

Machbarkeitsstudie im Projekt „ProBiogas“ für die Praxisbiogasanlage „NDS-1“

Anlage NDS-1

- 1.080 kW_{el}
- 45 % NawaRo / 55 % Wirtschaftsdünger

Optimierungsmaßnahmen:

- Substratwechsel (Körnermaisstroh)
- Nahwärmenetz
- Hackschnitzelheizung

© Verena Wilken, LWK Niedersachsen

Verena Wilken | Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Erstellt: Dezember 2021

Diese Veröffentlichung entstand im Rahmen des Projektes „Biogas Progressiv: Zukunftsweisende Strategien für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ (ProBiogas) finanziert mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) aus dem Sondervermögen Energie- und Klimafond (FKZ: 22405416; 22407617; 22408117).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Durchführung und Annahmen	4
2.1	Darstellung und Berechnung des Ist-Standes der Biogasanlagen	5
2.2	Annahmen für die Berechnungen der Optimierungsoptionen.....	6
2.2.1	Allgemeine Annahmen.....	6
2.2.2	Annahmen Leistungen	6
2.2.3	Annahmen Kapitalkosten	7
2.2.4	Annahmen Substratkosten.....	7
2.2.5	Annahmen Betriebskosten und Allgemeine Kosten	7
3	Ist-Stand.....	8
3.1	Anlagenbeschreibung.....	8
3.1.1	Substratbereitstellung und -einbringung	9
3.1.2	Fermenterkaskade.....	9
3.1.3	Biogasverwertung	10
3.2	Kennzahlen	10
3.2.1	Substrate.....	10
3.2.2	Prozesskennzahlen.....	11
3.2.3	Strom- und Wärmeverwertung.....	12
3.3	Ökonomische Parameter.....	12
3.3.1	Leistungen	12
3.3.2	Kosten.....	13
a)	Kapitalkosten	13
b)	Substratkosten	14
c)	Betriebskosten und Allgemeine Kosten	15
3.3.3	Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis.....	16
4	Optimierungsstrategien	18
4.1	Optimierungsmaßnahme 1: Notwendige Anpassungen zum Weiterbetrieb im EEG 2021	19
4.1.1	Kennzahlen.....	20
4.1.2	Leistungen	21
4.1.3	Kosten.....	21
a)	Kapitalkosten	21



b)	Substratkosten	22
4.1.4	Betriebskosten und Allgemeine Kosten	23
4.1.5	Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis	23
4.2	Optimierungsmaßnahme 2: Ausbau Nahwärmenetz und Hackschnitzelheizung	24
4.2.1	Kennzahlen	25
4.2.2	Leistungen	26
4.2.3	Kosten	26
a)	Kapitalkosten	26
b)	Substratkosten	28
c)	Betriebskosten und Allgemeine Kosten	28
4.2.4	Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis	29
4.3	Gesamtkonzept	30
4.3.1	Kennzahlen	30
4.3.2	Leistungen	31
4.3.3	Kosten	31
4.3.4	Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis	31
4.3.5	Sensitivitätsanalyse	32
4.4	Fazit der Optimierungsstrategien	34
Literatur	36



1 Einleitung

Für zahlreiche Biogasanlagenbetreiber stellt sich mit Ablauf der 1. EEG-Förderperiode die Frage, wie ihre Anlage weiterhin rentabel regenerative Energie produzieren kann. Die im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2021) vorgesehene Verlängerung der Vergütung über die Ausschreibungen für Biomasseanlagen bietet grundsätzlich die Möglichkeit eines Weiterbetriebs, allerdings sind dafür technisch sowie ökonomisch optimierte Anlagenkonzepte notwendig.

Mit dem Projekt „Biogas Progressiv – zukunftsweisende Strategien für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ (ProBiogas) wird das Ziel verfolgt, praxistaugliche Verfahrensoptionen für den Weiterbetrieb von Biogasanlagen zu evaluieren. Die Evaluierung erfolgt zweistufig zunächst anhand der Durchführung einer techno-ökonomischen Analyse ausgewählter Biogasanlagen-Modelle (KTBL-Betriebsmodelle) und dann anhand von realen Praxisanlagen (Machbarkeitsstudien). Die dabei untersuchten Verfahrensoptionen sind:

- Substratwechsel/-anpassung
- Optimierung der Wärmenutzung
- Aufbereitung des Biogases zu Biomethan (Einspeisung, optional Nutzung als Kraftstoff)
- Flexibilisierung der Stromproduktion.

Weitere potenzielle Nutzungs- bzw. Einkommensoptionen, die im Projekt nicht techno-ökonomisch detailliert dargestellt werden konnten, werden in Form von Konzeptbeschreibungen (Exposés) vorgestellt.

Im Rahmen des Projekts wurden zwölf Machbarkeitsstudien an Praxisanlagen erstellt. Sie dienen zum einen dazu, die ausgewählten Verfahrensoptionen im praxisnahen Bezug anzuwenden und eine Erkenntnisquelle für Anlagenbetreiber zu erstellen und zum anderen, um die Erkenntnisse daraus zur Validierung der Biogasanlagen-Modelle zu nutzen.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie der Praxisanlage „NDS-1“ soll den Ausbau des Wärmenetzes inklusive der Anschaffung einer Hackschnitzelheizung techno-ökonomisch vorstellen und bewerten. Zusätzlich soll eine Substratumstellung, ein Flex-BHKW für den Satelliten sowie ein neues Gärproduktlager geplant werden um die Bedingungen zur Teilnahme am neuen EEG zu erfüllen. Die Höchstbemessungsleistung der untersuchten Biogasanlage beträgt 1.080 kW_{el}.

2 Durchführung und Annahmen

Für die Auswahl der Biogasanlagen wurden Betreiber angesprochen, die planen, den Anlagenbetrieb nach der ersten Förderperiode von 20 Jahren aufrecht zu erhalten. Es wurden Biogasanlagen mit einer Restförderlaufzeit von weniger als einem Jahr als auch solche mit mehr als zehn Jahren untersucht. Hintergrund ist die lange Amortisationsdauer vieler Optimierungsstrategien, die eine frühzeitige Planung unabdingbar macht.



Es wurden Biogasanlagen aus den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Thüringen ausgewählt, um ein breites Spektrum bezüglich Anlagengröße und Substratverhältnis zu erfassen.

