



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Hochschule Neubrandenburg

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Landwirtschaftliche Betriebslehre

Herr Prof. Dr. C. Fuchs

Frau K. Skau

Bachelor-Arbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

Entwicklung eines Energiekonzeptes für einen Landwirtschaftlichen Betrieb am Beispiel Hof Bornitz

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2019-0030-7

Vorgelegt von:

Jan Flöthmann



Verchen, 03.06.2019

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	III
1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung	1
1.2. Zielsetzung	2
1.3. Vorgehensweise	2
2. Vorstellung des Betriebs	2
2.1. Energiebedarf und -kosten des Betriebs	4
2.1.1. Strom	4
2.1.2. Wärme	6
2.2. Ressourcen des Betriebs	8
3. Alternative Energieerzeugungsanlagen	9
3.1. Nennleistung, installierte Leistung u. Bemessungsleistung	9
3.1.1. Vergütung und Rechtslage 75kW Gülle-Biogasanlage	10
3.1.2. Baukosten und installierte Leistung	11
3.1.3. Input 75 kW Biogasanlage	13
3.1.4. Wirtschaftlichkeit von 75 kW Biogasanlagen	15
3.2. KWK-Anlagen	17
3.2.1. Förderung, Vergütung und Stromvermarktung im KWKG 16 ...	18
3.2.2. Anlagenbemessung	18
3.2.3. Wirtschaftlichkeit	19
3.3. Photovoltaik	23
3.3.1. Wirtschaftlichkeitsprüfung	23
3.3.2. Dachflächenverpachtung	25
4. Schlussbetrachtung: Synergien und Kombinationsmöglichkeiten	26
5. Zusammenfassung / Ausblick / Empfehlung	30
6. Literaturverzeichnis	III
Anhang	VI

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stromverbrauch Hof Bornitz	5
Tabelle 2: Stromverbrauch Kälberställe	5
Tabelle 3: Wärmemengen und Kosten Hof Bornitz	7
Tabelle 4: Biogas-Einspeisevergütung; Berechnung der Absenkung	11
Tabelle 5: Baukosten-Vergleich 75 kW Biogasanlage	13
Tabelle 6: Input 75 kW Biogasanlage Hof Bornitz.....	13
Tabelle 7: Substrat Input und Kosten.....	15
Tabelle 8: Wirtschaftlichkeit von 75kW Biogasanlagen.....	16
Tabelle 9: BHKW-Einteilung	17
Tabelle 10: KWK-Vergleich bis 60000 Vollaststunden	20
Tabelle 11: KWK-Vergleich mit mehr als 60000 Vollaststunden	22
Tabelle 12: Wirtschaftlichkeitsberechnung Photovoltaik „Hof Bornitz“	24
Tabelle 13: 5,5kW BHKW Dachs	29

Abkürzungsverzeichnis

AfA	Absetzung für Abnutzung
BP	Bodenpunkte
CCM	Corn-Cob-Mix
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEX	European Energy Exchange
el.	elektrisch
FM	Frischmasse
h	Stunde
ha	Hektar
Srm	Schüttraummasse
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
KWh	Kilowattstunden
KWp	Kilowattpeak
KW _{hp}	Kilowattstunde Peak
Mm	Millimeter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
Nawaro	Nachwachsender Rohstoff
p.a.	pro Jahr
th.	thermisch
TS-	Trockensubstanz

1. Einleitung

Die Landwirtschaft verfügt über eine Vielzahl von Ressourcen zur Nutzung von regenerativen Energien und zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen. In den vergangenen Jahren konnte sie mit der landwirtschaftlichen Biogas-Erzeugung und deren Nutzung bereits einen Beitrag dazu leisten. Die Errichtung sowie der Betrieb einer solchen Anlage zur Gewinnung und Nutzung von Biogas aus biogenen Substraten ist aus energie- und umweltpolitischer Sicht zunächst einmal unbestritten sinnvoll und lohnend, da die Landwirtschaft über die nötigen Ressourcen verfügt und diese auch in der Zukunft unter den neuen Förder- und Rahmenbedingungen nutzen und weiter ausbauen sollte. Zudem trägt eine Biogas-Anlage zur Kostensenkung in der landwirtschaftlichen Produktion und/oder zur Einkommensverbesserung der Betriebe bei.

1.1. Problemstellung

Die Tierhaltung in dem mit dieser Arbeit betrachteten landwirtschaftlichen Betrieb hat einen hohen Energiebedarf. Es wird Energie in Form von Strom für die Fütterung sowie für die Beleuchtung und Lüftung der Ställe genutzt. Dieser Strom wird aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen. Hier ist auch weiterhin mit steigenden Preisen zu rechnen. Zudem wird viel Energie in Form von Wärme benötigt, zum einen der Bedarf an Heißwasser, zum anderen um die Ställe zu trocknen und besonders in den Wintermonaten aufzuheizen, was wiederum unerlässlich ist, um die Tiergesundheit sicherzustellen. Der größte Anteil wird als Heißwasser für die Fütterung der Mastkälber benötigt. Beim Ausbau der Tierhaltung vor 6 Jahren wurde dafür bereits in eine Biomasse-Heizung investiert, um die Produktionskosten für das Heißwasser auf einem niedrigen Niveau zu halten. Leider ist der Preis von Hackschnitzeln am Preis von fossilen Energieträgern angelehnt, was letztlich doch wieder zu einer deutlichen Erhöhung der Heizkosten führte. Auch die Nutzung von eigener Biomasse in Form von Getreidestroh und extensivem Wiesenheu unterliegt steigenden Kosten in der Aufbereitung, Bergung und Lagerung.

1.2. Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist, für den Beispielbetrieb „Hof Bornitz“ ein neues Energiekonzept zu entwickeln, welches die betrieblichen Ressourcen in den Bereichen Wirtschaftsdünger, Ackerflächen, Grünland und photovoltaikfähigen Dachflächen für eine nachhaltige Energiegewinnung von Strom und Wärme für den landwirtschaftlichen Betrieb nutzt.

Der Verkauf des bei der Energiegewinnung nicht benötigten Stroms soll dabei als zusätzliche Einkommensquelle für den Betrieb genutzt werden.

1.3. Vorgehensweise

Als Grundlage für die Planung des Energiekonzeptes dienen die standort- und betriebsspezifischen Verhältnisse, die vorhandenen Produktionskapazitäten, die gesetzlichen Rahmenbedingungen und die daraus resultierenden Entwicklungsmöglichkeiten. Nachfolgend werden zusätzlich die Produktionskosten der vorhandenen betrieblichen Ressourcen für die erneuerbaren Energieträger einzeln ermittelt. Die Berechnung dieser Produktionskosten erfolgt aus den bisherigen Betriebsauswertungen und auf Grundlage der KTBL-Datensammlungen. Diese Ergebnisse sind anschließend die Basis für die Planung der möglichen Kombinationen von Energieträgern.

Die Berechnungen werden mit dem EDV-Programm „Windows Excel 7.0“ erstellt. Um die verschiedenen Energieträger näher zu betrachten, werden die Herstellungskosten und weitere betriebswirtschaftliche Erfolgskriterien verglichen. Sämtliche Berechnungen und Tabellen sind im Anhang aufgeführt.

2. Vorstellung des Betriebs

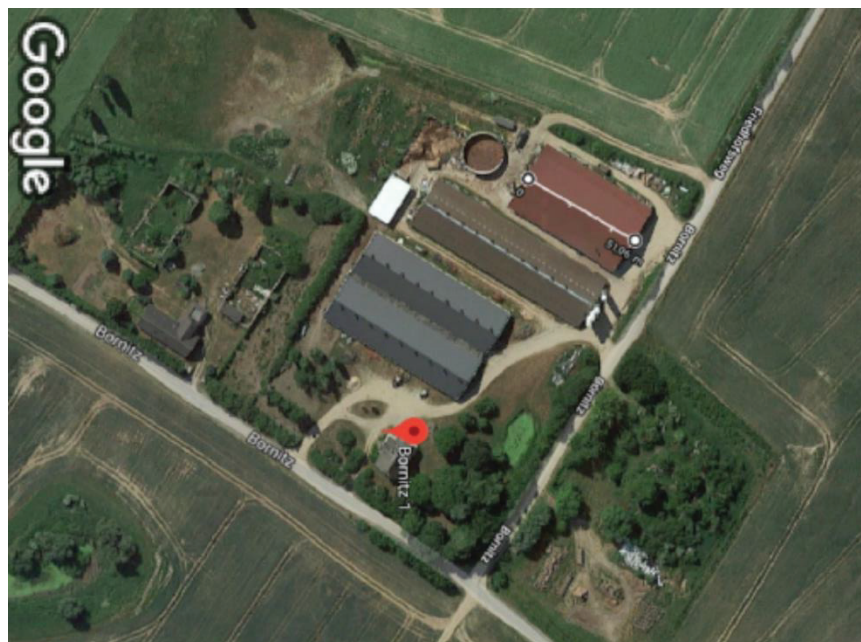
Der Landwirtschaftsbetrieb „Hof Bornitz“ Flöthmann GbR liegt in der Mecklenburgischen Seenplatte am Kummerower See in Verchen. Es handelt sich um einen Gemischtbetrieb mit 120 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche; davon werden 114 ha als Ackerfläche bewirtschaftet, die übrigen 6ha sind Ökologische Vorrang-Flächen. Die Böden sind (eiszeitlich) geprägt von schwach lehmigem Sand (25 BP) bis sandigen Lehm, (56 BP) der Durchschnitt liegt bei 38 BP. Im Schnitt der Jahre fallen 550 mm/m² Niederschlag im Jahr, der Betrieb liegt im Regenschatten des Sees. Es werden zurzeit W-Raps, W-Weizen, W-Gerste

oder W-Raps, W-Weizen, Zwischen-Frucht, Silomais, W-Gerste in der Fruchtfolge angebaut.

Der Betrieb hat am Betriebssitz in Verchen vor 6 Jahren weiter in die Tierhaltung investiert; es wurden zeitgleich ein vorhandener Stall, Baujahr 1996, für 500 Mastkälber umgebaut und ein neuer Maststall mit 900 Mastplätzen gebaut. Die Tiere stehen auf Holzspaltenboden mit weicher Gummiauflage; die anfallende Gülle kann bis zu 9 Monate unter den Kälbern und in dem vorhandenen Güllebehälter gelagert werden.

In einem zweiten Betrieb werden an anderen Standorten in Metschow und Borrentin 500 Mastschweine pro Durchgang ökologisch gemästet und 40 Mutterkühe mit Nachzucht gehalten. Auf den dazugehörenden 30 ha Ackerland werden W-Roggen, W-Gerste, Silomais und Klee-Gras ökologisch angebaut; die Ackerfläche zeichnet sich durch leichten Sandstandort aus. Das Grünland mit 62 ha liegt zum größten Teil im „Naturschutzgebiet“ Mecklenburgische Schweiz und Flusslandschaft Pennetal. Es sind meist Niedermoorflächen oder Hanglagen am See.

Abbildung 1: Hofansicht Hof Bornitz



Quelle: Google maps (Stand 22.05.2019)

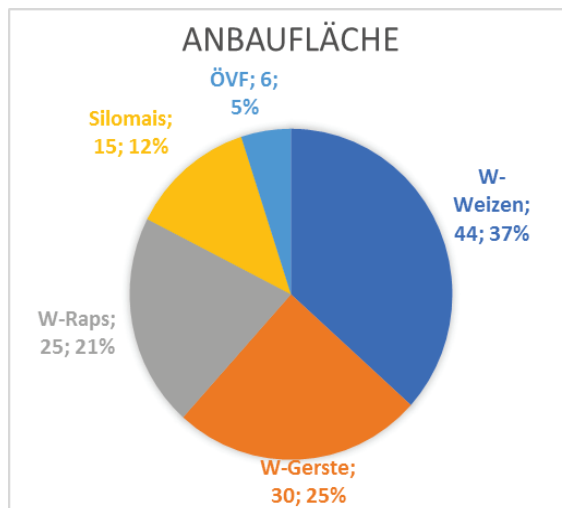


Abbildung 3: Anbaufläche konventionell

Quelle: Eigene Darstellung

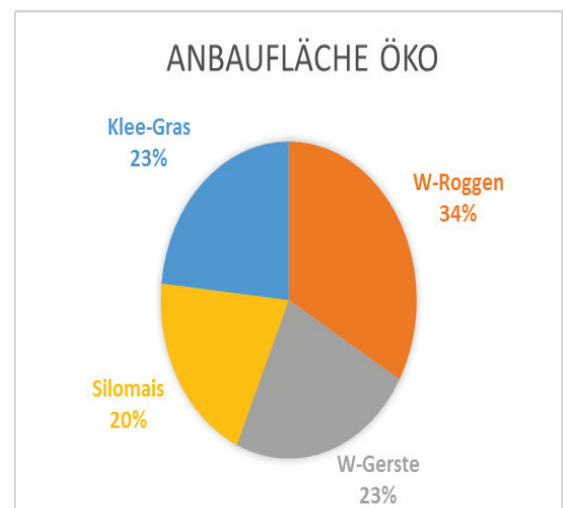


Abbildung 2: Anbaufläche ökologisch

Quelle: Eigene Darstellung

2.1. Energiebedarf und -kosten des Betriebs

Ein Teil der Energie wird als Strom benötigt und der größere Anteil als Wärme in Form von Heißwasser für die Fütterung und die Fußbodenheizung in der Mast gebraucht. Zunächst wird der Strombedarf dargestellt und anschließend der betriebliche Wärmebedarf ermittelt. Aus den betrieblichen Aufzeichnungen werden die Zukäufe für Strom und für die Wärmeträger in Form von Flüssiggas, Hackschnitzel sowie die Produktionskosten für die Stroh- und Heuballen entnommen und berechnet.

