1.2 Gülle-Bonus

Der neu eingeführte Gülle-Bonus ist Teil des NaWaRo-Bonus und erhöht diesen bis zu einer Anlagenleistung von 150 kW um 4 Ct/kWh. Bis zu einer Anlagenleistung von 500 kW sind es 1 Ct/kWh zusätzlich. Dieser extra Cent steht aufgrund der Erfüllung aller Voraussetzungen auch der Biogasanlage Köthen zu. Die näheren Details und Voraussetzungen sind **dem Gutachten zum Gülle-Bonus** zu entnehmen, dass sich als Anlage 8 im Anhang befindet.

4.1.3 KWK-Bonus

Das EEG 2009 sieht eine Anhebung des KWK-Bonus auf 3 Ct/kWh vor. Voraussetzung für diesen Bonus ist zunächst eine zeitgleiche Nutzung von Strom und Wärme im Sinne des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG).
Darüber hinaus muss entweder eine Wärmenutzung im Sinne der eingeführten Positivliste vorliegen, oder aber, wenn dies nicht der Fall ist, darf zumindest kein Fall der Negativliste gegeben sein. Ein Gutachten ist

derzeit in Bearbeitung. Aufgrund des ausgeklügelten Nahwärmenetzes und der optimalen Wärmenutzung wird davon ausgegangen, dass der KWK Bonus vollumfänglich erstattet werden kann.

4.1.4 Formaldehydbonus

Ebenfalls neu eingeführt wurde der so genannte Luftreinhaltungsbonus. Sofern die Biogasanlage eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung benötigt, erhält sie 1 Ct/kWh bis zu einer Anlagenleistung von 500 kW, wenn im Motorabgas eine Konzentration von 40 mg/m^3 Formaldehyd eingehalten wird..
Sofern der Wert von 40 mg eingehalten wird erhält der Betreiber den Bonus, wenn die Einhaltung durch ein entsprechendes Gutachten nachgewiesen wird.
Das Ziel der Biogasanlage Köthen ist es ebenfalls die neuen Forderungen des EEG 2009 umzusetzen um so auch den neuen Bonus zu erhalten. In diesem Zusammenhang wurde die Anlage um einige Bestandteile erweitert (siehe Aktivkohlefilter Punkt 2.2.6.3).
Da die Einhaltung des Formaldehydwertes nicht unwesentlich von den Inputstoffen im Biogas abhängig ist, sollte eine Gasreinigung vor der Kühlung und nach dem Fermenter installiert werden. Die Gasreinigung mit anschließender Kühlung und Erwärmung durch den Verdichter dient zur Minderung der Katalysatorgifte, die sich auf die Standzeit des im Abgasstrom eingesetzten Katalysators auswirken.

4.2 Optimierung Wasseraufbereitung

Eine wesentliche Aufgabe für den weiteren Betrieb der Anlage stellt die Optimierung der Wasseraufbereitung dar. Bis jetzt wurden, wie im Bericht erwähnt, eine Reihe von Versuchen unternommen, die Leistung der UF zu verbessern. Da sich hierbei noch keine technische bzw. wirtschaftliche Lösung abzeichnete, wird auch mit alternativen Lösungen geplant. Es laufen zur Zeit einige Versuche im Bereich der Ammoniakstrippung u.a. an der TAFH Münster bei Prof. Dr.-Ing. Wetter und bei der SSM – Technologie (Anlage 2 und 5).
Hier zeigt sich deutlich, dass es noch einigen Aufwand an Forschung und Entwicklung bedarf. Hier sehen wir aber doch erheblich Vorteile gegenüber Anlagen im Planungsstadium. Wir können Verfahren direkt im Volumenstrom testen oder ausreichende und aussagekräftige Mengen zur Verfügung stellen. Es werden derzeit aber auch Möglichkeiten geprüft, die Leistungen der Wasseraufbereitung durch Verfahrensänderungen zu verbessern. So sollen bestimmten Verfahrensschritten höhere Verweildauern zugedacht werden, um Absetzneigungen zu nutzen. Aber wie schon erwähnt ist der Beobachtungszeitraum, speziell für die Fragen der Leistung und Qualität der Wasseraufbreitung, viel zu kurz. Hier ist eher ein Langzeitprojekt erfolgversprechender. Es ist für uns ein wesentliches Interesse, Antworten zu den noch

offenen Fragen zu finden, da wir im Firmenverbund weiterhin großes Interesse an Hühnertrockenkotvergärung haben.