2.1 Darstellung und Berechnung des Ist-Standes der Biogasanlagen

Für die Beschreibungen und Berechnungen des Ist-Standes der Biogasanlagen wurden unterschiedlichste Daten bei den Betreibern erhoben. Bezugsjahr für die ökonomischen Berechnungen ist je nach Datenlage eines der Jahre 2018-2020.

Die ökonomische Datenaufnahme erfolgte nach Strobel (2011). Die Kosten werden aufgeschlüsselt in Kapitalkosten, Substratkosten und Betriebs- und Allgemeine Kosten.

Die Abschreibungen wurden linear und statisch angenommen. Falls nicht vom Betreiber anders angegeben, werden die Abschreibungsdauern nach Tabelle 1 und der Zinssatz zu 1,5 % angenommen. Die Abschreibungsdauern sind nach DLG (2006) angenommen worden.

Tabelle 1: Abschreibungsdauer einzelner Komponenten nach DLG (2006)

Abschreibungsdauer in Jahren	
Grundstück	0
Erschließung	0
Planung	15
Bauliche Anlagen	20
Technische Anlagen	10
BHKW	7

Können die Kapitalkosten, aufgeschlüsselt in Abschreibungen und Zinslast, nicht den Betreiberangaben entnommen werden, so werden diese nach der Annuitätenmethode berechnet (Mußhoff und Hirschauer, 2016).

$$A = KW * \frac{q^N(q-1)}{q^N-1} \text{ mit } q = 1 + i_{\text{kalk}} \quad (1)$$

A = Gesamtkosten/Annuität in €/a

KW = Kapitalwert in €/a

i_{kalk} = Kalkulationszinssatz in %

Die Substratpreise wurden vom Betreiber erfragt und erfasst. Die Preise werden „frei Lager“ angegeben und enthalten damit alle Kosten für den Pflanzenbau, die Ernte, den Transport sowie die Einlagerung bzw. Silierung.

Betriebsstoffkosten werden vollständig aus den Betreiberangaben übernommen. Die Personalkosten wurden, falls nicht anders angegeben, vom Betreiber erfasst. Falls keine



Personalkosten genannt werden konnten, wurden diese in Höhe von 21 €/Arbeitskraftstunde (Akh) angenommen.

Die spezifischen Gesamtkosten werden auf die produzierte Strommenge im Bezugsjahr bezogen. Die Gesamrentabilität wird berechnet als das Verhältnis von Gewinn im Bezugsjahr zu den Gesamtinvestitionskosten.

2.2 Annahmen für die Berechnungen der Optimierungsoptionen

Die Berechnung der Optimierungsoptionen macht eine Reihe von Annahmen nötig.

2.2.1 Allgemeine Annahmen

Es wird angenommen, dass die Biogasanlagen im Jahr 2021 die Optimierungsmaßnahmen umsetzen.

Die Inflation wird nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass sich die Kosten durch Inflation und die Kosteneinsparungen durch die Verbesserung der Effizienz aufgrund der Weiterentwicklung der Technik ausgleichen. Diese Annahme wurde der Einfachheit halber angenommen, da die Inflation im Projektzeitraum starke Schwankungen aufwies und keine „genauer“ Ergebnisse durch Annahme einer Inflation erwartet wurde.

Der ggf. nötige Rückbau der Anlage bleibt hier unberücksichtigt, da er sowohl nach Ende der ersten Förderperiode als auch nach Ende der Weiterbetriebsperiode in vergleichbarer Höhe Kosten verursachen würde.

2.2.2 Annahmen Leistungen

Als Grundlage für alle Berechnungen, die eine Förderung nach dem EEG 2021 mit sich bringen, dienen die Vorgaben des EEG nach Stand 10.6.2021. Es wird zudem von einem Gebotszuschlag, der dem Maximalgebot entspricht (18,4 ct/kWh_{el}), ausgegangen. Um die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Maßnahmen bewerten zu können, wird außerdem für jede Optimierungsmaßnahme, die einen Übergang ins EEG 2021 vorsieht, die Änderung aufgrund der Vorgaben des EEG 2021 ohne weitere Optimierungsmaßnahme gerechnet.

Die Biogasanlagen im neuen EEG sind verpflichtet an der Direktvermarktung teilzunehmen und können daraus Mehrerlöse generieren. In Abhängigkeit der Überbauung wurden für alle Machbarkeitsstudien folgende Mehrerlöse angenommen (KTBL 2021a):

Tabelle 2: Angenommener spezifischer Erlös aus Direktvermarktung in Abhängigkeit der Überbauung (KTBL 2021a)

Spezifischer Erlös Direktvermarktung		
2,2-fache Überbauung (Mindestanforderung EEG 2021)	ct/kWh _{el}	0,56
3-fache Überbauung	ct/kWh _{el}	0,65
4-fache Überbauung	ct/kWh _{el}	0,73



2.2.3 Annahmen Kapitalkosten

Bei Bauwerken wie Fermentern, Gärproduktlagern, Fahrsilos, etc. wird davon ausgegangen, dass keine Alternativnutzung möglich ist, sodass angenommen wird, dass diese keinen Restwert nach der Abschreibungsdauer besitzen. Zudem wird angenommen, dass diese bei Umsetzung der Optimierungsstrategie vollständig abgeschrieben sind. Gleichzeitig wird angenommen, dass die Bauwerke eine Nutzungsdauer von über 30 Jahren besitzen, somit fallen im 10-jährigen Weiterbetrieb keine Fixkosten (Abschreibung und Zinsen) für diese Anlagenteile an.

Alle anderen Anlagenteile, deren Nutzungsdauer während des 10-jährigen Betrachtungszeitraums für den Weiterbetrieb ausläuft, werden durch neue Anlagenteile ersetzt. Der Investitionsbedarf für neue Anlagenteile wird aus aktuellen Angeboten oder aus der KTBL-Biogasanlagen-Datenbank (Preise werden in dieser mit einem Preisindex fortgeschrieben) entnommen (KTBL 2021a). Der Zinssatz wird zu 1,5 % angenommen.