2.1.1. Strom

Die Kosten je Kilowattstunde sind in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen; 2018 konnten durch neue Rahmenverträge mit dem Maschinenring die Bezugskosten leicht gesenkt werden. Aber auch unter diesen neuen Bedingungen ist in den nächsten Jahren wieder mit einer leichten Preissteigerung zu rechnen. In der Tabelle 1 sind der gesamte Verbrauch und der Preis für Strom an dem Standort in Verchen dargestellt. Dieser wird für die Bereiche Lüftung und Beleuchtung der Ställe, die Fütterung der Kälber mit Milch und Krafffutter, den Betrieb der Biomasse-Heizung und andere Kleinverbraucher benötigt.

Die sinkenden Strommengen sind zum einen dadurch zu erklären, dass die Getreidelagerung an einen anderen Standort verlegt wurde und in den Ställen die Nachtbeleuchtung auf LED-Energiesparlampen umgestellt wurde.

Tabelle 1: Stromverbrauch Hof Bornitz

Kälbermaststall		
Stromverbrauch		Kosten
Jahr	kWh	ct/kWh
2014	57603	23,9
2015	66382	23,5
2016	60350	24,8
2017	57020	26,2
2018	55893	23,7
Durchschnitt kWh	59449,6	

Quelle: Eigene Berechnung

In der Tabelle 2 sind für einzelne Bereiche die installierte Leistung der Stromverbraucher, die durchschnittliche Laufleistung in % und die tägliche Laufzeit dargestellt. Daraus errechnen sich die gesamten kWh eines Tages. Die Lüftung beansprucht dabei den größten Anteil des verbrauchten Stroms. Die Lüfter sind mit Frequenzumformern ausgerüstet; dadurch kann der Stromverbrauch gerade bei den niedrigen Lüftungsraten bei jungen Kälbern wie auch im Winter bei kalten Temperaturen reduziert werden. (s. Anhang 2: Lüftungsraten Denkavit, S.VIII) Eine freie Lüftung, wie sonst in Rinderställen üblich, würde den Energiebedarf zwar senken, ist aber bei niedrigen Lüftraten im Zusammenspiel mit einer Fußbodenheizung schlecht zu steuern. Deshalb wurde dieses System mit der Zwangslüftung gewählt. Der zweite große Stromabnehmer ist die Fütterung. Die installierte Leistung der Mixer und der Milchpumpen in Abhängigkeit von der benötigten Laufzeit der Fütterung ergibt diesen hohen Energieverbrauch.

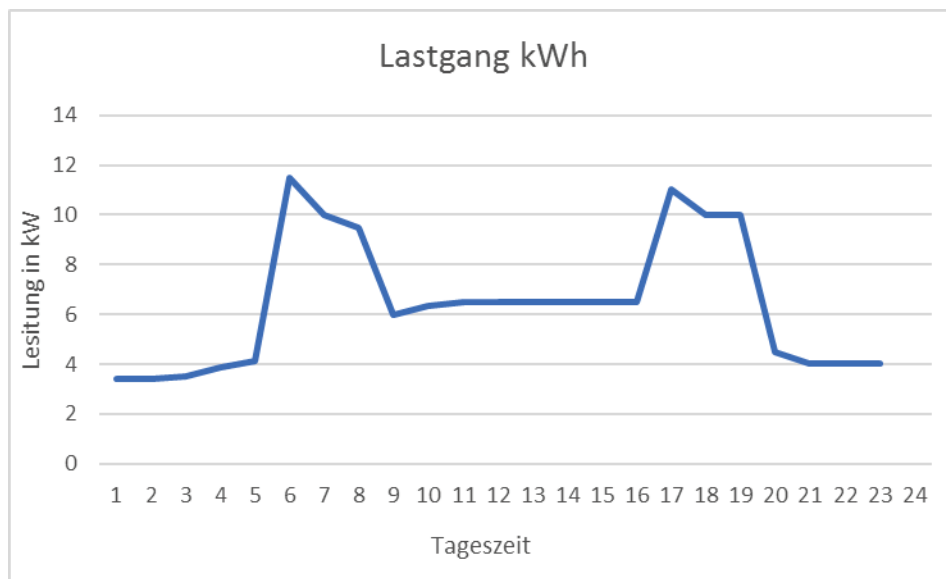
Tabelle 2: Stromverbrauch Kälberställe

Stromverbrauch & Kosten					
Stromverbraucher	kW Inst. Leis.	Leistung	Laufzeit in Std.	kW/h	kWh am Tag
Heizung	2	30%	18,00	0,6	10,80
Lüftung	20	23%	24,00	4,6	110,40
Fütterung	6	50%	4,80	3,0	14,40
Licht	1,5	100%	7,20	1,5	10,80
Sonstiges	0,3	100%	24,00	0,3	7,20
Tag gesamt kWh					153,60
Jahresverbrauch kWh					56064,00
Kosten ct/kWh					23,70
Stromkosten €					13287,17

Quelle: Eigene Berechnung

In der Abbildung 4 wird aus ermittelten Messwerten der Lastgang einer Woche im April in kWh dargestellt. Der Strombedarf steigt zu den Fütterungszeiten stark an, bleibt in den Tagesstunden auf einem erhöhten Niveau und sinkt nach der Abendfütterung in der Nacht auf 3,5-4 kW in der Stunde. Die Milchfütterung mit im Durchschnitt 6000 l Milch dauert pro Mahlzeit je nach Alter der Mastkälber zwischen 2,5 und 3,5 Stunden, wobei in dieser Zeit hauptsächlich die Pumpen und die Rührwerke in den Anmischbehältern arbeiten.

Abbildung 4: Lastgang



Quelle: Eigene Berechnung

2.1.2. Wärme

Der Wärmebedarf setzt sich aus der Heizung für die Gebäude und das Warmwasser für die Fütterung zusammen. In den Gebäuden wird nach der Reinigung zum Trocknen und Aufheizen der Ställe die Fußbodenheizung nur in der Startphase der Kälber benötigt. Ca. 4 Wochen nach dem Aufstallen wird in Abhängigkeit von der Außentemperatur die Heizung heruntergefahren und ausgeschaltet. Es werden pro Jahr rund 1,86 Durchgänge gemästet, die Schwarzbunten Bullenkälber werden in der Kälbermast vom ersten bis zum letzten Masttag mit Milchaustauscher getränkt und zusätzlich mit einer Trockenmischration aus Kraftfutter und Stroh gefüttert. Die Milchmenge wird dabei regelmäßig in Abhängigkeit von der Milchpulverkonzentration (125 g/l – 140 g/l) von 2,25 Liter auf 7 Liter pro Mahlzeit erhöht. Dadurch entsteht ein

durchschnittlicher Warmwasserbedarf von knapp 12000 Liter am Tag, die Wassertemperatur sollte mindestens 65°C betragen.

Tabelle 3: Wärmemengen und Kosten Hof Bornitz

	Heizkosten		
	Flüssiggas	Hackschnitzel	Biomasse
Baukosten	10.500,00 €	65.000,00 €	65.000,00 €
Abschreibung	1.050,00 €	6.500,00 €	6.500,00 €
Zinsen	183,75 €	1.137,50 €	1.137,50 €
Wartung 5%;3%;4%	525,00 €	1.950,00 €	2.600,00 €
Festkosten	1.758,75 €	9.587,50 €	10.237,50 €
Brennstoff Einheiten	6,57 kWh/L	Srm	Ballen
Einheiten/Tag	320	2,5	2,5
Preis/Einheit	0,40 €	27,00 €	25,00 €
Kesselleistung kW	140	150	140
Betriebstunden/Tag	15	14	15
Tagesleistung kWh	2100	2100	2100
Gesamtleistung kWh	766500	766500	766500
Brennstoffkosten	46.666,67 €	24.637,50 €	22.812,50 €
Gesamtkosten	48.425,42 €	34.225,00 €	33.050,00 €
Kosten €/kWh	0,06318 €	0,04465 €	0,04312 €

Quelle: Eigene Berechnung

In der Tabelle 3 sind die derzeitigen Heizkosten für die zurzeit verwendeten Energieträger zusammengestellt. Für die Grundversorgung des Betriebes wurde ein Biomassekessel mit einer Nennleistung von 150 kW eingebaut; für die Reserve, bei Ausfall, steht noch ein 140 kW Flüssiggaskessel bereit, um die Versorgung mit Warmwasser für die Milchtränke bereit zu stellen.

In dem oberen Abschnitt der Tabelle sind die Baukosten mit den Zinsen, Abschreibung und der Wartung dargestellt. Aus den Erfahrungen der letzten 5 Jahre wurde der durchschnittliche Bedarf bei den eingesetzten Brennstoffen für Hackschnitzel und Biomasse ermittelt. In dem Zeitraum mit Hackschnitzel (Gemisch aus Hart- und Weichholz) wurden im Durchschnitt 2,5 Srm für die Lieferung von 2100 kWh Wärme benötigt. Dies entspricht im Vergleich 2,5 Rundballen Stroh oder Heu. Die Ausnutzung liegt nach den eigenen Erfahrungswerten bei ca. 90% zu jenen, die bei Dobelmann angegeben werden (vgl. Dobelmann 2004, S. 2 ff.; s. Anhang 5: Brennstoffvergleich Hackschnitzel – Stroh / Heu, S. XI). In der Kalkulation werden Produktionskosten für die Tagesleistung von 2100 kWh miteinander verglichen. Als Basis der Betrachtung dienen

die Hackschnitzel, diese haben Brennstoffkosten von 24.637,50 € und somit Gesamtkosten von 34.225,00 € pro Jahr. Die Produktionskosten liegen bei 4,465 ct/kWh. Der Einsatz von Stroh und Heu als Alternative senken die Kosten nur leicht auf 33.050,00 € pro Jahr oder 4,312 ct/kWh. Zum Vergleich würde bei vollständigem Flüssiggas Einsatz die Kosten auf über 48.425,00 € pro Jahr ansteigen und so zu Produktionskosten von 6,318 ct/kWh führen. Für die weitere Kalkulation und Vergleiche des Wärmebedarfs werden als Grundlage die benötigten 766.500 kWh zu einem Preis von 4,465 ct/kWh beim Hackschnitzelbetrieb angenommen.

2.2. Ressourcen des Betriebs

Die Tierhaltung kann bei der Betrachtung des Gesamtbetriebs „Hof Bornitz“ einen Großteil geeigneter Substrate für den Betrieb einer 75 kW-Biogas-Anlage liefern.

Aus den erhobenen Tierzahlen der Betriebe ergeben sich nach dem Nährstoffvergleich folgende Nährstoffmengen. Die Kälberhaltung liefert den größten Anteil mit 5000 m³, die Mastschweine und Mutterkühe mit Nachzucht produzieren 750 t bzw. 800 t. Wenn noch zusätzlicher Input für die Biogas-Produktion benötigt wird, kann dies noch durch Silomais oder Klee-Gras ergänzt werden.

Eine geeignete Dachfläche mit der nötigen Lastreserve ist mit 1300 m² nutzbarer Fläche für Photovoltaik, vorhanden (s. Abbildung 5. Dachflächen Pachtangebot, S.25). Ein beantragter und genehmigter Einspeisepunkt im Niederspannungsbereich mit max. 300 kW liegt an der Grundstücksgrenze, Entfernung ca. 50 m zum Gebäude.

3. Alternative Energieerzeugungsanlagen

Zu den alternativen Energieerzeugungsanlagen gehören die Biogas-, Photovoltaik- und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. In den folgenden Abschnitten werden nun diese Energieerzeugungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der gesetzlichen Rahmenbedingungen einzeln vorgestellt. Zuerst wird die 75 kW-Gülle-Biogasanlage beschrieben.

Nach Schilling F. und Tijmensen M. (2004, S. 3-1/3-58) sind die Vorteile von Biogasanlagen vielfältig:

- Die Produktion von Strom und Wärme führt zu einer CO₂- Minderung.
- Reduziert Methan- Emissionen aus der Güllelagerung.
- Verbessert die Düngeeigenschaften der Wirtschaftsdünger.
- Eine Wirtschaftlich attraktive Investition.