4.3 Allgemeine Empfehlungen

Abschließend kann man folgende wesentliche Erkenntnisse aus dem Projekt Biogasanlage Köthen ableiten. Es ist technisch und wirtschaftlich möglich, eine Anlage mit bis zu 70% HTK zu betreiben. Wie weit dieser Anteil noch gesteigert werden kann, muss zu einem späteren Zeitpunkt beantwortet werden. Die 74% im Jahr 2008 zeigen, dass der Anteil durchaus noch erhöht werden kann.

Die Biologie scheint wider Erwarten keine Probleme zu machen. Diese zeigt sich relativ robust, auch bei extremen Fütterungsveränderungen. Erste Erkenntnisse, dass bei einer Temperatur von 42°C die besten Gaserträge zu erwarten sind, wurden gewonnen. Bezüglich der erhöhten Schwefelwasserstoffwerte, die bei dieser Art der Vergärung im Fermenter entstehen, muss erwähnt werden, dass man das Augenmerk auf eine gute Entschwefelung legen sollte. Dass in diesem Projekt durch die Reduzierung auf einen gemeinsamen Gasspeicher, die Gesamtentschwefelungsfläche kleiner als bei manch anderer NaWaRo-Anlage konzipiert wurde, schlägt sich etwas nachteilig auf den erhöhten FerroSorp-Anteil nieder. Als Empfehlung würden wir eine externe Entschwefelung von Beginn an vorsehen. In der BGA Köthen wird als zukünftige Option schon damit gerechnet.

Als eines der Kernprobleme bei der Vergärung von HTK haben sich die „unerwünschten“ Dinge wie Fremdstoffe im Mist bzw. dessen Sedimente erwiesen. Diese waren zwar vor Projektbeginn und in der Planungsphase bekannt, wurden aber eher unterschätzt. Man hat, und das war unseres Erachtens richtig, mehr Geld in verschiedene Anlagenkomponenten gesteckt, um diesen „Unbekannten“ entgegenzutreten. Es gab noch keine Standardanlage für die HTK-Vergärung. Deshalb musste man eher mehr Reserven einbauen, um am Ende nicht konzeptionell zu scheitern. Reserven sind z.B. die drei LG´s, die Putzmeisterpumpen, die Panzerung der Dekanter usw.

Es war konzeptionell auch richtig, die Anlage nicht in Form einer großen GU-Ausschreibung zu vergeben. So konnte man die wesentlichen Komponenten frei am Markt ohne Bindung an bestimmte Hersteller anfragen. Sicherheiten in Form von zugesicherten Leistungsdaten sind bei unbekannten Zustandsparametern in der Praxis so oder so nur schwer durchzusetzen.

Eine grundlegende Empfehlung für HTK-Anlagen muss die Vermeidung der Fremdstoffeinträge in den Anlagenbereich sein. Der angelieferte Mist ist aufgrund der Haltungsform Bodenhaltung nicht ohne Fremdstoffbesatz zu bekommen. So wird es bei allen mechanischen Einbringtechniken wie Fräswalzen, Förderschnecken oder Pumpen früher oder später zu Problemen kommen, die in Stillstandszeiten oder höherem Verschleiß enden. Eine möglich Lösung, die wir für die Anlage in Köthen sehen, ist das Verlagern des Problems vor den eigentlichen Einbringungsprozess. Die Möglichkeit, mit einem Futtermischwagen eine sogenannte „Sollbruchstelle“ vorzuhalten, ermöglicht es schon vor der Fütterung zu erkennen, dass Fremdstoffe im Substrat sind. Diese können dann auch leichter außerhalb des Prozesses entfernt und die Fräsmesser, falls beschädigt, ersetzt werden. Kleinere Fremdstoffe wie Holzstücke, Plastik, Eisen usw.

müssen auf den weiteren Förderwegen aber nach wie vor beachtet werden. So kann man auf einen leistungsstarken Elektromagneten nicht verzichten. Es ist ja auch möglich, dass Teile der Technik sich lösen und den weiteren Prozess behindern können. Holzstücke und Kunststoff lassen sich im weiteren Verlauf durch die Einbindung von Roto-Cuts gut beherrschen.

Bei den Sedimenten kann man festhalten, dass bei konventioneller Rühr- und Behältertechnik schnell ein Problem entsteht, dass das Gärvolumen rasch abnimmt und immense Kosten zur Bergung entstehen. Diese gefährden eine wirtschaftliche Vergärung. Durch die liegenden Fermenter mit großen Haspelrührwerken bleibt der größte Teil des Fermentervolumens dauerhaft erhalten und die Sedimente werden „weitergereicht“. Ein definierter Bereich sollte den Großteil der Sedimentabscheidung übernehmen. In unserem Fall ist dies die Dekantervorlage mit Räumschnecke. Ebenso muss bei allen technischen Komponenten die abrassive Wirkung der Sedimente mit bedacht werden.