Es wird davon ausgegangen, dass alle Anlagenkomponenten, die eine längere Laufzeit als 10 Jahre besitzen, trotzdem über 10 Jahre abgeschrieben werden. Dies soll der Unsicherheit der weiteren Förderung über die 10 Jahre hinaus Rechnung tragen und somit den Worst Case abdecken. Wenn im Einzelfall eine längere Abschreibung aufgrund einer Folgenutzung geplant ist, ist dies gesondert erwähnt.

2.2.4 Annahmen Substratkosten

Kosten für die Gärproduktausbringung und die Substrate wurden identisch zum Ist-Stand behandelt.

2.2.5 Annahmen Betriebskosten und Allgemeine Kosten

Die variablen Kosten werden für alle Bestandsanlagenteile als konstant angenommen. Ausnahme bilden die baulichen Instandhaltungskosten, welche mit zusätzlichen 100 % Aufschlag im Vergleich zum Ist-Stand bei Berechnung der Optimierungsoptionen angenommen werden, um den notwendigen Retrofitkosten und dem Alter der Anlage gerecht zu werden. Wenn die Instandhaltungskosten (Bau) im Ist-Stand unplausibel gering sind oder keine angegeben wurden, wird ein Wert, durch lineare Regression der Kostenposition Instandhaltung (Bau) in Abhängigkeit von der Bemessungsleistung der anderen untersuchten Biogasanlagen, bestimmt.

Die variablen Kosten der Folgeinvestitionen, beruhend auf den Optimierungsmaßnahmen, werden auf Grundlage der in der KTBL-Datenbank (KTBL 2021a) hinterlegten Werte für Wartung, Reparaturen, Betriebsmittelverbrauch und Arbeitsaufwand oder aufgrund von Literaturwerten bestimmt. Die genaue Vorgehensweise wird jeweils bei jeder Machbarkeitsstudie erläutert.



3 Ist-Stand

Die Biogasanlage NDS-1 liegt im Landkreis Rotenburg und wird von acht Landwirten betrieben (siehe Tabelle 3). Neben dem extern eingestellten Geschäftsführer arbeitet einer der Landwirte an der Biogasanlage, dieser sorgt für die Substrateinbringung und Instandhaltung.

Tabelle 3: Allgemeine Informationen zur Biogasanlage NDS-1 (Ist-Stand) im Bezugsjahr 2019

Allgemeine Informationen		
Standort	Rotenburg (Niedersachsen)	
Betriebsform	GmbH & Co. KG (8 Gesellschafter)	
Genehmigung	BlmSchG	
Vergütung nach EEG	Jahr	2009
Direktvermarktung	Ja/Nein	Ja
Inbetriebnahmejahr	Jahr	2009/2011
Installierte elektrische Leistung	kW _{el}	1.774
Elektrische Höchstbemessungsleistung (HBL)	kW _{el}	1.080

Die gesamte Anlage hat eine Höchstbemessungsleistung von 1.080 kW_{el} und eine installierte Leistung von 1.774 kW_{el}. Die Anlage wurde 2009 in Betrieb genommen, 2011 folgte das BHKW am Satelliten-Standort. Beide werden momentan nach dem EEG 2009 vergütet. Mit dem Ende des ersten Vergütungszeitraums im Jahr 2029 müsste die Anlage in die Ausschreibung des neuen EEG wechseln, der Satellit erst im Jahr 2031.

3.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage besitzt ein beheiztes Gärvolumen von 9.227 m³ und ein gasdichtes Gärvolumen von 12.614 m³ (siehe Abbildung 1).

Die Verwertung des Biogases erfolgt über eine Vor-Ort-Verstromung mittels zwei Blockheizkraftwerken (BHKW) an der Anlage mit einer Gesamtleistung von 1.174 kW_{el} sowie einem BHKW mit 600 kW_{el} installierter Leistung am Satellitenstandort.