3.1. Nennleistung, installierte Leistung u. Bemessungsleistung

In dem EEG 2017 wurden in dem Nachtrag von Dezember 2018 wichtige Termini definiert, die zu Fragen der Energie-Erzeugung relevant sind und die ich hier kurz wiedergeben möchte, da sie in den nachfolgenden Ausführungen bedeutsam sind und Verwendung finden.

Unter „Nennleistung“ versteht man die vom Hersteller genannte Leistungsgrenze; sie gibt den Wert an, mit der eine Anlage dauerhaft wirtschaftlich und sicher betrieben werden kann, ohne dass es zu erhöhtem Verschleiß oder Energie- Einsatz kommt.

Mit „installierte Leistung“ wird im Vergleich dazu die Spitzenleistung einer Maschine angegeben; dies kann beispielsweise ein Generator oder eine photoelektrische Zelle sein. Die installierte Leistung wird bei Solaranlagen in Kilowatt Peak (kWp) angegeben.

Sowohl „Nennleistung“ als auch „installierte Leistung“ sind feste Größen und gehören zu den festen technischen Daten der Anlage; eine Anpassung an besondere Gegebenheiten vor Ort; bedarf als Sonderfall grundlegender Änderungen und ist meistens genehmigungspflichtig.

Die „Bemessungsleistung“ als weiterer Fachbegriff wird ermittelt aus den effektiv produzierten Kilowattstunden geteilt durch die Summe aller Jahresstunden einer Anlage und ist rein bilanziell zu verstehen. Sie dient zur Berechnung der Vergütung aller Energie-Lieferanten mit Ausnahme von Photovoltaik- und Windenergie-Anlagen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).

Die „Höchstbemessungsleistung“ betrifft nur Biogasanlagen und ist nach EEG 2017, § 101, Abs. 1 Satz 2 „die höchste Bemessungsleistung der Anlage in einem Kalenderjahr, für die eine Marktprämie ausgezahlt wird“. Durch den Nachtrag vom Dezember 2018 zu dem EEG 2017 können Gülle-Biogasanlagen, die zuvor auf eine Nennleistung von 75 kW begrenzt waren, jetzt die Höchstbemessungsleistung von 657000 kWh im Jahr liefern, ohne dass die Verpflichtung besteht, diese Anlagen wie bei den Biogas- Flexanlagen doppelt zu überbauen. Eine Lieferung von Strom über diesen Wert hinaus kann jedoch zum Verlust der gesamten Vergütung führen.

3.1.1. Vergütung und Rechtslage 75kW Gülle-Biogasanlage

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sind in den Gesetzen zu Baurecht und Umwelt, in den Gewässerschutz-Verordnungen sowie in den Anforderungen gemäß dem EEG 2017 wie folgt gegeben:

Für Strom aus Anlagen, in denen Biogas eingesetzt wird, das durch anaerobe Vergärung von Biomasse im Sinn der Biomasseverordnung gewonnen worden ist, beträgt bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 75 Kilowatt der anzulegende Wert 23,14 Cent pro Kilowattstunde, wenn

1. der Strom am Standort der Biogaserzeugungsanlage erzeugt wird,
2. die installierte Leistung am Standort der Biogaserzeugungsanlage insgesamt bis zu 150 Kilowatt (doppelte Überbauung) beträgt und
3. zur Erzeugung des Biogases in dem jeweiligen Kalenderjahr durchschnittlich ein Anteil von Gülle / Mist - mit Ausnahme von Geflügelmist und Geflügel-trockenkot - von mindestens 80 Masseprozent eingesetzt wird. (vgl. EEG 2017 §44).

§ 44a - Absenkung der anzulegenden Werte für Strom aus Biomasse

Die anzulegenden Werte nach den §§ 42 bis 44 verringern sich beginnend mit dem 1. April 2017 jeweils zum 1. April und 1. Oktober eines Jahres für die nach

diesem Zeitpunkt in Betrieb genommenen Anlagen um 0,5 Prozent gegenüber den in dem jeweils vorangegangenen Kalendermonat geltenden anzulegenden Werten und werden auf zwei Stellen nach dem Komma gerundet. Für die Berechnung der Höhe der anzulegenden Werte, aufgrund einer erneuten Anpassung nach Satz 1, sind die ungerundeten Werte zugrunde zu legen. = 3 % für die Quartale 4/19 bis 1/20

Tabelle 4: Biogas-Einspeisevergütung; Berechnung der Absenkung

Absenkung Einspeisevergütung Biogas ct/kWh		
Bis Apr 17	23,14	0,50%
Apr 17	23,02	0,5%
Okt 17	22,91	1%
Apr 18	22,79	1,5%
Okt 18	22,68	2%
Apr 19	22,57	2,5%
Okt 19	22,45	3%
Apr 20	22,34	3,5%
Okt 20	22,23	4%

Quelle: Eigene Berechnung nach EEG 17 §§44 44a

3.1.2. Baukosten und installierte Leistung

Am Markt gibt es eine Reihe von Anbietern, die solche 75 kW Hof-Biogasanlagen bauen. In die engere Auswahl wurden zwei Anbieter genommen, die in unserer Region schon einige Referenzanlagen gebaut haben und davon wurden vor Ort fünf besichtigt.

Anhand von drei Angeboten der Anlagenbauer mit unterschiedlicher Nennleistung ist es somit möglich, die Baukosten für die Wirtschaftlichkeitsprüfung möglichst genau zu erfassen.

Die Baukonzepte der beiden Hersteller unterscheiden sich deutlich. Der Anbieter 1 baut seine Fermenter mit einem isoliertem Betondeckel und mit einem externem Gaslager. In diesem Fall wird das Endlager gasdicht als Tragluftdach mit Gasmembransack ausgeführt. Dies hat den Vorteil, dass der Fermenter ein dauerhaft gasdichtes Bauwerk ist und die Anlage über 150 Tage gasdichter Verweildauer nachweisen kann; so können auch bis zu 20% Nawaro angesetzt werden. Die aus der Tierhaltung resultierenden Emissionen können so insgesamt weiter gesenkt werden.

Bei dem Anbieter 2 ist nur der Fermenter mit einem Tragluftdach ausgeführt und das Endlager offen. Das Tragluftdach auf dem Fermenter hat den Nachteil, dass deutlich mehr Wärme - insbesondere im Winter - verloren geht. Dem Betrieb steht weniger Wärme für die Tierhaltung-Stichwort „Wärmekonzept“ - zur Verfügung.

Die Wartung an den Rührwerken ist zudem deutlich aufwendiger als bei jenem mit Betondecke, da das Tragluftdach dafür geöffnet werden muss.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Entschwefelung des Biogases vor dem BHKW. Dieses soll bei allen Anlagen hauptsächlich biologisch im Fermenter entschwefelt werden. Zur Sicherheit ist in den Anlagen der Anbieter 1 und 2 ein Aktivkohlefilter vor dem BHKW installiert, um den Motor bzw. den Oxidationskatalysator vor Verschleiß und Schäden zu schützen.

Der Anbieter 2 verbaut zusätzlich vor dem Aktivkohlefilter zwei Pelletfilter, die mit einem Gemisch aus gepresstem Holz und Eisenoxid gefüllt sind. Diese werden im Wechsel betrieben. In den Pausen regenerieren diese sich, um wieder Schwefel im Betrieb aufnehmen zu können, so dass diese nur ca. alle 2 Jahre getauscht werden müssen. Dieses System kostet ungefähr 40000 € pro Filter und soll den Aktivkohle-Austausch deutlich reduzieren. Sollte die biologische Entschwefelung nicht ausreichend funktionieren, wird der Aktivkohlefilter schnell gesättigt und muss ersetzt werden. Die Kosten für den Tausch einer Füllung liegen bei 1200 €. Wenn der Filter voll ist, nicht getauscht wird, somit zu hohe Schwefelwerte aus dem Motor in den Oxidationskatalysator gelangen, wird dieser sofort zerstört.

Die Investitionskosten für die Anlagen der Anbieter 1 und 2 liegen zwischen 770.000 € und 969.000 € für eine 75 kW Biogasanlage.

Der Unterschied zu den Baukosten der 80 kW und 100 kW Anlage des Anbieters 2 ist nur gering. Im Betrieb liegt der Unterschied nur in der unterschiedlichen Höhe der Volllaststunden, da die produzierte Menge an Strom immer auf 657.500 kWh begrenzt ist; der 100 kW Motor bietet jedoch die Möglichkeit, bei erhöhtem Wärmebedarf die Anlage für eine begrenzte Zeit auf einem höheren Leistungsniveau zu fahren und dann diese z.B. im Sommer zu reduzieren, wenn auch weniger Prozesswärme in der Biogasanlage und Heizleistung für die Ställe benötigt wird.

Tabelle 5: Baukosten-Vergleich 75 kW Biogasanlage

Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen (EEG 2017)					Biogasanlage		
Kennzahl	Nutzungsdauer (Jahre)	Anteil	Zuschlag/Preis	Einheit	Anbieter 1	Anbieter 2	Anbieter 2
					Variante 1	Variante 2	Variante 3
					100	80	99
Investitionsbedarf, ohne Grundstücke; €/kW el				€/kW el	7.000	11.000	8.900
Zuschlag für Planung, Genehmigung	20	5%	10%	€/kW el	700	1.100	890
Summe ohne Grundstücke				€	770.000	968.000	969.210
davon: - Investition langfristig	20	5%	70%		539.000	677.600	678.447
Investition mittel- kurzfristig	10	10%	30%		231.000	290.400	290.763

Quelle: Eigene Berechnung, Auszug aus **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..**

3.1.3. Input 75 kW Biogasanlage

In diesem Abschnitt sind die Substrat-Liefermengen aus der Tierhaltung und die Ergänzungen mit Nawaro – hier in Form von Maissilage - mit den sich daraus ergebenden Gasmengen zusammengestellt. Für die Mastkälber-Gülle gibt es keine Literaturwerte, deshalb wurde eine Gülleprobe zur LUFA Rostock für eine Nährstoff - und Gasanalyse in Auftrag gegeben. (s. Anhang 1: Gülle-Analyse, S. VII) Für die anderen Substrate wurden die Standardwerte aus den KTBL -Faustzahlen Biogas 2013, wie auch die Erfahrungswerte der Anlagenbauer übernommen. Die Substratmengen sind entsprechend ihrer Produktionsgröße auf die Tagesmengen verteilt worden. Hierbei konnte noch nicht auf einen flexiblen Einsatz der Substrate eingegangen werden. Von den Mutterkühen steht der Mist nur im Winter zur Verfügung; dann soll die Maissilage so angepasst werden, dass der Gasbedarf immer voll gedeckt wird. Der Maisanteil liegt mit 9% im Durchschnitt auch noch deutlich unter der 20%-Grenze für Nawaro.

Tabelle 6: Input 75 kW Biogasanlage Hof Bornitz

Input Biogas								
	Substratmenge m³/t	Tagesmenge t/d	Biogas (m³/t sub. Methmangehalt	Biogas m³/d	Biogas m³/a	% v. Input	% v. Gasertrag	
Kälbergülle	5000	13,70	14	55%	191,8	70000	73%	22%
Rindermist BIO	700	1,92	96	55%	184,1	67200	10%	21%
Schweinemist BIO	600	1,64	81	60%	133,2	48600	9%	15%
Maissilage	594	1,63	220	53%	357,8	130600	9%	41%
Maisstroh	0		180	53%	0,0	0	0%	0%
	6894	18,89			866,8	316400		100%

Quelle: KTBL Faustzahlen Biogas 2013; Laborergebnisse LUFA Rostock (s. Anhang 1: Gülle-Analyse S. VII).

In Bezug auf die eingesetzten Substratmengen hat die Kälbergülle durch den niedrigen TS-Gehalt den geringsten prozentualen Gasertrag. Da bei der Kälberfütterung wegen der hohen Milchaustauschermengen, viele Fette und Kohlenhydrate verfüttert werden, waren höhere Gaserträge zu erwarten, was auch

von Mäster-Kollegen bestätigt wurde; können aber nicht mit der Analyse belegt werden. Die ermittelten Laborwerte sind für die Kalkulation zugrunde gelegt worden.

Der Schweine-Dung der Bioschweine steht ganzjährig zur Verfügung. Die Mastschweine werden auf Stroh gehalten und der Auslauf wird alle drei Tage ausgemistet und wieder mit kurzgeschnittenem Stroh eingestreut. Der Liegebereich im Stall wird in diesem Zuge regelmäßig nachgestreut und größere Kotecken werden entnommen. Somit würde dieser Mist immer frisch und ohne Rotte-Verluste zur Verfügung stehen.

Die Mutterkühe mit Nachzucht stehen nur für ca. fünf Monate im Stall. Die Laufbereiche und der Auslauf werden täglich abgeschoben und der Liegebereich der Tiere neu eingestreut. Dieser wird dann in größeren Zeitabschnitten, alle vier Wochen, ausgemistet. Damit der Mist nicht zu lange liegen bleibt und die Lagerverluste nicht zu sehr steigen, muss der Mist der Rinder gut in die Rezeptur der Anlage eingeplant werden.