Eine weitere Empfehlung für das Betreiben solcher Anlagen ist eine weit in die Zukunft gerichtete Fütterungsplanung. Die Ausstallungstermine, vor allem in der Eltern-, bzw. Großelterntierhaltung, sind nicht immer identisch. So können die Anteile der monatlichen Mistlieferung sowohl in Menge als auch Qualität stark schwanken. Zu große Puffer mit Energieverlusten bei der Lagerung sind suboptimal. Besser erscheint es, durch Rezeptanpassung diese Lücken abzufedern oder mit „hochkonzentriertem“ Getreideschrot zu ergänzen.

Fazit: Der eingeschlagene Weg, Hühnertrockenkot in hohen Prozentanteilen zu vergären, ist Erfolg versprechend. Er ist aus Umweltsicht sinnvoll. Gerade in der Diskussion „Teller oder Tank“, die wir auch in Zukunft wieder führen werden. Die Rohstoffpreise sind nur dank zwei außerordentlich guter weltweiter Ernten und der nicht für möglich gehaltenen Weltwirtschaftskrise wieder auf die alten Preisniveaus gefallen. Die Zukunft verspricht wieder stark steigende Preise – die Ölpreise klettern bereits.

Leider ist ein höherer finanzieller Aufwand nötig, da der Mist mehr Ansprüche an die Technik, bzw. an das Verfahren stellt. Dieser Mehraufwand wurde bei diesem Projekt teilweise durch den Technologiebonus aufgefangen. Um zukünftige Anlagenkonzepte ohne diesen Extrabonus wirtschaftlich auf Erfolgskurs zu bringen, bedarf es weiterer Optimierungsschritte. Dies gilt in erster Linie für die Gärrestaufbereitung. Kleine bis mittlere Anlagen (250kW – 600kW) können heute schon in der Synergie – Geflügelproduktion – Landwirtschaft – erfolgreich produzieren. Sie nutzten den HTK in Anteilen von 30%-50% zu ihren Substraten aus der Landwirtschaft, heizen ihre Ställe und düngen ihre Felder mit den Gärresten. Eine Separation in flüssige und feste Phasen versteht sich von selbst. Da aber ein sehr großer Teil der Geflügelproduktion einen industriellen Charakter besitzt, gilt es Lösungen für diese weltweit auftretenden Strukturen zu entwickeln.

Erste Schritte und Empfehlungen haben wir mit dem Projekt BGA Köthen erreicht und dargelegt. Weitere Lösungsansätze werden wir auch in Zukunft verfolgen und optimieren. Die Erkenntnisse aus diesem Projekt ermutigen uns, weitere Schritte zu gehen. Wir beginnen gerade mit der Planung eines weiteren Projektes, den Bau einer BGA in Mecklenburg-Vorpommern. Hier sollen ebenfalls HTK in überwiegenden Anteilen vergärt und die Wirtschaftlichkeit einer Geflügelmast durch die Senkung der Heizkosten optimiert werden.

5. Anhang und Anlagen

Bericht TENIRS zur Kalibration von Proben der BGA Köthen

Kalibrierung der Messsysteme über Schätzmodelle

Zur Kalibrierung der Messsysteme müssen geeignete Proben entnommen werden. Dabei ist folgender Ablauf zu beachten.

Der Ablauf der Probename:

In unmittelbarer Nachbarschaft zum Messkopf der Messstelle Fütterung ist ein 2-Zoll-Hahn zur Entnahme der Referenzproben montiert. Die Probenahme läuft dort nach folgendem Schema ab:

- Start der Probenahme über die Bedienoberfläche des Touchscreens:
  - ➔ Einscannen der Probennummer
  - ➔ Beginn des Zeitstempels, ab diesem Zeitpunkt werden die Spektren der Referenzprobe zugeordnet
- Entnahme von Probenmaterial am Probentnahmehahn
  - ➔ Verwerfen des Vorlaufs (ca. 10 l), Totvolumen der Probentnahmearmatur
  - ➔ Sammeln der Referenzprobe in einem Vorlagegefäß (30 l), Homogenisieren und Abfüllen einer repräsentativen 1 l Probe für die Laboranalyse.
- Speichern der Probe über die Bedienoberfläche des Touchmonitors:
  - ➔ Ende des Zeitstempels
  - ➔ Alle Spektren, die zwischen Start und Speichern liegen, werden der zugehörigen Probennummer zugeordnet.
- Tiefgefrieren der Probe und Lagerung bei -18°C, bis zum gefrorenen Versandt in das Untersuchungslabor.