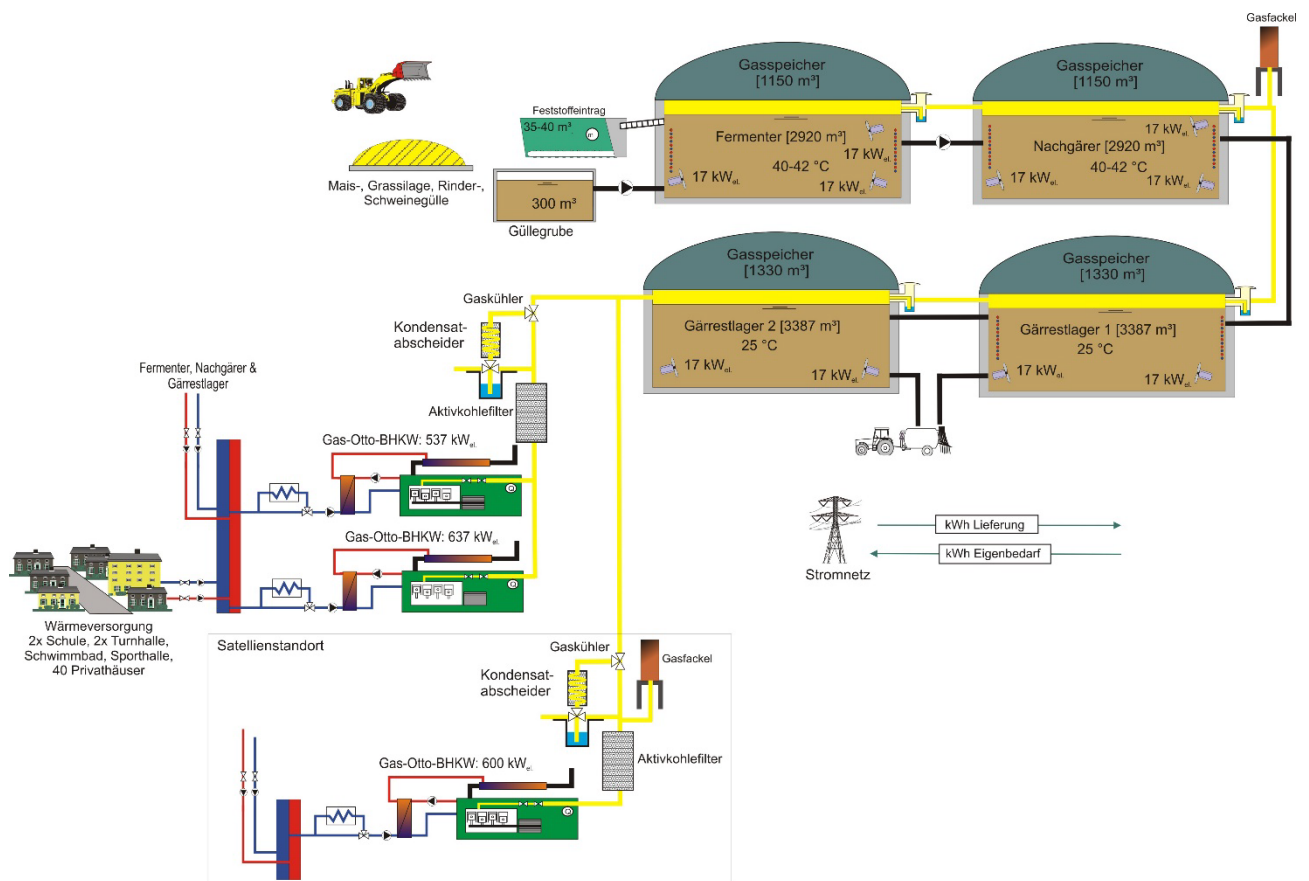


Abbildung 1: Anlagenschema der Biogasanlage NDS-1 (Quelle: Verena Wilken; Illustration: Universität Hohenheim)

3.1.1 Substratbereitstellung und -einbringung

Die Gülle wird wöchentlich von sechs Betrieben der Gesellschafter, die sich im Umkreis von ca. 3,5 km um die Biogasanlage befinden, angeliefert und bis zum Einsatz in einer Vorgrube gelagert. Der Mais und das Gras für die Silage werden ebenfalls von den Betreibern geliefert und direkt an der Biogasanlage einsiliert. Die Beschickung vom Silo in den Feststoffeintrag erfolgt täglich mit einem Radlader. Vom Feststoffeintrag wird die Silage stündlich per Futerschnecke in den Fermenter transportiert.

3.1.2 Fermenterkaskade

Die Biogasanlage besteht aus vier Behältern, die alle mit einem Tragluftdach ausgestattet sind (siehe Abbildung 1). Nur der Fermenter wird direkt beschickt, aber das Substrat wird zwischen Fermenter und Nachgärer mit einer Pumpe zirkuliert, so dass die Gasproduktion in beiden Behältern etwa gleich ist. In allen Behältern sind die gleichen Tauchmotorrührwerke verbaut, im Fermenter und Nachgärer jeweils drei und in den Gärproduktlagern jeweils zwei, wobei stündlich für 5-10 Minuten gerührt wird. Alle vier Behälter sind isoliert. Die Gärproduktentnahme erfolgt aus den beiden Gärproduktlagern.



3.1.3 Biogasverwertung

Das Biogas wird aus dem zweiten Gärproduktlager zur Gasverwertung geleitet. Den BHKW an der Anlage sind ein Kondensatschacht sowie ein Aktivkohlefilter vorgeschaltet. Für den Satelliten wird das Gas an der Anlage über einen Gastransportcontainer (GTC) gekühlt und verdichtet und dann über ein Verdichterrad zum BHKW gedrückt. Vor dem GTC für den Satelliten befindet sich noch ein Aktivkohlefilter (siehe Abbildung 1). Ein Teil des produzierten Biogases wird vor Ort durch zwei BHKWs verstromt und der produzierte Strom ins Netz eingespeist. Die BHKWs haben eine installierte elektrische Leistung von 637 und 537 kW_{el}, wobei das erste etwa 80 % und das zweite etwa 20 % der Leistung produziert. Der andere Teil des Gases wird zu einem Satelliten-BHKW mit 600 kW_{el} Leistung über eine 1.900 m lange Gasleitung geleitet und dort verstromt. An der Anlage ist eine fest montierte Gasfackel installiert.

3.2 Kennzahlen

3.2.1 Substrate

Als Substrate dienen die Wirtschaftsdünger Rinder- und Schweinegülle. Darüber hinaus werden die nachwachsenden Rohstoffe Maissilage und Grassilage eingesetzt (siehe Tabelle 4).



Tabelle 4: Kennzahlen der Biogasanlage NDS-1 (Ist-Stand) im Bezugsjahr 2019

Substrateinsatz		
Wirtschaftsdünger		
Rindergülle	t FM/a	15.659
Schweinegülle	t FM/a	1.909
<i>Summe Wirtschaftsdünger</i>	<i>t FM/a</i>	<i>17.568 (± 55 %)</i>
Nachwachsende Rohstoffe		
Maissilage	t FM/a	13.917
Grassilage	t FM/a	243
<i>Summe Nachwachsende Rohstoffe</i>	<i>t FM/a</i>	<i>14.160 (± 45 %)</i>
Täglicher Substrateinsatz	t FM/d	86,9
Prozesstechnische Kennzahlen		
Hydraulische Verweilzeit (aktive Stufen)	d	106
Hydraulische Verweilzeit (gasdicht)	d	145
Organische Raumbelastung (aktive Stufen)	kg oTM/(m ³ · d)	2,04
Methangehalt im Biogas	%	52
Spez. Methanproduktion	m ³ CH ₄ /t oTM	312
Theoretische Spez. Methanproduktion nach KTBL	m ³ CH ₄ /t oTM	336
Energieerzeugung und -verwertung		
Stromverwertung		
Eigenstromverbrauch (Zukauf)	kWh _{el} /a	591.536
Stromerzeugung (eingespeist)	kWh _{el} /a	8.376.164
HBL Ausnutzungsgrad	%	89
Wärmeverwertung		
Eigenwärmenutzung (geschätzt)	kWh _{th} /a	ca. 1.314.000
Externe Wärmeabgabe	kWh _{th} /a	2.718.407
Anteil Wärmeabgabe an prod. ges. Wärmemenge (Eigenwärme unberücksichtigt)	%	31

HBL = Höchstbemessungsleistung

Nach dem neuen Maisdeckel im EEG 2021 dürfen maximal 40 % Mais und Getreide eingesetzt werden. Dies wird in der Anlage NDS-1 mit 44 % Maissilage momentan nicht eingehalten.