Die Maissilage ist in der Kalkulation mit einer umfangreichen Menge als Reserve- und Ergänzungs-Input einkalkuliert worden, um den Betrieb des BHKWs immer sicher zu gewährleisten; dieses benötigt im Jahr mindestens 316.400 m³ Biogas.

Der Festmist-Anteil soll durch den Ausbau der ökologischen Tierhaltung weiter erhöht werden, um den Maissilage-Anteil weiter reduzieren zu können. Auch der Einsatz von Maisstroh aus der CCM-Gewinnung wäre möglich, um den Flächenbedarf für Silomais zu senken. Im Anlagen-Prozess ist Maisstroh aber deutlich anspruchsvoller, da es schnell zu Schwimmschichten neigt. Die mehr gerührt werden müssen, was wiederum einen höheren Strombedarf nach sich zieht (vgl. M. Fleshhut et.al. KTBL 2015, S.328) NEUMANN, H (2019), Nr. 5, S.102-105.

In der zweiten Substrat-Tabelle sind zusätzlich die Substratkosten aufgeführt. Für die Kälbergülle sind 10 ct/t angenommen, da der Strom für das Pumpen vom Stall bereitgestellt wird. Der Mist wurde mit 2 €/t kalkuliert, da noch Transporte zur Biogasanlage anfallen; die Ausbringung der Gärreste wiederum übernimmt die Tierhaltung. Die Maissilage ist mit einem angenommenen Ertrag von 45 t FM/ha und einem Preis von 35 €/t FM einkalkuliert. Insgesamt

entstehen so Kosten von 23879 € für Substrate; davon entfallen alleine 20790 € auf die Maissilage.

Tabelle 7: Substrat Input und Kosten

Gesamt verbrauch				m³	316411	316346	316422
Substrat Input		€/t FM	Biogas (m³/t Substrat)				
Kälbergülle		0,1	14	Biogas m³/a	70.000	70.000	70.000
				Substratmenge m³,t	5000	5000	5000
Rindermist BIO		2	96	Biogas m³/a	67.200	67.200	67.200
				Substratmenge m³,t	700	700	700
Schweinemist BIO		2	81	Biogas m³/a	48.600	48.600	48.600
	netto t FM/ha			Substratmenge m³,t	600	600	600
Maissilage	45	35	220	Biogas m³/a	130.611	130.546	130.622
				Substratmenge m³,t	594	593	594
Substrat Gesamtinput				t FM p.a.	6.894	6.893	6.894
Substratkosten; €				€ p.a.	23.879	23.869	23.881

Quelle: KTBL Faustzahlen Biogas 2013; Laborergebnisse LUFA Rostock (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. S. Fehler! Textmarke nicht definiert.**)

3.1.4. Wirtschaftlichkeit von 75 kW Biogasanlagen

Die Wirtschaftlichkeit ist bei allen drei Varianten der Hersteller vorhanden. Die Baukosten der Anlagen hingegen unterscheiden sich deutlich.

In der Variante 1 wird ein Gewinn von 47.637 € erzielt; dieser liegt um 20.697 € bzw. 21.389 € höher als bei den beiden Varianten des zweiten Anbieters. In alle drei Varianten sind die jährlichen festen Kosten der Anlagen zu gleichen %- Anteilen eingeflossen. Die Kosten für Zinsen und Abschreibungen sind wegen der Baukosten in den Varianten 2 und 3 um ca. 21.000 € höher als in Variante 1. Die jährlichen Produktionskosten pro installierte Nennleistung liegen zwischen 979 €/kW el. in Variante 1 und 1482 €/kW el. in Variante 2.

Die Substratkosten sind mit 23.879 € pro Jahr überall gleich kalkuliert. Für die Bemessungsleistung von 657.000 kWh benötigt die Variante 2 mehr Volllaststunden (8213) gegenüber den Varianten 1 und 3 mit 6570 Stunden.

Das BHKW kann 100 kW el. Leistung liefern und dabei bis zu 80 % als thermische Leistung an den landwirtschaftlichen Betrieb abgeben. Es stehen 525600 kWh th. pro Jahr zur Verfügung, der Rest wird für den Betrieb des Fermenters selbst benötigt. Für die Wärme werden 4,40 ct/kWh th. innerbetrieblich vergütet.

Der Strompreis liegt bei ca. 22,26 ct/kWh el. (EEG 2017, abhängig vom Start der Anlage). Der Stromerlös beträgt bei gleicher Bemessungsleistung von 75

kW für alle Varianten 146.248,40 € pro Jahr. Nach Abzug der gesamten Kosten je Variante ergibt sich ein Gewinn von 47637 € bei Variante 1 im Vergleich bei 26940 € in Variante 2 und 26248 € bei Variante 3.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt, dass die Baukosten der Anlagen entscheidend sind für den Erfolg einer Gülle-Mist-Anlage. Die Produktionskosten sind hingegen kaum zu beeinflussen. Für den wirtschaftlichen Erfolg einer Hof-Biogas-Anlage ist ein gutes Wärmekonzept entscheidend, um auch noch finanzielle Reserven bilden zu können.

Tabelle 8: Wirtschaftlichkeit von 75kW Biogasanlagen

Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen (EEG 2017)					Biogasanlage		
				Einheit	Anbieter 1 Variante 1	Anbieter 2 Variante 2	Anbieter 2 Variante 3
Kennzahl	Nutzungsdauer (Jahre)	Anteil	Zuschlag/Preis	el. Nennleistung	100	80	99
Investitionsbedarf, ohne Grundstücke; €/kW el				€/kW el.	7.000	11.000	8.900
Zuschlag für Planung, Genehmigung	20	5%	10%	€/kW el.	700	1.100	890
Summe ohne Grundstücke				€	770.000	968.000	969.210
davon: - Investition langfristig	20	5%	70%		539.000	677.600	678.447
Investition mittel- kurzfristig	10	10%	30%		231.000	290.400	290.763
Arbeitsbedarf,				Akh/kW el	3,0	3,3	3,0
Arbeitskosten			15	€ p.a.	4.506	3.928	4.478
AfA				€ p.a.	50.050	62.920	62.999
Zinssatz		2,5%			9.625	12.100	12.115
Eigenverbrauch von prod. Strom		7%	0,23	€ p.a.	10.578	10.578	10.578
Reparaturen		2%			15.400	19.360	19.384
Versicherung		1,0%		€ p.a.	7.700	9.680	9.692
jährliche Kosten				€ p.a.	97.859	118.566	119.246
jährliche Kosten (Investition und Arbeit; ohne Rohstoffe)				€/kW el.	979	1.482	1.205
Angestrebte Volllaststunden				h/Jahr	6.570	8.213	6.636
Gasverbrauch				m³/h	48,16	38,52	47,68
Gesamtverbrauch				m³	316411	316346	316422
Substrat Input		€/t FM	Biogas (m³/t Substrat)				
Kälbergülle		0,1	14	Biogas m³/a	70.000	70.000	70.000
				Substratmenge	5000	5000	5000
Rindermist BIO		2	96	Biogas m³/a	67.200	67.200	67.200
				Substratmenge	700	700	700
Schweinemist BIO		2	81	Biogas m³/a	48.600	48.600	48.600
Maissilage	netto t FM/ha	45	220	Biogas m³/a	130.611	130.546	130.622
				Substratmenge	594	593	594
Substrat Gesamtinput				t FM p.a.	6.894	6.893	6.894
Substratkosten; €				€ p.a.	23.879	23.869	23.881
Bemessungsleistung	75kW*24h*365Tage	657000		kWh el.	657.000	657.000	657.000
Auskopplung und Nutzung der Wärme		80%		kWth.	525.600	525.600	525.600
Stromvergütung				ct/kWh el.	22,26	22,26	22,26
Wärmevergütung				ct/kWh th.	4,40	4,40	4,40
Stromerlös				€ p.a.	146248,20	146248,20	146248,20
Wärmeerlös				€ p.a.	23126,40	23126,40	23126,40
Wirtschaftlichkeit	Leistung			€ p.a.	169.375	169.375	169.375
	Kosten			€ p.a.	121.738	142.434	143.127
	Gewinn			€ p.a.	47.637	26.940	26.248
Umwelt/Ressourcen:	Flächenbedarf			ha/kw el.	0,18	0,18	0,18
volkswirtschaftlich:	Produktionskosten			ct/kWh el.	13,90	16,26	16,34
opt. Größe:	Gewinn			€/kW el.	476,4	336,8	265,1

Quelle: Prof. Dr. Fuchs Modul EE; angepasste Berechnung und Darstellung

3.2. KWK-Anlagen

Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird Strom und Wärme immer gleichzeitig produziert, dafür werden in einem Blockheizkraftwerk fossile oder erneuerbare Energieträger verbrannt. Hauptenergieträger sind Erdgas, Diesel oder Öl, aber auch Biogas, Klärgas und Deponiegas. Der große Vorteil aller KWK-Anlagen ist, dass so Strom deutlich effizienter produziert wird und die Abwärme lokal verbraucht werden kann. Die Energieausnutzung liegt bei ca. 85-95% der eingesetzten Energie. KWK-Anlagen werden in unterschiedlichsten Größen produziert und genutzt.

Tabelle 9: BHKW-Einteilung

Elektrische Leistung	Bezeichnung	Anwendungsbeispiele
unter 2,5 kW	Nano-Blockheizkraftwerke	Ein- bis Zweifamilienhäuser
2,5 kW bis 15 kW	Mikro-Blockheizkraftwerke	Ein- bis Mehrfamilienhäuser
15 kW bis 50 kW	Mini-Blockheizkraftwerke	Wohnblocks, Gewerbe, Ämter
50 kW bis 5 MW	Groß-Blockheizkraftwerke	Wohnblocks, Industrie, Ämter
ab 5 MW	Heizkraftwerke	ganze Stadtviertel

Quelle: Schmitz. J. Ihr BHKW, S.5

Die KWK-Anlage sollte stets so ausgewählt werden, dass sie dem Energiebedarf des Anlagenortes entspricht; dafür ist es relevant, die Grund- und Spitzenlasten zu analysieren. Neben der Wärmebereitstellung kann dies auch die Produktion von Kälteenergie in sogenannten KWKK-Anlagen mit Hilfe von Absorptionskältemaschinen beinhalten, wobei Wärmeenergie in Kälteenergie umgewandelt wird.

Bezüglich der betrieblichen Betrachtung der Lastgangdaten sowie der Kombinationsmöglichkeiten bei der Energieerzeugung habe ich mir für „Hof Bornitz“ relevante Anlagen ausgewählt und mir auch zwei in Betrieb befindliche bei Berufskollegen angeschaut. Bei dem Kälbermastbetrieb Hackmann in Holdorf konnte ich mir am 29.3.19 einen SenerTec Dachs mit 5,5 kW el. Leistung anschauen, der seine Grundlast erzeugt. Dieses BHKW hatte bereits schon 135972 Betriebsstunden ohne nennenswerte Störungen hinter sich. Die zweite Anlage war eine G-Box20 von 2G und ist seit 2,5 Jahren in Teschow bei Teterow in Betrieb auf dem Ökohof Liescher (Besuch am 6.5.19). Diese Anlage erzeugt die Wärme für einen Sauenbetrieb mit eigener Ferkelaufzucht.

3.2.1. Förderung, Vergütung und Stromvermarktung im KWKG 16

Das KWKG-Gesetz dient der Erhöhung der Nettostromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und der Energieeinsparung sowie des Umwelt- und Klimaschutzes. Im Gesetz wird die Abnahme und die Zahlung von Zuschlägen für KWK-Strom geregelt, aber auch die Zahlung von Zuschlägen für den Neu- und Ausbau von Wärmenetzen, Wärmespeichern sowie für Kältenetze und Kältespeicher, die ihre Energie aus KWK-Anlagen beziehen. Im Gesetz sind auch die Umlage der Kosten und die Höhe der auszuschreibenden Strommengen erfasst. Die Kosten werden durch die KWK-Umlage auf den Stromverbraucher umgelegt. Die Höhe und die Dauer der Vergütung auf verkauften und selber verbrauchten Strom werden in den §§ 4, 7 und 8 KWKG16 geregelt.

3.2.2. Anlagenbemessung

Bei der Auswahl eines BHKWs auf Erdgasbasis sind drei Punkte von entscheidender Bedeutung: es soll den Wärme- und Strombedarf abdecken und eine langfristig hohe Vergütung gewährleisten. Der Wärmebedarf in dem Betrieb „Hof Bornitz“ liegt im Jahr bei ca. 766500 kWh, was 87,5 kW in der Stunde macht. Der Strombedarf liegt bei ca. 59449,6 kWh im Jahr, was 6,79 kWh im Durchschnitt ausmachen würde; hier ist aber das Problem, dass der Lastgang beim Strom stark schwankt, was dazu führt, dass die Grundlast derzeit bei nur ca. 3,5 kWh liegt (s. Abbildung 4: Lastgang).