Für die Erstellung und Validierung der einzelnen Kalibrierungen müssen regelmäßig Referenzproben gezogen und analysiert werden. Die Probenahme erfolgt in Absprache mit dem Betriebsleiter der Anlage. Die Errechnung der Schätzmodelle erfolgt auf Grundlage der auf der Anlage gezogenen Proben, in Ergänzung mit Proben aus der TENIRS-Datenbank - soweit hinreichend Ähnlichkeit in den Substraten und Spektren vorliegen.

Als statistische Rechenmethode werden bei TENIRS die Support Vector Machines (SVM) eingesetzt. Die Validierung der Modelle erfolgt als Leave-One-Out (Loo) und durch Abgleich mit Zeitreihen (Plausibilität in

den Verläufen).

Mit dem bisherigen noch recht geringen Probenumfang konnten erste Kalibrationen erstellt werden. Für weitere Kalibrierungen und die Modellvalidierung/-pflege sind zwingend zusätzliche Proben und Referenzanalysen erforderlich.

Ablauf der Schätzer Messstelle Fütterung:

- ➔ Mit ergänzenden Referenzdaten aus der TENIRS-Datenbank werden und wurden Schätzmodelle für die eingangs definierten Parameter erstellt. Die auf den bisherigen Proben beruhenden Online-Schätzer wurden erstmalig zum 28.09.08 in Betrieb genommen und zum 08.10.08 freigeschaltet, d.h. die aktuellen Werte werden lokal unter dem Menü: Estimators angezeigt.
- ➔ Eine Anpassung der Modelle wurde unter Einbeziehung der Proben ab Oktober 08 vorgenommen und ab dem 06.05.09 freigeschaltet.
- ➔ Online-Schätzdaten werden automatisiert an das Prozessleitsystem übergeben. Die Weiterverarbeitung der Rohdaten und Umsetzung in die Prozesssteuerung erfolgt auf Basis des vereinbarten Datenformates und Austauschprotokolls durch die Fa. Awite.

Ablauf der Messstelle Offline:

- ➔ Bislang liegen für die einzelnen Fermenter, die Rohsubstrate und für Gärrest (fest und flüssig) noch nicht ausreichend verwertbare Proben vor, um hier hinreichend zuverlässige online-Schätzer freizuschalten. Die Probenahme und Offline-Vermessung der Proben dauert derzeit noch an.

Übersicht Referenzproben/Analyseparameter „Fütterung“

An Messstelle Fütterung wurden seit der Installation des TENIRS-Messsystems insgesamt 21 Proben gezogen, eine Übersicht ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht Referenzproben und Parameter an der Messstelle Fütterung

id	sampletime	ots	ts	stickstoff	ammonium	schwefel	Kommentar
		- [%] -					
71600	24.04.08	16,0	23,2		0,22		
71610	06.05.08	15,6	24,7	0,52	0,27	0,15	
71613	06.05.08	18,6	22,0	0,28	0,16	0,08	
71612	06.05.08	10,8	16,7	0,34	0,21	0,11	
71611	06.05.08	14,5	22,7	0,48	0,28	0,15	
71617	11.05.08	16,4	24,3	0,29	0,72		
71618	17.05.08	18,3	25,6	0,22	0,69		
71619	20.05.08	12,2	21,1	0,88	0,36		
71623	09.06.08	17,6	27,7	0,79	0,28	0,19	
71709	18.08.08	17,2	26,2	0,64	0,22	0,14	offline vermessen
71699	28.08.08	13,6	20,9	0,66	0,16	0,13	
71698	28.08.08	11,3	17,9	0,59	0,15	0,12	
71654	08.09.08						nicht verschickt
71630	23.09.08	14,9	19,9	0,64	0,19	0,11	
71637	11.11.08	17,9	26,6	0,88	0,15	0,12	
71638	12.02.09	10,2	15,0	0,55	0,16	0,10	
71640	24.02.09						nicht verschickt
71641	25.02.09	15,1	25,0	0,70	0,18	0,13	
71642	02.03.09	15,7	23,8	0,67	0,18	0,11	
71643	09.03.09	13,9	23,5	0,70	0,17	0,13	
71646	17.03.09	16,8	26,2	0,68	0,18	0,12	

Davon wurden 20 Proben zur Referenzanalyse ins Labor verschickt. Eine Probe wurde lediglich offline vermessen und nicht als Online-Probe abgespeichert, d.h. sie ist in den Modellen nicht verwertbar.