3.2.2 Prozesskennzahlen

Die hydraulische Verweilzeit im aktiven (=beheizten) System beträgt 106 Tage und im gasdichten 145 Tage (siehe Tabelle 4). Bei einem Wechsel in die Ausschreibung muss eine Verweilzeit von 150 Tagen im gasdichten System eingehalten werden, somit wäre hier ebenfalls eine leichte Anpassung notwendig.

Die organische Raumbelastung im aktiven System (also bezogen auf die ersten drei Behälter) der Anlage NDS-1 ist mit 2,04 kg oTM/(m³ · d) relativ gering.



Die spezifische Methanproduktion ist trotz des hohen Gülleanteils aufgrund des Maisanteils recht hoch. Allerdings ist sie geringer als die nach KTBL berechnete theoretische Methanproduktion.

3.2.3 Strom- und Wärmeverwertung

Die Höchstbemessungsleistung der Anlage NDS-1 beträgt 1.080 kW_{el} und wurde mit einer eingespeisten Strommenge von 8.376.164 kWh_{el} im Jahr 2019 zu 89 % ausgenutzt (siehe Tabelle 4). Die Anlage ist Volleinspeiser, der Eigenstrom wird also zugekauft.

Die Wärmeproduktion durch den Betrieb der BHKW im Jahr 2019 betrug nach Rückrechnung 8.806.736 kWh_{th}, wovon nach Schätzungen des Betreibers etwa 1.314.000 kWh_{th} durch die Nutzung als Eigenwärme nicht zum Verkauf zur Verfügung stehen. Extern wird die Wärme zur Wärmeversorgung von zwei Schulen, zwei Turnhallen, einem Theatersaal, einem Schwimmbad, einer Sporthalle sowie 40 Privathäusern genutzt. Hierbei wurden 2.718.407 kWh_{th} verbraucht und somit 31 % der gesamten anfallenden Wärme bzw. 36 % der nach Abzug des Eigenbedarfs noch zur Verfügung stehenden Wärme genutzt. Es ist also noch Ausbaupotenzial für weitere Wärmeabnehmer vorhanden. Im Vergleich zu den im Biogasmessprogramm (BMP) III (FNR 2021) ausgewerteten Anlagen liegt die Anlage mit der Wärmeausnutzung unter dem Mittelwert von 52,4 % genutzter Wärme.

3.3 Ökonomische Parameter

Die ökonomischen Parameter des Ist-Standes beruhen auf den vom Anlagenbetreiber zur Verfügung gestellten Daten aus dem Jahr 2019. Werden Annahmen getroffen oder Faustzahlen verwendet, so wird darauf hingewiesen.

3.3.1 Leistungen

Die Vergütung der Biogasanlage erfolgt nach dem EEG 2009 (siehe Tabelle 3). Neben der Grundvergütung erhält der Biogasbetrieb den NawaRo-, den Gülle- und den KWK-Bonus sowie die Flexibilitätsprämie.



Tabelle 5: Erlösübersicht der Biogasanlage NDS-1 im Jahr 2019 (Ist-Stand)

Stromerlöse		Anlage	Satellit	Gesamt
Stromvergütung	ct/kWh _{el}	22,95	20,82	21,92
Eingespeister Strom	kWh _{el} /a	4.310.155	4.066.009	8.376.164
Stromerlös	€/a	989.305	846.397	1.835.702
Erlös Vorteil Direktvermarktung	€/a	9.710	4.066	13.776
Wärmeerlöse				
Wärmevergütung (ohne KWK-Bonus)	ct/kWh _{th}		2,80	
Wärmeverkauf	kWh _{th} /a		3.675.720	
Wärmeerlöse (ohne KWK-Bonus)	€/a		103.033	
Wärmeerlöse (inkl. KWK-Bonus)	€/a		211.581	
Sonstige Erlöse				
Maschinenmiete	€/a		744	
Ausgleichszahlungen/Entschädigungen für Abregelungen	€/a		39.766	
Verkauf Gärprodukte	€/a		6.013	
Gesamterlös				
Stromerlös inkl. Direktvermarktung	€/a		1.849.478	
Wärmeerlös	€/a		103.033	
Sonstige Erlöse	€/a		46.523	
Gesamterlös	€/a		1.999.034	

Insgesamt gab es durch den Verkauf von Strom, Wärme und Sonstigem im Jahr 2019 Einnahmen in Höhe von 1.999.034 €.

3.3.2 Kosten

Die laufenden Kosten der Anlage im Bezugsjahr gliedern sich in Kapitalkosten, Substratkosten sowie Betriebs- und allgemeine Kosten.

a) *Kapitalkosten*

Die Erst- und Folgeinvestitionen der Anlage sind Tabelle 6 zu entnehmen. Das Grundstück ist keinem Betrieb direkt angegliedert und wird gepachtet (Erbpacht). Erschließungskosten sowie die Kosten für Planung und Genehmigung konnten nicht gesondert angegeben werden und sind in anderen Positionen verrechnet.

Die Folgeinvestitionen sind für alle Positionen relativ hoch, da zwei Jahre nach der Inbetriebnahme noch der Satellit installiert wurde. Zudem sind in den Folgeinvestitionen die Kosten des Gärproduktlagers, der Pufferspeicher sowie des Nahwärmenetzes enthalten.



Tabelle 6: Investitionen und Abschreibungen der Biogasanlage NDS-1 im Jahr 2019 nach Angaben des Betreibers (Ist-Stand)

Gesamtinvestitionen			
		Erstinvestition	Folgeinvestition
Grundstück	€	56.300	0
Erschließung	€	k. A.	0
Planung & Genehmigung	€	k. A.	0
Bauliche Anlagen	€	1.753.494	774.667
Technische Anlagen	€	298.651	288.761
BHKW	€	285.500	1.007.665
Maschinen	€	0	153.349
Sonstiges	€	175.443	110.240
Gesamtinvestition	€	4.904.070	
Kapitalkosten			
Abschreibung	€/a	262.819	
Zinslast	€/a	63.215	
Kapitalkosten gesamt	€/a	326.034	
Spezifische Kapitalkosten	ct/kWh_{el}	3,89	
Kennzahlen			
Spez. BHKW-Investitionskosten	€/kW _{el} install.	729	
Spez. Investitionskosten	€/kW _{el} HBL	4.541	

k. A. = keine Angaben

Im Vergleich zu den im BMP III geprüften Anlagen liegt die Anlage NDS-1 mit den spezifischen BHKW-Kosten sowie mit der spezifischen Investitionssumme unter dem Durchschnitt von 849 €/kW_{el} bzw. 4.935 €/kW_{el} HBL (FNR 2021).