Auf dieser Grundlage und nach der Besichtigung der zuvor erwähnten Betriebe habe ich mich bei der Planung des neuen Energiekonzeptes für Anlagen von 2G vom Typ G-Bos mit einer Leistung von 20 kW el. bzw. 50 kW el. und als Kleinanlage den Dachs von SenerTec mit einer Leistung von 5,5 kW el. entschieden. Die G-Box 50 liefert 100 kW th., die G-Box 20 44 kW th. und der 5.5 Dachs 14,8 kW th. Der Dachs ist auf die Grundlast des Stromverbrauchs ausgelegt, wohingegen die beiden anderen auch große Strommengen produzieren, die anschließend verkauft werden müssen; diese können aber auch im Gegenzug mehr Wärme für den Betrieb liefern. Die G-Box 50 kann dank der 100 kW th. den Wärmebedarf für die Tierhaltung alleine sicherstellen und in Zeiten mit geringem Wärmebedarf leistungsreduzierter arbeiten. Die G-Box 20 bedarf hingegen einer Ergänzung bezüglich des Wärmebedarfs.

3.2.3. Wirtschaftlichkeit

Als Datengrundlage für die Betrachtung dienen zum einen die Gespräche mit Herrn Hehmann von der Firma Agens energie GmbH, die BHKW Datensammlung sowie die Besichtigungen mit Erfahrungsaustausch bei den landwirtschaftlichen Betrieben „Ökohof Liescher“ in Teschow und dem „Kälbermast-Betrieb Hackmann“ in Holdorf.

Für den Vergleich der zuvor beschriebenen KWK-Anlagen habe ich Tabelle zusammengestellt (siehe Tabelle 10). Bei den Bau- und Anschlusskosten bestehen große Unterschiede. Für die größeren Anlagen von 2G muss ein separater Stromanschluss gelegt werden, während der Dachs direkt in die vorhandene Stromversorgung integriert werden kann. Die BHKWs mit 20 bzw. 50 kW von 2G unterscheiden sich hinsichtlich der Bau- und Anschlusskosten kaum - die Container mit der Steuerung sind sogar nahezu identisch -, nur der Motor mit den Aggregaten ist unterschiedlich in der Leistung und Größe, wodurch sich die geringen Mehrkosten im Vergleich zu der 20 kW-Anlage erklären.

Aus den festen Kosten der Anlagen und den benötigten Gasmengen ergeben sich die Gesamtkosten pro Jahr. Die 5,5- und 20 kW-Anlagen sind mit Volllaststunden kalkuliert, d.h. max. Strom und Wärmemengen der Anlagen werden produziert; die 50 kW-Anlage wird an den Wärmebedarf des Betriebes angepasst, woraus sich bei 766500 kWh th. nur 7665 Volllastbetriebsstunden mit 383.250 kWh el. Leistung ergeben, davon werden 323250 kWh in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Der Dachs produziert nur für den Eigenverbrauch, das kleine 2G BHKW liefert noch 114.000 kWh für den Verkauf. Die Vergütung setzt sich aus der KWKG-Förderung mit 8 ct/kWh und dem Strompreis an der EEX für EPEX Spot zusammen (s. EPEX Spot, Stand 04.05.2019); daraus ergeben sich die Verkaufserlöse in Höhe von 13395 € und 37981,86 € für die Anlagen. Für die Berechnung habe ich den Mittelwert der letzten drei Jahre in Höhe von 3,717 ct/kWh genutzt. Selbst verbrauchter Strom wird mit 4 ct/kWh bezuschusst. Insgesamt wird die Förderung aber nur für die ersten 60000 Betriebsstunden der Anlage gewährt; die Abschreibung hingegen wurde dem Förderzeitraum angepasst und ist nunmehr mit 7800 Stunden im Jahr nach 6,9 Jahren erreicht (vgl. Hackmann, 04.05.2019).

Blau unterlegt sind die kalkulierten innerbetrieblich verbrauchten Leistungen. Zunächst fließt die selbst produzierte und genutzte Wärme mit den derzeitigen Heizkosten von 4,4 ct/kWh aus der Biomasse in die Kalkulation mit ein. Anschließend werden von den Gesamtkosten pro Jahr (gelb) die Verkaufserlöse (grün) und der kalkulierte Wärmeerlös (blau) abgezogen. Wenn der Gewinn mit 1 € für alle Varianten gleich angesetzt wird, ergibt sich aus der Differenz der kalkulierte Strompreis (orange) für den selbst genutzten Eigenstrom pro Jahr; daraus errechnet sich auch der Selbstkostenpreis in € / kWh für den Eigenverbrauch.

Der Selbstkostenpreis liegt bei Dachs und der 50 kW- Anlage von 2G bei 12,6 ct/kWh bzw. 12,3 ct/kWh. Nur die 20 kW- Anlage von 2G produziert mit 25,6 ct/kWh den Eigenstrom zu teuer; es gibt bei dieser Variante kein Einsparpotential zu dem bisher gezahlten Strompreis von 23,7 ct/kWh.

Die 2G-Anlage mit 20 kW el. und 44 kW th. ist folglich betriebswirtschaftlich nicht interessant; es entstehen zusätzliche Kosten in Höhe von ca. 2698 € pro Jahr. Der Grund dafür liegt sowohl in dem hohen Anschaffungspreis als auch in der Leistung. Die elektrische Leistung ist für den benötigten Eigenstrom etwas zu hoch, zudem kann sie benötigte Wärmemengen nur zu 50 % bereitstellen, was zur Folge hat, dass die Idee der Kraft-Wärme-Kopplung nicht voll ausgenutzt werden kann und immer noch mit Biomasse zusätzlich geheizt werden muss.

Die 50 kW-Anlage sieht in dem aktuellen Förderzeitraum mit der KWKG-Förderung von 8 ct/ kW el. sehr interessant aus, das Einsparpotential liegt bei 5279,43 €/ Jahr. Es wird keine weitere Heizung benötigt, es sind sogar noch Reserven bei Volllast vorhanden.

Das kleine Mini-BHKW von SenerTec erreicht mit 5,5 kW el. und 14,8 kW th. Leistung ein sehr gutes Einsparpotential von 4101,58 €/Jahr. Der selbst produzierte Strom wird voll genutzt, 100 % Grundlast und 100 % Wärme.

Es werden nur 17% des Eigenwärmebedarfs erzielt, somit wird die vorhandene Biomasse- Heizung nur geringfügig unterstützt.

Tabelle 10: KWK-Vergleich bis 60000 Vollaststunden

5,5kW 20kW 50kW bei. max. 60000kWh Eigenstrom u. max. 766500kWh Wärme				
Leistung el.kW		5,5	20	50
Leistung th.kW		14,8	44	100
BHKW		18.000,00 €	75.000,00 €	100.000,00 €
Anschluss		7.000,00 €	39.000,00 €	39.000,00 €
Zins	2,5%	312,50 €	1.425,00 €	1.737,50 €
AfA in Jahre	6,90	3.625,00 €	16.530,00 €	20.155,00 €
Versicherung		500,00 €	500,00 €	500,00 €
Reparatur % v.Bausumme	2%	500,00 €	2.280,00 €	2.780,00 €
Gasmenge in kWh		176610	556800	1149750
Gaskosten	0,049 €	8.653,89 €	27.283,20 €	56.337,75 €
Gesamtkosten pro Jahr		13.591,39 €	48.018,20 €	81.510,25 €
Betriebsstunden		8700	8700	7665
Leistung el.kWh		47850	174000	383250
Leistung th.kWh		128760	382800	766500
Verk.Strommenge kWh		0	114000	323250
Stromverk.Erlös	0,1175 €	- €	13.395,00 €	37.981,88 €
Eig.Verbr. 60000kWh	60000	47850	60000	60000
KWK -Bonus Eigenstrom	0,04 €	1.914,00 €	2.400,00 €	2.400,00 €
kal. Stromerpreis		6.012,95 €	15.381,00 €	7.403,38 €
Selbstkostenpreis €/kWh		0,126 €	0,256 €	0,123 €
Wärme kWh		128760	382800	766500
kal. Wärmeerlös	0,044 €	5.665,44 €	16.843,20 €	33.726,00 €
kal. ges. Erlös		13.592,39 €	48.019,20 €	81.511,25 €
Gewinn		1,00 €	1,00 €	1,00 €
EEG Umlage	0,02562 €	1.225,92 €	1.537,20 €	1.537,20 €
Eigenstrompreis +EEG Umlage		0,151 €	0,282 €	0,149 €
Einsparpotenzial zu 23,7 ct/kWh	0,237	4.101,583 €	- 2.698,200 €	5.279,425 €
Laufzeit in Jahren für Stunden	60000	6,896551724	6,896551724	7,82778865
Zusätzl. Wärmebe. Heiz. kWh	766500	637740	383700	0
Zusätzl. Wärmebe. Heiz. €	0,044	28.060,56 €	16.882,80 €	0
Eigenwärmeanteil %		17%	50%	100%

Quelle: Eigene Berechnung

Der Gedanke der Kraft-Wärme-Kopplung wird unter wirtschaftlichem Aspekt noch wichtiger, wenn man die Zeit nach der Förderung betrachtet (s. Tabelle 12: Wirtschaftlichkeitsberechnung Photovoltaik „Hof Bornitz“).

Dann spielt der Dachs seine Möglichkeiten noch besser aus. Der Verlust der Förderung wird durch den Wegfall der AfA vollständig ausgeglichen. Das Einsparpotential erhöht sich noch mal um 2023,50 € auf 6125,08 €/Jahr.

Herr Hackmann hat mit seinem BHKW ähnliche Erfahrungen gemacht; auch nach dem Förderzeitraum wird es voll genutzt, und es gab bisher keine Probleme mit größeren Reparaturen. Das 20 kW BHKW läuft nach der Förderung mit einem Einsparpotential von 5986,80 € pro Jahr und Stromherstellungskosten von 11,16 ct/ kWh wirtschaftlich interessanter, kann aber nicht die Verluste aus der Abschreibungszeit auffangen.

Tabelle 11: KWK-Vergleich mit mehr als 60000 Vollaststunden

5,5kW 20kW 50kW nach AFA 60000kWh Eigenstrom u. max. 766500kWh Wärme				
Leistung el.kW		5,5	20	50
Leistung th.kW		14,8	44	100
BHKW		18000	75000	100000
Anschluss		7000	39000	39000
Zins	6125,083			
AFA in Jahre				
Versicherung		500,00 €	500,00 €	500,00 €
Reparatur % v.Bausumme	2%	500,00 €	2.280,00 €	2.780,00 €
Gasmenge in kWh		2613828	556800	1149750
Gaskosten	0,049	8.653,89 €	27.283,20 €	56.337,75 €
Gesamtkosten pro Jahr		9.653,89 €	30.063,20 €	59.617,75 €
Betriebsstunden		8700	8700	7665
Leistung el.kWh		47850	174000	383250
Leistung th.kWh		128760	382800	766500
Verk.Strommenge kWh	0,0375 €	0	174000	323250
Stromverk.Erlös		- €	6.525,000 €	12.121,875 €
Eig.Verbr. 60000kWh	60000	47850	60000	60000
KWK -Bonus Eigenstrom		- €	- €	- €
kal. Stromerpreis		3.989,45 €	6.696,00 €	13.770,88 €
Selbstkostenpreis €/kWh		0,083 €	0,1116	0,230 €
Wärme kWh		128760	382800	766500
kal.Wärmeerlös	0,044	5.665,44 €	16.843,20 €	33.726,00 €
kal. ges. Erlös		9.654,89 €	30.064,20 €	59.618,75 €
Gewinn	0,044 €	1,00 €	1,00 €	1,00 €
EEG Umlage	0,02562 €	1.225,92 €	1.537,20 €	1.537,20 €
Eigenstrompreis +EEG Umlage		0,109 €	0,137 €	0,255 €
Einsparpotenzial zu 23,7 ct/kWh	60000	6.125,083 €	5.986,800 €	- 1.088,075 €
Laufzeit in Jahren für Stunden		0	0	0
Zusätzl. Wärmebe. Heiz. kWh		637740	383700	0
Zusätzl. Wärmebe. Heiz. €	0,044	28.060,56 €	16.882,80 €	0
Eigenwärmeanteil %		17%	50%	100%

Quelle: Eigene Berechnung

3.3. Photovoltaik

Der Betrieb „Hof Bornitz“ hat einen reservierten Einspeisepunkt von 300 kW im Niederspannungsnetz, 100 kW würden von dem BHKW der Biogasanlage benötigt, die restlichen 200 kW ständen einer Photovoltaik-Anlage zur Verfügung.