Von den verbliebenen 18 Proben konnten lediglich 10 in den Modellen eingesetzt werden. Die restlichen 8 Proben mussten als Ausreißer deklariert werden. Es liegt die Vermutung nahe, dass es sich bei den Ausreißern überwiegend um Probentnahmefehler handelt. Diese können durch mehrere Ursachen bedingt sein:

- Der Vorlauf nach Öffnen des Probentnahmehahns wird nicht verworfen.
- Der Probentnahmehahn wird nicht vollständig geöffnet, so dass eine Separierung des Probenmaterials am Hahn erfolgt. Bei geringer Öffnung tritt bereits vermehrt die flüssige Phase des gepumpten Materials aus und nur in geringerem Umfang die festen Partikel.
- Unrepräsentative Entnahme der 1 l Probe aus dem Vorlagenbehälter.
- Start und Speichern der Probe im System zu anderen Zeitpunkten als die Entnahme der Probe. Dies führt zu falschen Zuordnungen von Spektren zu Referenzproben.

Kalibrierung

Für die Parameter TS, OTS, Ammonium-N, N und S wurden Schätzmodelle erstellt. Ergänzend zu den 10 verwertbaren Proben aus der Anlage in Baasdorf wurden jeweils vom Substrattyp passende Proben aus der TENIRS Datenbank hinzugezogen. Hierbei wurde versucht den Messbereich zu erweitern sowie eine

gleichmäßige Verteilung der Probenparameter über den Messbereich zu erreichen. Dies war nicht immer in hinreichender Güte möglich (siehe Modellplots).

Eine Übersicht der an der Messstelle Fütterung erstellten aktuellen Modelle ist nachfolgend in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der Eigenschaften der Schätzmodelle

Parameter [% der FM]	n	r	RMSEC	RMSEP	Mittelwert (Baasd.)	Spannweite (Baasd.)	Spannweite (Modell)
TS	26	0,99	0,51	0,92	22,79	12,7	18,19
OTS	27	0,96	0,28	0,71	15,08	8,4	9,05
Ammonium-N	61	0,97	0,02	0,02	0,26	0,57	0,46
Stickstoff	50	0,97	0,03	0,06	0,58	0,66	0,75
Schwefel	39	0,97	0,01	0,01	0,13	0,11	0,11

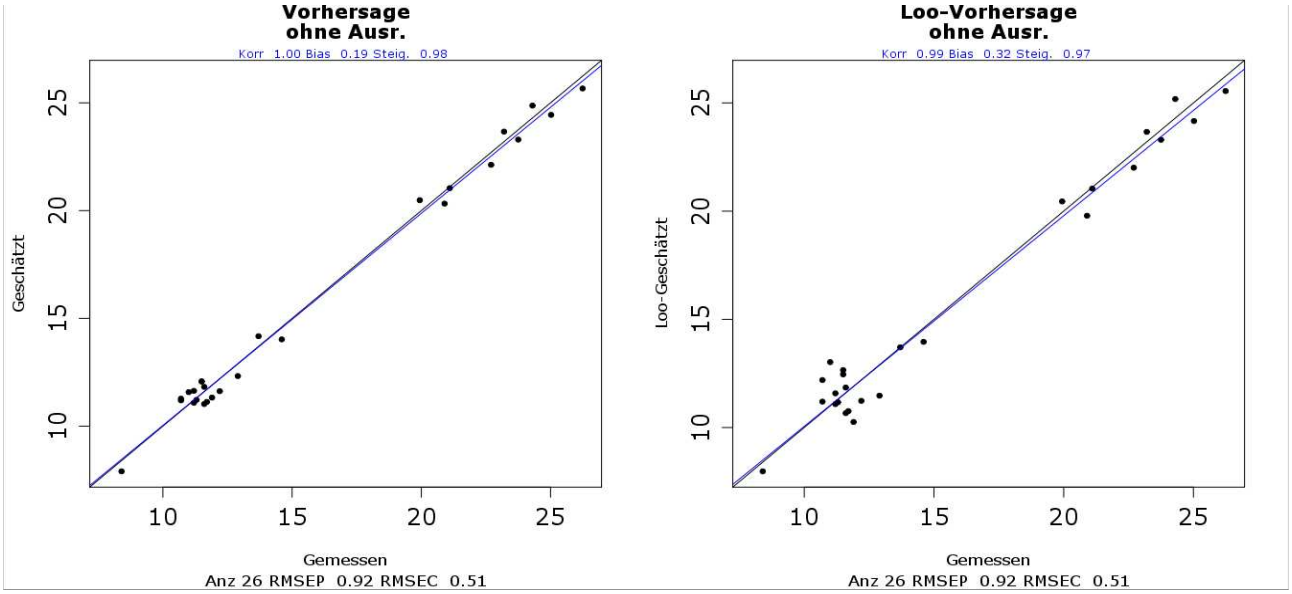
Die nachfolgenden Abbildungen zu den Modellen der unterschiedlichen Messparameter folgen alle dem gleichen Schema. Erläuterung der Modellplots:

- Plot links: Modell, Plot rechts: Leave-One-Out-Validierung (Loo-Vorhersage) -das bedeutet, dass bei einem Datensatz von n Proben ein Modell mit dem Probenumfang von n – 1 erstellt wird und auf die ausgelassene Probe angewandt wird. Die

Validation ist abgeschlossen, wenn das Modell auf jede Probe einmal angewendet wurde

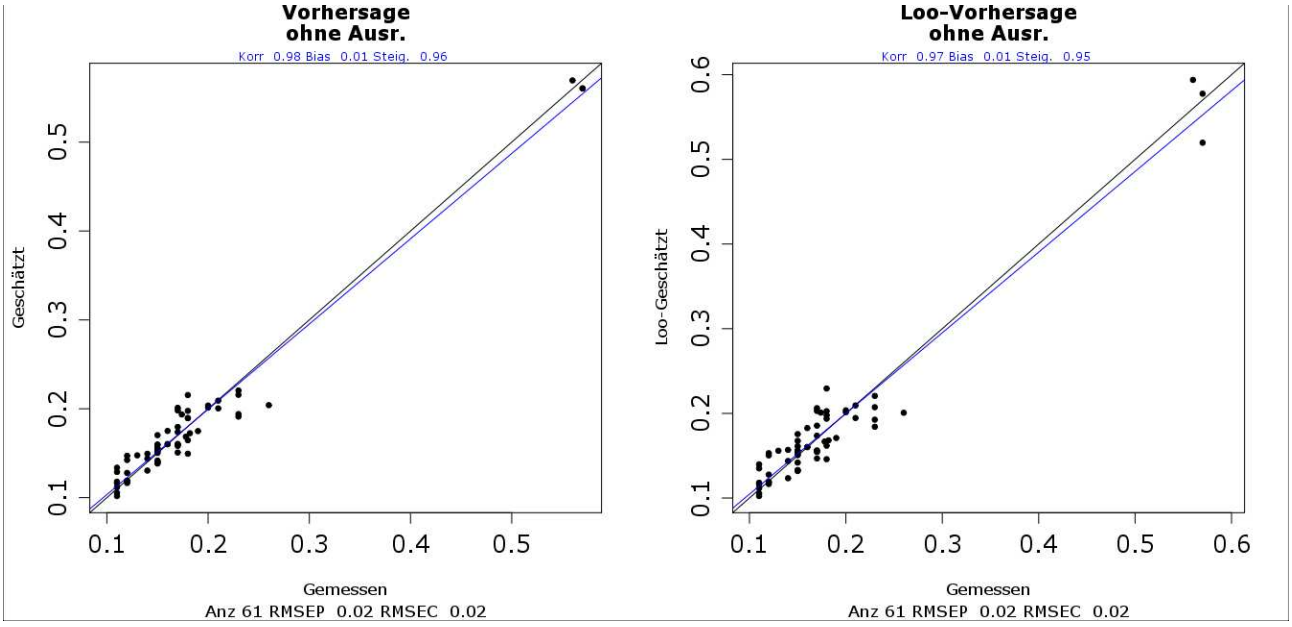
- Achsen: y NIRS-Schätzwert, x im Labor ermittelter Wert
- RMSEC (root mean square error of calibration).- Fehler des Modells in der Einheit des Messparameters (i.d.R. in % der Frischmasse)
- RMSEP (root mean square error of prediction) – Fehler der Vorhersage in der Einheit des Messparameters (i. d. R. in % der Frischmasse)

Trockensubstanz (TS)