b) Substratkosten

Die nachwachsenden Rohstoffe Mais- und Grassilage werden den Landwirten „frei Platte“ mit 45 €/t FM vergütet, wobei der Preis für einen Trockensubstanzgehalt (TS) von 32 % gilt. Bei höheren TS-Werten wird der Preis abhängig von der TS angehoben. Im Untersuchungsjahr wurden deutlich höhere TS-Gehalte erzielt, weshalb sich nach Abzug von zusätzlichen Silierverlusten Substratpreise „frei Lager“ von 53,54 €/t für Mais- und von 63,65 €/t für Grassilage ergeben (siehe Tabelle 7). Verrechnet mit den Substratmengen aus Tabelle 4 ergeben sich Kosten in Höhe von 760.584 € im Jahr 2019 für nachwachsende Rohstoffe.

Die eingesetzten Wirtschaftsdünger Rinder- und Schweinegülle werden von den Landwirten angefahren und in der Vorgrube bis zum Einpumpen zwischengelagert. Die Landwirte erhalten eine Vergütung von 6 €/t Frischmasse. Bei 17.568 t im Jahr 2019 schlugen die Wirtschaftsdünger mit 52.704 € zu Buche.



Tabelle 7: Substratkosten der Biogasanlage NDS-1 „frei Lager“ im Jahr 2019 (Ist-Stand)

NaWaRo		
Maissilage	€/t FM	53,54
	€/a	745.112
Grassilage	€/t FM	63,65
	€/a	15.472
Wirtschaftsdünger		
Rindergülle	€/t FM	6,00
	€/a	93.952
Schweinegülle	€/t FM	6,00
	€/a	11.455
Gesamt		
Gesamtsubstratkosten	€/a	865.991
Gärproduktlogistik	€/a	59.913
Substrat- + Gärproduktkosten	€/a	925.904
Spezifische Substratkosten	ct/kWh_{el}	11,05

Neben den hohen Substratpreisen wird zusätzlich die Abholung der Gärprodukte in der Sperrzeit gestaffelt vergütet. Für die ersten 700 m³ werden 6 €/m³ bezahlt, weitere Mengen werden mit 2,50 €/m³ vergütet. Außerhalb der Sperrzeit werden der Anlage 0,50 €/m³ gutgeschrieben (siehe Tabelle 5). Die spezifischen Substratkosten liegen mit 11,05 ct/kWh_{el} im Vergleich der Anlagen im Projekt relativ hoch.

c) Betriebskosten und Allgemeine Kosten

Die Betriebskosten sowie die allgemeinen Kosten der Biogasanlage können Tabelle 8 entnommen werden. Zu den allgemeinen Kosten zählen unter anderem die Personal- sowie die externen Energiekosten. An Personalkosten wurden im Jahr 2019 2.688 Stunden z. B. für Füttern, Dokumentation, Reparaturen, Management etc. abgerechnet. Die Energiekosten machten mit 79.535 € einen weiteren großen Posten aus.



Tabelle 8: Betriebskosten und Allgemeine Kosten der Biogasanlage NDS-1 im Jahr 2019 (Ist-Stand)

Betriebs- und Allgemeine Kosten		
Strombezug	€/a	79.535
Schmierstoffe und Betriebsmittel	€/a	45.177
Instandhaltung (Bau)	€/a	35.716
Instandhaltung (Technik und Maschinen)	€/a	89.282
Instandhaltung (BHKW)	€/a	64.518
Maschinenmiete und Leasing	€/a	3.920
Miete und Pacht	€/a	282
Prozessbetreuung und Beratung	€/a	2.693
Gärhilfsstoffe und Zusätze	€/a	6.083
Sonstiges (Fremdleistungen, Material, Handelsware)	€/a	2.508
Umweltgutachten	€/a	9.219
Versicherung, Beiträge	€/a	55.343
Personal (Anlagenfahrer + Geschäftsführer)	€/a	76.465
Buchführung und Verwaltung	€/a	13.563
Sonstiges (z. B. Steuern, Bewirtung, PKW)	€/a	42.525
Gesamtbetriebskosten	€/a	526.829
Spezifische Betriebskosten	ct/kWh_{el}	6,29

Aus den Gesamtbetriebskosten in Höhe von 526.829 € ergeben sich spezifische Betriebskosten von 6,29 ct/kWh_{el}.

3.3.3 Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis

Die Gesamtkosten der Anlage betragen 1.778.767 €, wovon die Substratkosten gut die Hälfte ausmachten (siehe Tabelle 9). Die spezifischen Gesamtkosten lagen somit bei 21,24 ct/kWh_{el}. Damit liegt die Anlage über dem Mittelwert 18,9 ct/kWh_{el}, welcher bei den Anlagen, die im BMP III untersucht wurden, ermittelt wurde (FNR 2021).



Tabelle 9: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis der Biogasanlage NDS-1 im Jahr 2019 (Ist-Stand)

Leistungen		
Stromerlös	€/a	1.849.478
Wärmeerlös	€/a	103.033
Sonstige Erlöse	€/a	46.523
Gesamterlös	€/a	1.999.034
Kosten		
Kapitalkosten	€/a	326.034 (≙ 18 %)
Spezifische Kapitalkosten	ct/kWh _{el}	3,89
Substratkosten	€/a	925.904 (≙ 52 %)
Spezifische Substratkosten	ct/kWh _{el}	11,05
Betriebs- und Allgemeine Kosten	€/a	526.424 (≙ 30 %)
Spezifische Betriebs- und Allg. Kosten	ct/kWh _{el}	6,28
Kosten gesamt	€/a	1.778.767 (≙ 100 %)
Gesamtübersicht		
Spezifischer Gesamterlös	ct/kWh _{el}	23,87
Spezifische Gesamtkosten	ct/kWh _{el}	21,24
Gewinn	€/a	220.267
Spezifischer Gewinn	ct/kWh_{el} prod.	2,63
Gesamtrentabilität	%	4,5

Der Gewinn der Anlage NDS-1 lag im Jahr 2019 bei 220.267 €, womit sie wirtschaftlich betrieben wird. Der spezifische Gewinn liegt somit bei 2,63 ct/kWh_{el}, womit sie im Vergleich zu den im BMP III betrachteten Anlagen unter dem Mittelwert von 4,59 ct/kWh_{el} sowie unter dem Median von 3,92 ct/kWh_{el} liegt (FNR 2021). Die Gesamtrentabilität (Berechnung siehe Kapitel 2.1) liegt mit 4,5 % in einem guten Bereich.