Vergütung nach EEG 2014 mit Änderung des Ausbaus EEG 2017

Neuanlagen erhalten als Förderung eine sog. "Marktprämie", die Betreiber sind im Gegenzug jedoch verpflichtet, einen Direktvermarkter mit der Vermarktung des eingespeisten Stroms zu beauftragen. Die Vergütung im Marktprämie-Modell wird je nach Höhe des Zubaus an installierter Leistung im Zubau-Korridor um 0,25 bis 2,8% jeden Monat gesenkt. Der Zubau-Korridor liegt bei 1900 MW im Jahr und wird aus den letzten 6 Monaten aufs Jahr hochgerechnet und quartalsweise angepasst. Im vergangenen Berechnungszeitraum lag der Zubau bei 1.812.610 kWp, auf ein Jahr gesehen bei 3.625.219 kWp und hat so das Zubauziel um 1.725.219 kWp überschritten, die Absenkung liegt deshalb bei 1,4%.

Vgl. EEG 2017 §49 1bis3

Bis 100 kWp kann man entscheiden, ob man das Marktprämie-Modell oder die feste Einspeisevergütung nutzen will. Da die geplante Anlage mit 200 kWp im Bereich der Direktvermarktung liegt, beträgt die Vergütung mindestens 8,53 ct/kWh durch den Direktvermarkter.

3.3.1. Wirtschaftlichkeitsprüfung

In der folgenden Tabelle¹² sind die Kosten und die Aspekte einer Wirtschaftlichkeitsprüfung einer PV Anlage aufgeführt. Es sind Baukosten von 750 €/kWp (Variante 1) und 800 €/kWp (Variante 2) für eine 200 kWp PV-Anlage auf der Dachfläche der Mehrzweckhalle, s. Abbildung 6: Hof Ansicht mit Biogasanlage und PV-Anlage) miteinander verglichen. Da durch die weitere Degression pro Monat die Vergütung für Solarstrom sinkt, müssen die Anlagenbauer die Baukosten weiter anpassen, zusätzlich werden in die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Photovoltaik-Anlagen auch die Auswirkungen der Einsparpotenziale durch Eigenstrom kalkulatorisch ermittelt. Angesichts der erhöhten

Anschaftungskosten um 50 € pro kWp bei der Variante 2 steigt die Investitionssumme auf insgesamt 160.000 €. Die Folge sind höhere Kosten auch für die Finanzierung, Abschreibung, Unterhaltung, Wartung und Versicherung. Der Erlös ist bei beiden Varianten gleich und ergibt sich aus der installierten Leistung, den Volllaststunden, die für diese Region laut JRC (Joint Research Centre) bei einer Ausrichtung auf Ost-West im Schnitt bei 911 Stunden (angenommener Wert: 900 h) liegen und der Vergütung mit 8,53 ct/kWh (für Juli 2019). Der Gesamterlös auf 20 Jahre hochgerechnet liegt bei Variante 1 mit 750 €/kWp Baukosten bei 59580 € und ist um 16500 € geringer bei Variante 2 mit 800 €/kWp. Letztere Anlage braucht deshalb 1,4 Jahre länger zur Amortisation, welche dann bei 15,75 Jahre liegt gegenüber 14,3 Jahren.

Ein weiterer wichtiger Ansatz liegt im Eigenverbrauch, die bei dem Lastgang und der Zeit von 8 bis 18 Uhr im Jahr bei ca. 30000 kWh liegen könnte, was dann 50% des Stromverbrauches ausmacht. (vgl. KTBL Heft 93. S.28) Auf den selbst produzierten Strom kommt dann noch die EEG-Umlage mit 2,56 ct/kWh das sind 40% von 6,405 ct/kWh zusätzlich. Wenn man nun den Strompreis mit der Vergütung von 8,53 ct/kWh plus der EEG-Umlage ansetzt und den derzeitigen Strompreis von 23,7 ct/kWh abzieht, kommt man auf eine mögliche Ersparnis von 3782€ im Jahr.

Tabelle 12: Wirtschaftlichkeitsberechnung Photovoltaik „Hof Bornitz“

Bornitz 200 kWp					
Photovoltaik	Einheiten	Menge	Preis	Baukosten Var.1	Baukosten Var.2
Anlagengröße	kWp			200	200
Investition	€/kWp			750	800
Investitionssumme	€			150000	160000
jährliche Kosten:					
Nutzungsdauer / AfA	Jahre / AfA in % / €	20		7500	8000
Zinssatz / Zinssatz		0,025		1875	2000
Unterhaltung, Wartung, ...		0,01		1500	1600
Versicherung		0,01		1500	1600
jährliche Gesamtkosten	€ p.a.			12375	13200
Vergütung	ct/ kWh		8,53	8,53	8,53
Leistungen p.a.:	h	900			
Stromerlös	kWh el./Jahr			180000	180000
Summe jährlicher Leistungen	€ p.a.			15354	15354
kalkulatorischer Gewinn	€ p.a.			2979	2154
kalkulatorischer Gewinn	€ in 20 Jahren			59580	43080
Technische Analyse					
Auslastung/ Jahr	%	10,27%			
wirtschaftliche Analyse:					
Pay-Off	Jahre			14,31434297	15,75733701
- Maximale Investition	€/kWp			930,50	930,50
- Mindestpreis Produkt	€/kWh el			0,0688	0,0733
Eigenverbrauch inkl. EEG Umlage	€/kWh el	40%	0,06405	0,1109	0,1109
Eigenverbrauch von Produzierterme	kWh	16,67%		30000	30000
Eigenverbrauch Ersparnis je Jahr	€		0,237	3782,4	3782,4

3.3.2. Dachflächenverpachtung

Als Alternative zu der eigenen Investition in eine Photovoltaik-Anlage besteht immer noch die Möglichkeit, die Dachflächen zu verpachten. Die Verpachtung wird in der Regel für 20 Jahre festgeschrieben - mit der Option für bis zu zwei Mal 5 Jahre Verlängerung. Der Betreiber lässt sich eine Grunddienstbarkeit zur Besicherung im Grundbuch eintragen. Für die Dachfläche zahlt er (zum Beispiel siehe Anhang RG Energy) entsprechend dem Solarertrag multipliziert mit der Einspeisevergütung von 7,68 ct/kWh eine anteilige Pacht von 625 €/Jahr.

Ein Bezug von Strom aus dieser Anlage ist auch möglich, dann muss aber die volle EEG-Umlage gezahlt werden. Der Preis liegt dann bei ungefähr 16 ct/kWh. Dieses macht dann bei 30000 kWh und einem jetzigen Strompreis von 23,7 ct/kWh einen Preisvorteil von 7,7 ct bzw. 2310 €/Jahr aus.

Abbildung 5. Dachflächen Pachtangebot

Gebäude	Fläche	Module	Leistung	Einstrahlung	Solarertrag	cent/kWh	Dachpacht	25 €/m ² (143 €/kWp)
Fläche	m ²	Anzahl	kWp	kWh/kWp	kWh	10,28	€	
1	847	450	128,3	785	100.676	10.350	621	
2	549	270	77,0	877	67.485	6.937	416	
3	986	528	150,5	697	104.885	10.782	647	Sanierung
4	1.040	560	159,6	907	144.757	14.881	893	Sanierung
5	686	342	97,5	785	76.514	7.866	472	
6	607	85	24,2	877	21.245	2.184	131	
7	713	380	108,3	785	85.016	8.740	524	
8	561	300	85,5	877	74.986	7.709	463	
Gesamt	5.990	2.915	830,8		675.564	69.448	4.167	
Schnitt:				824				
Vorteil Solarstromverkauf an Verpächter des Daches:					11.160 €	jährlich bei	15,50 cent/kWh	

Quelle: Angebot Göhlert R. RGEnergy

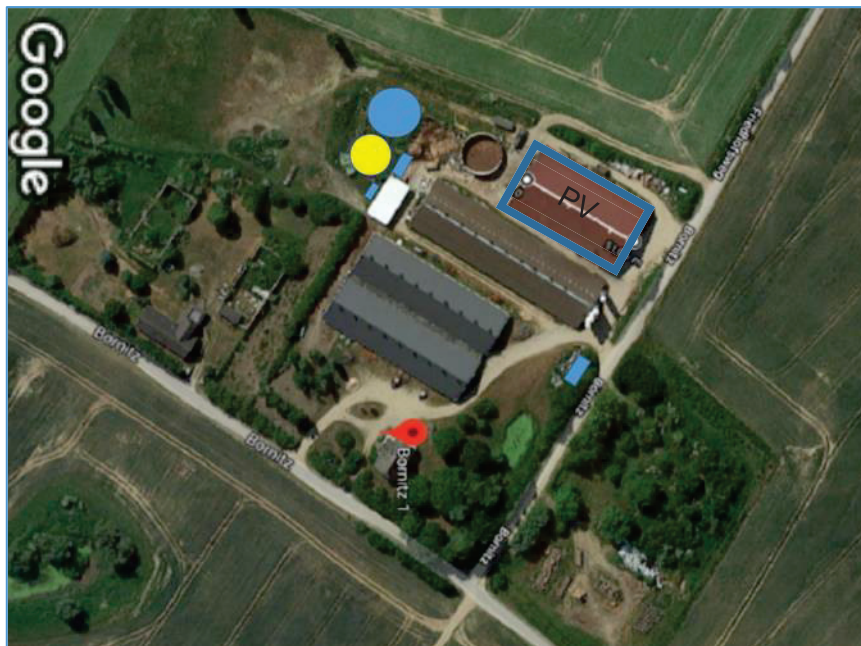
4. Schlussbetrachtung: Synergien und Kombinationsmöglichkeiten

Das Ziel dieser Arbeit ist es, entsprechend der betrieblichen Ressourcen, der Förder- und gesetzlichen Rahmenbedingungen, sowie der wirtschaftlichen Betrachtungen eine Kombination der Systeme zu bedenken.

Dazu kann abschließend geschlussfolgert werden:

Eine 75 kW Biogas-Anlage könnte mit ca. 525600 kWh viel Wärme liefern. Im Sommer sollte das gut reichen, da dann die Anlage selber weniger Prozesswärme benötigt. Im Winter hingegen müsste die bereits vorhandene Heizung zusätzlich aktiviert werden. Diese fehlende Wärme würde aber weiter zu gleichen Kosten dem Betrieb zur Verfügung stehen, da in den Kalkulationen die Kosten von 4,4 ct/kWh der Biomasse-Heizung mit Hackschnitzeln zugrunde gelegt wurden.

Abbildung 6: Hof Ansicht mit Biogasanlage und PV-Anlage



Quelle: Google maps (Stand 22.05.2019)

Die Biogas-Anlage würde an der Südseite des Betriebes hinter der vorhandenen Mistplatte geplant werden. Der Weg für den Eintrag der Kälber-Gülle ist mit knapp 40 Metern überschaubar; nach aktuell geltendem Gesetz müssen alle neuen Rohrleitungen doppelwandig mit Leck-Erkennung ausgeführt werden. Der Feststoffeintrag wäre von der genehmigten Mistplatte aus mit Stopfschnecken möglich. Für die Wirtschaftlichkeitsfrage ist bei diesen

Überlegungen entscheidend, die Investitionskosten so gering wie möglich zu halten; dies wurde bereits besonders deutlich bei dem Vergleich mit den beiden teureren Varianten. Ein guter Nebeneffekt wäre, dass durch den neugebauten Gülle-Lagerraum die Mistplatten an den beiden anderen Standorten nicht so umfangreich saniert werden müssten, da sie für die Zukunft deutlich kleiner ausfallen könnten. Der Gärrest aus der Biogas-Anlage kann zudem effizienter auf den Bioflächen ausgebracht werden, insbesondere auf dem Grünland. Der Nährstoffbedarf kann den Kulturen besser angepasst werden und die Emissionen bei der Ausbringung sind für die Umwelt reduziert.

Der Strom bei der 75 kW Gülle-Mist-Anlage kann noch zu guten Einspeisevergütungen nach dem EEG 2017 ab dem Jahr 2020 noch mit 22,26 ct/kWh eingespeist werden. Der Eigenverbrauch vom Strom ist dabei nicht sinnvoll, da noch die EEG-Umlage zu 40% in Höhe von 2,56 ct/kWh abgeführt werden müsste, womit der Strompreis über dem derzeitigen Zukaufniveau läge.

Für diesen Fall ist es dann interessanter, auf der Dachfläche der Mehrzweckhalle eine Photovoltaik-Anlage selbst zu installieren. Diese könnte die benötigte Energie deutlich günstiger produzieren und würde dem gesamten Betrieb den Strom für 11,09 ct/kWh inkl. EEG-Umlage zur Verfügung stellen.