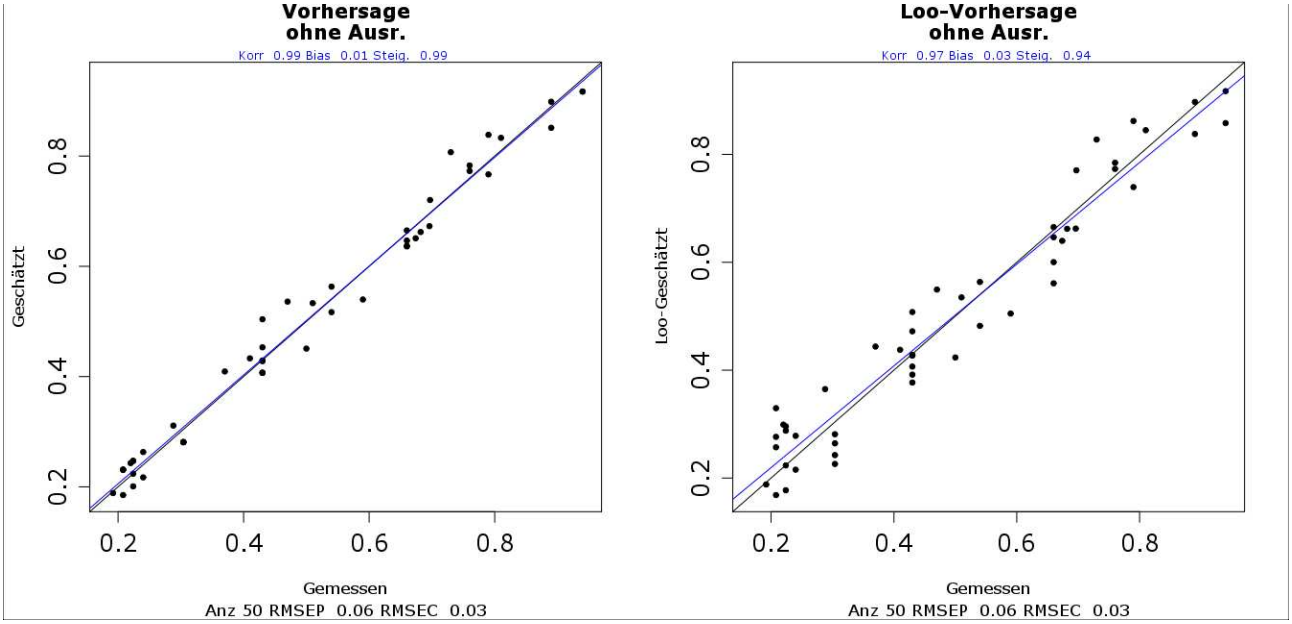


Organische Trockensubstanz (OTS)

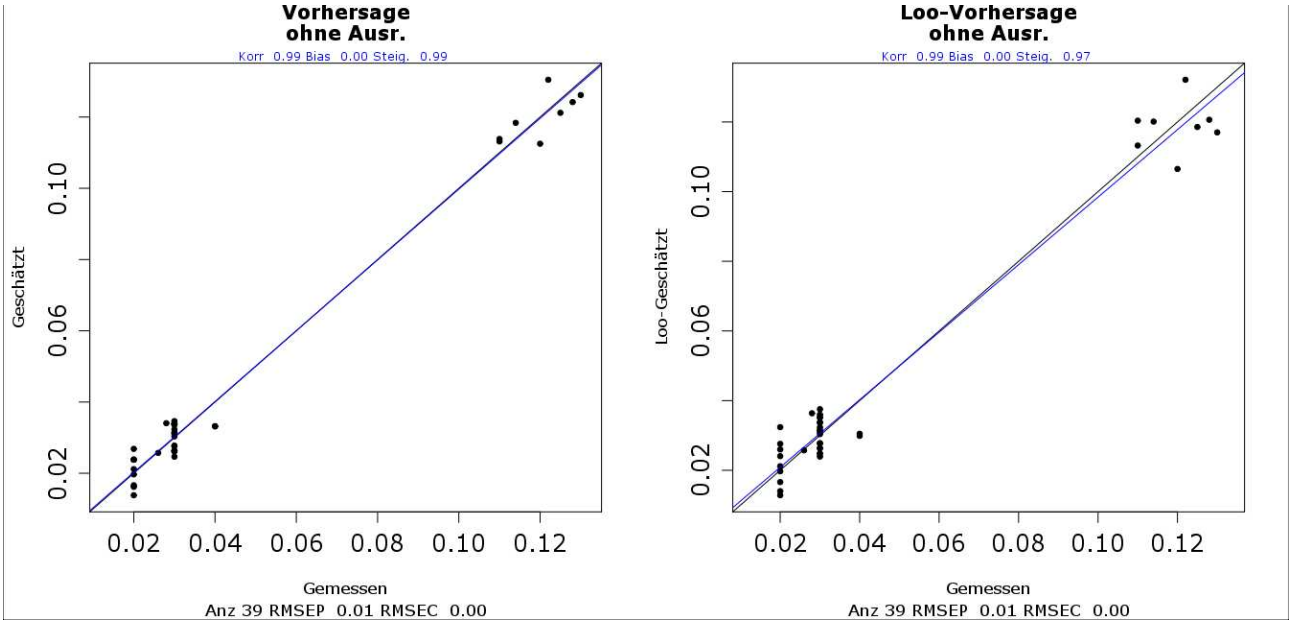
Ammonium-N (NH4N)