4 Optimierungstrategien

Die Gesellschafter dieser im Landkreis Rotenburg gelegenen Biogasanlage haben sich zu diesem frühen Zeitpunkt entschieden, die Anlage nach dem Auslaufen der ersten EEG-Förderperiode weiter zu betreiben. Um mit gleichbleibender Stromvermarktung eine Förderung im EEG 2021 zu bekommen, müssen einige Parameter angepasst werden. Dies sind die **Flexibilisierung des Satelliten**, die **Anpassung des Substratmixes**, welcher um Maisstroh ergänzt werden soll, sowie der **Bau eines weiteren Behälters** zur Einhaltung der Verweilzeit von 150 Tagen sowie um ein Verwertungskonzept für die Gärprodukte (neun Monate Lagerdauer) darstellen zu können.

Die über die notwendigen Maßnahmen zur Teilhabe an der Ausschreibung des EEG 2021 hinaus gehenden Optimierungsmaßnahmen haben den **Ausbau des Wärmenetzes** im Fokus. Bisher werden mehrere öffentliche und private Gebäude sowie ein Schwimmbad beheizt, wodurch bereits ca. 3,5 Mio kWh_{th}/a (ca. 42 % der gesamten produzierten Wärme) genutzt werden. Dies soll jedoch auf 5-6 Mio kWh_{th}/a (ca. 70 %) erhöht werden. Zusätzlich soll in den Modellberechnungen eine **Investition in eine Hackschnitzelheizung mit Trocknungsanlage sowie eine Lagerhalle** berücksichtigt werden. Die Hackschnitzelheizung kann bei Bedarf das Wärmenetz stabilisieren. Die Trocknung kann genutzt werden, um unter anderem die beim Substrat Maisstroh anfallenden Maiskörner zu trocknen, so dass durch die Vermarktung eine zusätzliche Einnahmequelle generiert werden kann.

Ein Schema der optimierten Anlage NDS-1 mit allen hier angesprochenen Optimierungsmaßnahmen zeigt Abbildung 2.

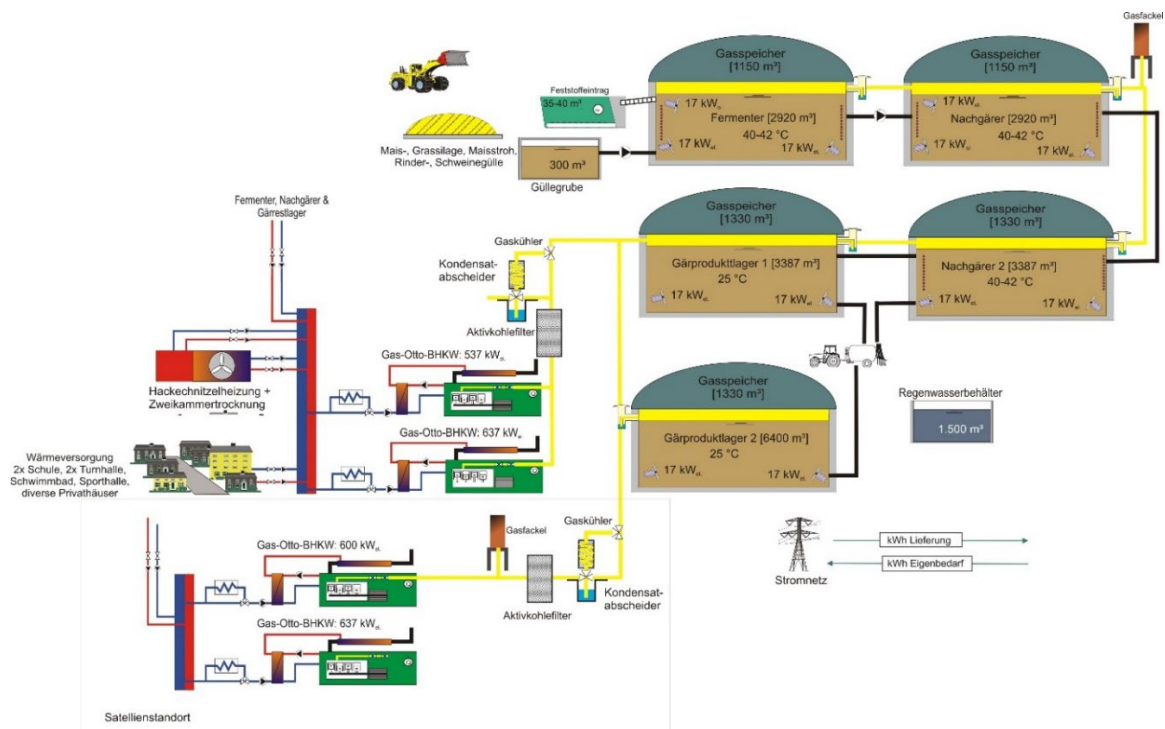


Abbildung 2: Anlagenschema der Biogasanlage NDS-1 mit Optimierungsmaßnahmen (Quelle: Verena Wilken; Illustration: Universität Hohenheim)

Die Berechnung der Optimierungsmaßnahmen wird im Folgenden in zwei Schritten durchgeführt. Zuerst wird die Umsetzung aller Maßnahmen, die für eine Fortführung unter den Bedingungen des EEG 2021 notwendig sind, berechnet (Optimierungsmaßnahme 1). Danach erfolgt die Berechnung der darüber hinaus gehenden Optimierungsmaßnahmen (Optimierungsmaßnahme 2). Abschließend soll das ökonomische Gesamtkonzept bei Umsetzung beider Optimierungsmaßnahmen inklusive Sensitivitätsanalyse dargestellt werden.