In der Photovoltaik-Berechnung ist dies schon einmal für „Hof Bornitz“ dargestellt und könnte sich durch die Biogas-Anlage erhöhen, da dadurch der Strombedarf zusätzlich schnell über 45000 kWh ansteigen könnte, der zu ca. 40% oder mehr, wenn der Substrat-Eintrag zeitlich angepasst ist, durch die Photovoltaik-Anlage gedeckt würde. Der Photovoltaik-Anlage würde in diesem Fall die Ost-West-Ausrichtung der Halle zugute kommen, morgens wird dann früher die Grundlast für den Betrieb geliefert; das Gleiche gilt dann in den Abendstunden für die Westseite. Die Anlage schafft dadurch nicht den Höchstertrag, wie eine Anlage mit Süd-Ausrichtung, soll aber noch über 900 Volllaststunden leisten. (vgl.: Anhang 4.: Dachpachtangebot, RGEnergie S.X)

Die Verpachtung der Dachflächen ist zurzeit nicht zu empfehlen. Der Rückkauf von Strom aus der Fremdanlage wäre zwar möglich, ist mit knapp 16 ct/kWh aber recht hoch, da die volle EEG-Umlage gezahlt werden müsste.

Dadurch dass der Betreiber der Anlage sich eine Grunddienstbarkeit eintragen lässt, ist der betriebliche Handlungsspielraum des Eigentümers des Hofes kleiner, und die finanzierenden Banken sehen dies in der Zwischenzeit auch sehr

kritisch, da es immer häufiger Probleme nach einem Weiterverkauf der Anlagen an Dritte gibt. Fehlende Wartungszertifikate oder Prüfprotokolle der Betreiber gefährden immer den Versicherungsschutz der landwirtschaftlichen Betriebe, wenn diese nicht erbracht werden.

Nun stellt sich die Frage, ob eine zusätzliche Kraft-Wärme-Kopplung auf Erdgas-Basis sich mit in das System einbinden lassen würde und die Synergie-Effekte sich weiter optimieren lassen.

Bei den beiden großen Anlagen fällt sofort auf, dass dies aufgrund der hohen Wärmeleistung nicht möglich ist. Es wäre ein zu hoher Wärme-Überschuss vorhanden.

Das kleine BHKW produziert mit 5,5 kW el. und 14,8 kW th. Leistung fast den gesamten Strombedarf mit 47.850 kWh. Der Strom wird mit 12,6 ct/kWh innerhalb des KWK-Förderzeitraums von 60.000 Stunden - und danach mit 8,3 ct/kWh - sehr kostengünstig produziert. Das Einspeisen lohnt sich nicht, da dieser Strom nur mit 11,75 ct/kWh vergütet würde. Eine Kombination mit einer Photovoltaik-Anlage ist somit nicht so effektiv, da das Einsparpotenzial der Photovoltaikanlage sinkt.

Eine Möglichkeit wäre, das 5,5 kW BHKW in der Zeit laufen zu lassen, in der die PV-Anlage keinen Strom liefert; in der Tabelle 13 ist diese Zeit mit 5110 Stunden im Jahr angenommen, das wären im Durchschnitt 14 Stunden Laufzeit pro Tag.

Tabelle 13: 5,5kW BHKW Dachs

5.5 kW BHKW 5110 Laufzeit Nachts			
BHKW		18.000,00 €	
Anschluss		7.000,00 €	
Zins	2,5%	312,50 €	
AFA	11,741683	2.129,17 €	
Versicherung		500,00 €	
Reparatur % v.Bausumme	2%	500,00 €	
Gas	0,049	103733	5.082,92 €
Kosten			8.524,58 €
Leistung el.kW	5,5	28105	
Leistung th.kW	14,8	75628	
Betriebsstunden	5110	60000	
Eig. Verbr. Tag 0%	0,124 €	0	- €
Eig. Verbr. Nacht 100%	0,185 €	28105	5.197,95 €
Stromerlös Tag + Nacht			5.197,95 €
Wärme	0,04 €	75628	3.327,63 €
kal. Leistung			8.525,58 €
Gewinn		1,00 €	
Laufzeit in Jahren	11,741683		
Eigenwärmeanteil	10%		
Eigenstormkosten+EEG	0,02562 €	0,171 €	

Quelle: Eigene Berechnung

Das BHKW könnte somit nachts den Strom für die Grundlast für 17,1 ct/kWh inkl. EEG-Umlage liefern; die KWK-Vergütung als Zuschuss mit 4 ct/kWh würde sogar für 11,75 Jahre gezahlt.

5. Zusammenfassung / Ausblick / Empfehlung

Die 75kW Biogasanlage kann mit der Photovoltaik-Anlage sehr gut kombiniert werden. Diese Anlagen beeinflussen sich nicht gegenseitig hinsichtlich der Gesamtkosten, sondern optimieren die möglichen Einsparpotentiale.

Ein kleines BHKW mit z.B. 5,5 kW el. Leistung von SenerTec könnte die Grundlast des Betriebes auch noch betriebswirtschaftlich sinnvoll ergänzen. Die Lücke in der Grundlast könnte in der Zukunft auch ein kostengünstiger Stromspeicher schließen. Der Speicher wäre ideal, um die Grundlast in der Nacht zu decken, könnte aber auch die Stromspitzen der Biogas-Anlage und bei der Fütterung der Tiere ausgleichen.

Nach der Auswertung der möglichen Alternativen in meiner Arbeit kann dem Betrieb „Hof Bornitz“ empfohlen werden, zunächst

- die Möglichkeit einer Baugenehmigung für eine 75 kW Biogas-Anlage an dem Standort zu prüfen; dabei sollte der ersten Variante mit den niedrigsten Baukosten und dem besten Wärmekonzept der Vorrang gegeben werden;
- den Bau einer eigenen Photovoltaik-Anlage weiter zu planen, um die Einsparmöglichkeiten in Gänze nutzen zu können.

Sollte es nicht möglich sein, eine zusätzliche Genehmigung für eine 75 kW Biogas-Anlage zu erhalten, dann wäre der Betrieb einer KWK-Anlage auf Erdgasbasis sinnvoll.

Die 50 kW KWK-Anlage könnte die Wärme für die Tierhaltung vollständig erzeugen. Das Einsparpotential beim Strom ist bis 60.000 Betriebsstunden im Vergleich der Varianten auch am höchsten, nach der KWK-Förderung ist der Eigenstromverbrauch im Verhältnis zum Verkauf zu gering, die Kosten steigen an.

Hinsichtlich des größtmöglichen Einsparpotentials wäre das kleine BHKW am besten geeignet. Die Biomasseheizung würde weiter die noch benötigte Wärmeenergie liefern.

6. Literaturverzeichnis

BHKW-INFOZENTRUM RASTATT (WWW.BHKW-INFOZENTRUM.DE), ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR SPARSAMEN UND UMWELTFREUNDLICHEN ENERGIEVERBRAUCH E. V. (WWW.ASUE.DE) : BHKW-Kenndaten 2014/2015 – Module, Anbieter, Kosten. Online im Internet. URL: <https://www.bhkw-infozentrum.de/bhkw-markt-und-bhkw-anbieter/bhkw-kenndaten.html>. (Stand 04.05.2019).

BUNDESNETZAGENTUR: EEG-Registerdaten und Fördersätze. Online im Internet. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Elektrizitaetund-Gas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/EEG_Registerdaten_node.html. (Stand 30.05.2019).

BUNDESNETZAGENTUR: EEG-Umlage sinkt im Jahr 2019 auf 6,405 ct/kWh. Pressemitteilung Bonn, 15. Oktober 2018. Online im Internet. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Presse/Pressemitteilungen/2018/20181015_EEGUmlage.pdf?__blob=publicationFile&v= (Stand 04.05.2019).

DAA DEUTSCHE AUFTRAGSAGENTUR GMBH: Einspeisevergütung für Photovoltaik 2019. Online im Internet. URL: [://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/wirtschaftlichkeit/einspeiseverguetung](http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/wirtschaftlichkeit/einspeiseverguetung). (Stand 25.05.2019).

DOBELMANN, J.K.: BIOMASSE – ENERGIE AUS DER SONNE. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie Hrsg: Bioenergieanlagen: Planung und Installation Leitfaden für Investoren, Architekten und Ingenieure. München, 2004. S.2-28/2-29.

DÖHLER, H. NIEBAUM, A. JÄGER, P. KEYMER, U.: Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. KTBL-Schrift 420 (Hrsg.): Die Landwirtschaft als Energieerzeuger wo liegen die Chancen für Biogas, Biokraftstoff, Biobrennstoff und Fotovoltaik. KTBL-Tagung vom 30. bis 31. März in Osnabrück. Münster, 2004.

ENBEKON GMBH: Strom Direktvermarktung Erlösrechner. Online im Internet. URL: <https://www.vr-enbekon.de/strom-direktvermarktung/erloesrechner/>. (Stand 30.05.2019).

EUROPEAN ENERGY EXCHANGE AG: Üblicher Strompreis gemäß KWKG-Gesetz. Online im Internet. URL: <https://www.eex.com/de/marktdaten/strom/spotmarkt/kwk-index>. (Stand 04.05.2019).

- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2018. Festbrennstoffe Biokraftstoffe Biogas. Gülzow, 2018. Online im Internet. URL: http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Basisdaten_Bioenergie_2018_k.pdf (Stand 18.05.2019).
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR): Bioenergie die vielfältige erneuerbare Energie. Online im Internet. URL: https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr_brosch_re_bioenergie_2013_dt._web.pdf (Stand 18.05.2019).
- FESCHHUT, M. OSTERTAG, J. THURNER, S. EDER, J.: Körnermaisstroh für die Biogasproduktion der Landwirtschaft In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.): Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. FNR / KTBL-Kongress von 22. Bis 23. September 2015 in Potsdam. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), 2015, S.328-329.
- GESETZ FÜR DIE ERHALTUNG, DIE MODERNISIERUNG UND DEN AUSBAU DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG (KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ) vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2498), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706).
- HÄUßERMANN, U. / DÖHLER, H.: Bauern unter Sonnen-Strom – Technik und Wirtschaftlichkeit von Fotovoltaikanlagen in der Landwirtschaft. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), 2011.
- KTBL-ARBEITSGRUPPE „ANPASSUNGSSTRATEGIEN FÜR BIOGASANLAGEN“: Anpassungsstrategien für Biogasanlagen. KTBL-Heft 118. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), 2017.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (KTBL) IN ZUSAMMENARBEIT MIT DER FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR) (HRSG.): Faustzahlen Biogas. 3. Ausgabe. Darmstadt, 2013.
- MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN UND FISCHEREI DES LANDES MECKLENBURG-VORPOMMERN: Düngung, Hinweise und Richtwerte für die landwirtschaftliche Praxis. Leitfaden zur Umsetzung der Düngeverordnung. Schwerin, 2004.
- NEUMANN, H: Maisstroh - Aus Reststoff wird Rohstoff. In: Top Agrar 48 (2019), Nr. 5, S.102-105.

- NEXT KRAFTWERKE GMBH: Was sind Nennleistung, installierte Leistung und Bemessungsleistung? Online im Internet. URL: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/nennleistung>. (Stand 30.05.2019).
- SCHATTAUER, A. WEILAND, P.: GRUNDLAGEN DER ANAEROBEN FERMENTATION. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Gülzow, 2005 S.86-87.
- SCHILLING F. UND TIJMENSEN M.: BIOGASANLAGE Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie Hrsg.: Bioenergieanlagen:- Planung und Installation Leitfaden für Investoren, Architekten und Ingenieure. München, 2004. S.3-1/3-58.
- SCHMITZ, J. UND GERLACH, D.: Ihr BHKW. O.O: scone-marketing GmbH, 2017.
- QUASCHING, V.: Regenerative Energiesysteme. Technologie – Berechnung – Simulation. München: Karl Hanser Verlag, 2015.
- VOGEL, T., DR. DIETZE. M., DR. HEILMAN, H.: Wirtschaftlichkeit der energetischen Halmgutnutzung. Fachvortrag. Tagung Heizen mit Halmgut14. Dezember 2017 in Ringsheim. Online im Internet. URL: https://veranstaltungen.fnr.de/fileadmin/veranstaltungen/2017/heizen_mit_halmgut/telse_vogel.pdf (Stand 18.05.2019).