Stickstoff (N)



Schwefel (S)

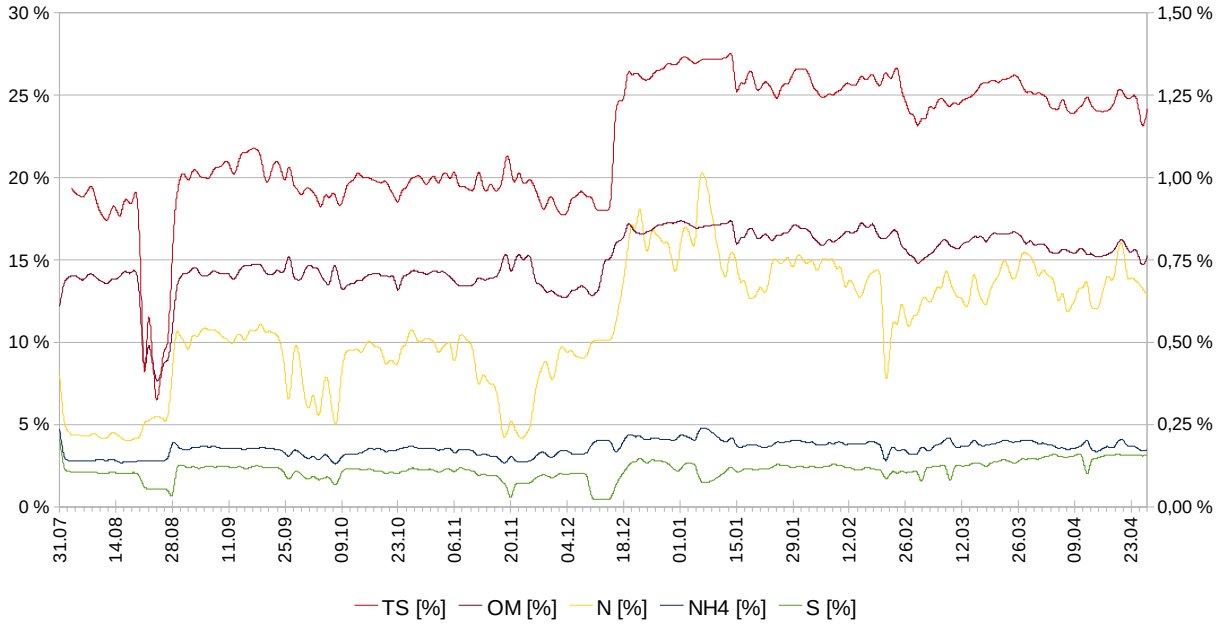


Zeitreihen und Zeitverlauf der Schätzparameter

Basierend auf den im Mai 2009 aktualisierten Modellen wurden rückwirkend Zeitreihen von 31.07.08 bis zum 27.04.2009 geschätzt. Der Verlauf der einzelnen Parameter ist nachfolgend als Tagesmittelwert

dargestellt. Eine detaillierte Analyse der Verläufe erfordert genauere Kenntnis der Abläufe vor Ort.

Zur deutlicheren Erkennung des Verlaufs sind TS und OTS auf der primären y-Achse geplottet und Ammonium-N, N und S auf der sekundären y-Achse.



2.2.2.4 Zusammenfassung

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen mit dem TENIRS-Messsystem auf der Biogasanlage in Baasdorf sind folgende Schlussfolgerungen zu ziehen:

- Grundsätzlich ist die kontinuierliche Messung von TS, OTS, N, NH4N und S in der Rohrleitung an der Messstelle Fütterung möglich.
- Die Messgenauigkeit ist noch nicht hinreichend befriedigend. Ein Grund hierfür ist ein bisher noch zu geringer Probenumfang, der bezüglich der zu messenden Parameter nicht gleichmäßig über den Messbereich verteilt ist.
- Weiterhin sind wesentliche Änderungen in der Rezeptur, z.B. Hinzufügen neuer Komponenten und Chargenwechsel bei bekannten Rezepturkomponenten, nicht hinreichend in den Referenzproben abgedeckt.
- Eine Verbesserung der Güte der Schätzmodelle und eine höhere Messgenauigkeit kann durch eine gezielte und systematische Probentnahme zukünftig optimiert werden.
- Der Betrieb der Offline-Messstelle kann durch gezielte Probennahme und Schaffung einer optimierten funktionalen Messumgebung zukünftig verbessert werden.