Anhang

Anhang 1: Gülle-Analyse	VII
Anhang 2: Lüftungsraten Denkavit	VIII
Anhang 3: Novatech	IX
Anhang 4: Dachpachtangebot RG Energy	X
Anhang 5: Brennstoffvergleich Hackschnitzel – Stroh / Heu	XI

Anhang 1: Gülle-Analyse

Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
der LMS Agrarberatung GmbH



LUF Rostock der LMS Agrarberatung GmbH - Graf-Lippe-Str. 1 - 18059 Rostock

Hof Bornitz
Ricarda & Kai-U. Flöthmann GbR
Bornitz 1

17111 Verchen

Telefon: 0381 203070
Telefax: 0381 2030790
Mail: info@lms-lufa.de



Prüfbericht

Labornummer: 19-02557-002
Probe-Nr.: 1
Probenbezeichnung: Rindergülle (Verchen)
Probenehmer: Auftraggeber
Probenahme: 28.02.2019

Datum: 13.03.2019

Probenbehälter: PE-Behälter, unverpl.
Prüfzeitraum von: 28.02.2019
bis: 13.03.2019

Untersuchungsergebnisse

Parameter	Einheit	Ergebnis in FM	Methode
-----------	---------	----------------	---------

Inhalts- und Nährstoffe in der Frischmasse

Trockenmasse	%	4,87	VDLUF II 11.5.1*
pH-Wert		8,3	DIN EN 12176-S5
Organische Masse	%	3,49	VDLUF II 10.1
Stickstoff ges. als N	%	0,40	VDLUF II 3.5.2.7
Ammonium-N (NH ₄ -N)	%	0,34	DIN 38406-E5-2: 1983-10
Phosphor, ges. als P ₂ O ₅	%	0,12	VDLUF II.1. 4.4
Kalium, ges. als K ₂ O	%	0,22	VDLUF II.1. 4.4
Magnesium, ges. als MgO	%	0,09	VDLUF II.1. 4.4
Schwefel, ges. (S)	%	0,03	VDLUF II.1. 4.4

(Berechnungsgrundlage: Dichte = 1 kg/l)

Trockenmasse	kg/m ³	48,72	VDLUF II 11.5.1*
Organische Masse	kg/m ³	34,89	VDLUF II 10.1
Stickstoff ges. als N	kg/m ³	3,98	VDLUF II 3.5.2.7
Ammonium-N (NH ₄ -N)	kg/m ³	3,43	DIN 38406-E5-2: 1983-10
Phosphor, ges. als P ₂ O ₅	kg/m ³	1,19	VDLUF II.1. 4.4
Kalium, ges. als K ₂ O	kg/m ³	2,17	VDLUF II.1. 4.4
Magnesium, ges. als MgO	kg/m ³	0,90	VDLUF II.1. 4.4
Schwefel, ges. (S)	kg/m ³	0,26	VDLUF II.1. 4.4

Gasausbeute nach Weißbach

CoTS	g/kg	17	358	nach Weißbach*
Biogas nach Weißbach	l/kg	14	286	nach Weißbach
Methan nach Weißbach	l/kg	7	150	nach Weißbach

n.n. = nicht nachweisbar, n.b. = nicht bestimmbar, *) = Methode validiert, aber nicht akkreditiert, **) = Untersuchung erfolgte durch Fremdlabor,
grün markierte Ergebnisse = Zielbereich erreicht, gelb markierte Ergebnisse = Zielbereich nicht erreicht

Hinweis: Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die angelieferten Proben. Der Prüfzeitraum liegt zwischen Probeneingangs- und Prüfberichts-Datum.
Ohne schriftliche Genehmigung ist es nicht erlaubt, den Prüfbericht auszugsweise zu vervielfältigen.

Seite 1 von 2

Anhang 2: Lüftungsraten Denkavit



Stal : Flothmann
Afdeling : Stall 1

EINSTELLINGEN VENTILATION bis 275 Kg

Tiere pro Futtergang 50
Ventilatoren pro Futtergang 1
Kapazität-Ventilator 11.000 m³/h
Lufteinlassen 1
Breite von Tür(Lufteingang) 1,5 meter
Wie viel luft kommt durch Windnetze 100 %
(sind jetzt keine Netze da: darum 100%)

Bandbreite 6 °C

Min. Temperatur Ventilation Ist die Temperatur die Morgen im Stall gemessen wird

Gewicht pro Kalb (Kg)	Min. ventilation (m ³ /h)	Höhe Öffnung Lufteingang (cm)	Kapazität ventilator	Max. ventilation (m ³ /h)	Höhe Öffnung Lufteingang (cm)	Kapazität ventilator
50	500	8	5%	2.500	42	23%
60	600	10	5%	3.000	50	27%
70	700	12	6%	3.500	58	32%
80	800	13	7%	4.000	67	36%
90	900	15	8%	4.500	75	41%
100	1.000	17	9%	5.000	83	45%
125	1.250	21	11%	6.250	104	57%
150	1.500	25	14%	7.500	125	68%
175	1.750	29	16%	8.750	146	80%
200	2.000	33	18%	10.000	167	91%
225	2.250	38	20%	11.250	188	102%
250	2.500	42	23%	12.500	208	114%
275	2.750	46	25%	13.750	229	125%

Kapazität ventilator	Kapazität m ³ pro Stunde	Höhe eingang (cm)
10%	1.100	18
20%	2.200	37
30%	3.300	55
40%	4.400	73
50%	5.500	92

Kapazität ventilator	Kapazität m ³ prp Stunde	Höhe eingang (cm)
60%	6.600	110
70%	7.700	128
80%	8.800	147
90%	9.900	165
100%	11.000	183

LET OP: berekening is gebaseerd op standaardwaarden. Stalventilatie is afhankelijk van o.a. windsnelheid, -richting en situering van overige gebouwen en obstakels.

G R O E I E N D O E S A M E N

• Deze informatie wordt u door Denkavit Nederland B.V. aangeboden.
Pagina 1 van 1

sluiting van iedere aansprakelijkheid.

Quelle: Eggens B. Denkavit

IX

NOVATECH[®]

Biosgas - Solar - Fotovoltaik

Datum: 12.04.2019
 Bearbeiter: Frank Christensen
 Angebotsnr.: 1021621

unverf. Auslegungsskizzen für:

Jan Reithmann

Baumz. 1, 17114 Verchen

Telefon: 039994/10553

Modell: 01922308473

Betriebscharakteristik: Fermenter 1208 m³ Biogasdruck: Ø 16 m / Gaserhitzer 2281 m³ Doppelhohl, Ø 22 m

	Anzahl Einheiten	Torrenth Erm.	Substrat- menge [t/a]	Substrat- menge [t/a]	Methan- gehalt [m ³ /t.a.]	Biogas [m ³ /t.a.]	Biogas [m ³ /t.a.]	TS-Eingang [t/a]	TS [%FM]	o/TS [%FM]	Substra- kosten [€/t.a.]	Substra- kosten [€/t.a.]
Rohergut	5000 t	1 t	5.000	13,7	55%	20.000	14	1,0	10%	9%	0	0
Schneemist	1000 t	1 t	600	16	55%	57.600	96	2,3	25%	20%	0	0
Massenmist	450 t	1 t	1.000	2,7	60%	60.600	81	2,5	25%	22%	0	0
Massenmist			490	1,3	53%	107.800	220	3,3	33%	32%	30	30
Summen bzw. Mittelwerte:			7.990	19,4	55%	316.087			15%	13%		14.700

Fermentergröße und -leistung:

Fermenter:
 hydraulische Verweilzeit: Fermenter [d]
 hydraulische Verweilzeit: Gaserhitzer [d]

54
 163

TS-Gehalt der Substratmischung:
 TS-Gehalt im Fermenter:
 TS-Gehalt der Substratmischung:

15%
 10,0%
 9,1%

Lagerbedarf:
 Lagermenge [t/a]:
 - Massenverlust [t/a] (1-3,5% p.a.)

7.090
 395
 6.695

Siebel [a]:
 Normbedarf [t/a] (1-3,5% p.a.)

5.021
 0

- Lager neu [m³/a]:
 normenreifer Zulauf [m³/a]:

2.129
 2.892

Installierte Gasverwertung:

verbrannte Gasmenge [m³]:
 Biogas-Typ:
 elektrische Wirkungsgrad:

316.087
 Gaserhitzer
 37,5%

rechnerische Dauerleistung [kW]:
 gewinnbare elektr. Leistung [kW]:

75
 100

daraus resultieren Vollaststunden
 entspricht einer Auslastung von:
 Brutto-Stromproduktion [kWh/a]:

6.549 h/a
 75%
 854.936

thermische Wärmeproduktion:
 Brutto Wärmeproduktion [kWh/a]:

63%
 918.696

Energieproduktion:

Biogas:
 prognostizierte Biogas-Produktion:
 Strom:
 Stromproduktion:
 Durchschnitt d. Wirkungsgrad 37,5%:

316.087 m³
 mit 55 % Methan
 654.936 kWh

Energieverkauf:
 inbetriebnahmefähige Anlage:
 Vergütung:

04 2019 - 01 2020
 22,26 ct/kWh

Summe Stromerinnahmen:
 145.791 €

Investitionskosten Biogasanlage:
 Substratkosten beruhen auf Kundenpreisen

Unter Auftragsvolumen:
 akkumulationsfähige Kosten (geschätzt):
 Behälterbau Biogasanlage:
 Gesamtinvestition Biogasanlage:

489.498 €
 73.400 €
 102.240 €
 666.238 €

Investitionsbedarf Landwirtschaft:
 Gülle- / Gärrestdeponieroller:
 anliegender Zäunungskosten:
 Gesamtinvestition Landwirtschaft:

95.994 €
 10.000 €
 105.994 €

Investitionsbedarf Gesamt:
 772.230 €

Laufende Kosten Biogasanlage:

Abstreubung:
 Zins: jährlich für 12 Monate:
 Wartung, Reparatur:
 BHKW-Wartung:
 Versicherung:
 Personalkosten:
 Substratkosten:

15 Jahre
 8.328 €/a
 1.5%
 9.904 €/a
 1,0 ct/kWh
 3.387 €/a
 0,5%
 2.728 €/a
 14.700 €/a

el. Energie:
 5% der Prod.
 18 ct/kWh

5.894 €/a
 99.530 €/a

Summe der jährlichen Kosten:
 145.791 €/a

Einnahmen Biogasanlage:
 Stromverkauf:

145.791 €/a

Summe der jährlichen Einnahmen:
 145.791 €/a

Wirtschaftlichen Biogasanlage:
 jährlicher Überschuss:
 Kapitalverrentungsbeitrag:

49.944 €
 7,1 Jahre

Kosten für Gülle- / Gärrestlagerung:
 Wirtschaftlichkeit (Gesamteinvestition):
 Biogasanlage und Landwirtschaft:
 jährlicher Überschuss:

Anhang 4: Dachpachtangebot RG Energy

Seite 1 von 1

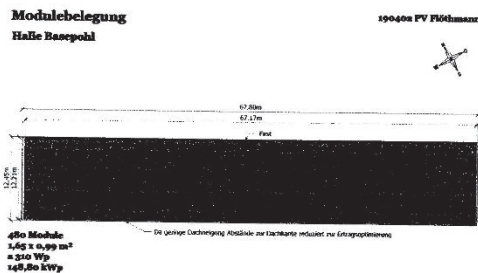
Kundeninformation Solarstromanlage

Flöthmann,

190402 PV 130 kWp

Solarer Ertrag, Dachpacht

Auf dem Lageplan erkennen Sie welche Flächen auf Ihrem Grundstück für die zukünftig zu installieren Photovoltaik - Anlage ausgewählt wurden bzw. werden können.



Insgesamt haben wir für Sie folgende Daten ermittelt und ausgewertet:

Gesamte Dachfläche, die mit Modulen belegt wird: **844 m²**

Das ergibt eine Anzahl an Modulen mit den Maßen 1,650 m x 0,990 m **von 480 Stck**

und eine installierte Leistung von: **148,80 kWp**

Bei einem durchschnittlichen vom JRC (Joint Research Centre der Europäischen Kommission) über alle Dächer einzeln über einen Zeitraum von 10 Jahren gemessenen und hier gemittelten Jahreswert von:

911,00 kWh / kWp

ergibt sich ein Solarertrag von: **135.557 kWh / a**

Mit einer angenommenen Einspeisevergütung von: **7,68 cent / kWh**
(nach § 48 Absatz 3 EEG 2017)

und voraussichtlich einer anteiligen Dachpacht von: **6,00 %**

erhalten Sie jährlich: **625 €**

Sollten Sie eine an die Inflationsrate angepasste Dachpacht verhandeln, dann würden Sie bei 1,50% Inflationsrate nach

20 Jahren **14.444 €**
im Mittel jährlich **722 €**

erhalten. Ohne Anpassung erhalten Sie immerhin: **12.493 €**

Detailinformationen zu den einzelnen Flächen können wir Ihnen bei Interesse gerne zukommen lassen.

Ronny Göhlert

Geschäftsführender Gesellschafter
RGEnergy
Windkraft-Photovoltaik
24960 Glücksburg
Schlosshof

Steuernr: 15/084/02795

Tel: +49 4631 9429 653

E-Mail: info@rgenergy.de

www.rgenergy.de

Quelle: Angebot Göhlert R. RGEnergy

Anhang 5: Brennstoffvergleich Hackschnitzel – Stroh / Heu

Brennstoffvergleich			
	Hackschnitzel	Heu /Stroh	
Hartholz kWh/Smr	1050	533	kWh/Rm
Weichholz kWh/Smr	792	1,8	Rm/Ballen
Ø kWh/Smr	921	959,4	kWh/Ballen
Smr	2,5	2,5	Ballen
kWh	2302,5	2398,5	
kWh	2100	2100	
Ausnutzung %	91%	88%	
Quelle: Planung & Installation Bioenergieanlagen 2-28/29			

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Unterschrift