4.1 Optimierungsmaßnahme 1: Notwendige Anpassungen zum Weiterbetrieb im EEG 2021

Als erste Optimierungsmaßnahme werden drei Anpassungen beschrieben:

Anpassung 1: Flexibilisierung: Mit dem Wechsel in die Ausschreibung werden laut EEG 2021 nur noch 45 % der installierten Leistung bezuschlagt, das heißt die Anlagen müssen mindestens 2,2-fach überbaut sein. Die Anlage NDS-1 ist am Anlagenstandort bereits ausreichend überbaut (1.174 kW installiert mit einer Höchstbemessungsleistung von 510 kW = 43 %). Bei dem bisher noch nicht überbauten Satelliten muss jedoch mit einem neuen BHKW gerechnet werden. Zu den 600 kW_{el} soll ein zusätzliches BHKW mit 637 kW_{el} angeschafft werden. Somit können maximal 556,7 kW_{el} bzw. 4.876.254 kWh_{el} vergütet werden (Vergleich 2019: 4.066.009 kWh_{el} eingespeist).

Anpassung 2: Maisdeckel: Mit dem EEG 2021 wird ein neuer „Maisdeckel“ wirksam. Hiernach dürfen maximal 40 Masseprozent Mais und Getreide als Substrat genutzt werden. Mit 44 % Mais wäre der Maisdeckel im Jahr 2019 leicht überschritten gewesen. Eine Möglichkeit der Substitution von Maissilage ist, den Gülleanteil zu erhöhen. Dies hätte aber durch die größere benötigte Masse zur Folge, dass die Verweilzeit gesenkt wird, was wiederum zu einem Anstieg des benötigten Gär- und Lagervolumens führt. Die Landwirte in der Region bauen aufgrund der Bodenqualität vorzugsweise Mais an, was zu hohen Erlösen führt. Um zu gewährleisten, dass dies beibehalten werden kann, soll in Zukunft Körnermais angebaut werden und nur das bei der Ernte der Körner als Nebenprodukt anfallende Maisstroh anstelle der Ganzpflanzensilage in der Biogasanlage eingesetzt werden. Maisstroh fällt im EEG 2021 nicht unter den Maisdeckel. Ein Vorteil wäre die zusätzliche Vermarktbarkeit der Körner.

Anpassung 3: Verweilzeit/Gärproduktlagerkapazität: Darüber hinaus ist im neuen EEG gefordert, dass die hydraulische Verweilzeit im gesamten gasdichten und an eine Gasverwertung angeschlossenen System der Biogasanlage mindestens 150 Tage beträgt. Im Jahr 2019 betrug sie 145 Tage, somit werden die Anforderungen hier ebenfalls knapp nicht erfüllt. Darüber hinaus wird für das Verwertungskonzept zusätzlicher Lagerraum benötigt. Deshalb soll in zwei weitere Behälter investiert werden. Dabei ist vorgesehen, zur Entlastung der Gärproduktlager einen Regenwasser-/Schmutzwasserbehälter mit einer Größe von 1.500 m³ sowie ein drittes großes gasdichtes Gärproduktlager mit einer Kapazität von 6.400 m³ zu bauen.



4.1.1 Kennzahlen

Die Flexibilisierung (Anpassung 1) hat keinen Einfluss auf die Kennzahlen der Anlage.

Für die Berechnung der neuen Ration (Anpassung 2) wurden zunächst die Substratmassen aus dem Jahr 2019 auf Norm-TS-Gehalte (KTBL 2013) umgerechnet, da der TS-Gehalt vom Silomais in dem Jahr besonders hoch war. Die TS-normierten Mengen an Wirtschaftsdünger und die Grassilage werden konstant gehalten und die Zielgröße ist der gleiche theoretische Gasertrag. Nach Angaben des KTBL (2021) hat Maisstrohsilage mit 580 lN/kg oTM einen geringeren theoretischen Gasertrag als Silomais (660 lN/kg oTM) aber einen deutlich höheren Trockensubstanzgehalt (50 % im Vergleich zu Silomais mit 35 %). Da durch Anpassung 3 die Verweilzeit im gasdichten System um ca. 60 Tage ansteigt und mit 209 Tagen überdurchschnittlich ist (siehe unten), wird hier nach eigener Annahme davon ausgegangen, dass dem Substrat noch einmal 1,5 % mehr Gas entzogen werden kann. Dadurch könnten 5.000 t Maissilage gegen 3.966 t Maisstrohsilage ersetzt werden, wodurch ein Maisanteil von 36,4 % erreicht wird (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Substrateinsatz an der Biogasanlage NDS-1 nach Optimierungsmaßnahme 1 aufgrund der Substitution eines Teils der Maissilage durch Maisstrohsilage sowie Prozesskennzahlen nach Änderung des Substratmixes und nach dem Bau eines weiteren Behälters

Änderung der Substratmengen durch Optimierungsmaßnahme 1			
Substrat	TS-Richtwert [%]	Substrateinsatz 2019 [t FM/a]*	Substrateinsatz nach Optimierungsmaßnahme 1 [t FM/a]
Wirtschaftsdünger			
Rindergülle	9	13.919	13.919
Schweinegülle	5	3.055	3.055
<i>Summe Wirtschaftsdünger</i>		<i>16.974 (± 50 %)</i>	<i>16.974 (± 51 %)</i>
Nachwachsende Rohstoffe			
Maissilage	35	17.098 (± 49,9 %)	12.098 (± 36,4 %)
Maisstrohsilage	50	0	3.966 (± 11,9 %)
Grassilage	35	194	194
<i>Summe Nachwachsende Rohstoffe</i>		<i>17.292 (± 50 %)</i>	<i>16.258 (± 49 %)</i>
Änderung der prozesstechnischen Kennzahlen durch Optimierungsmaßnahme 1			
Prozesstechnische Kennzahl		Verweilzeit 2019 [d]	Verweilzeit nach Optimierungsmaßnahme 1 [d]
Hydraulische Verweilzeit (aktive Stufen)		106	101
Hydraulische Verweilzeit (gasdicht)		145	209

* Auf Norm-TS-Gehalte (nach KTBL 2013) umgerechnete Mengen

Der Bau eines neuen Gärproduktlagers (Anpassung 3) sowie die Substratanpassung führen zusammen zu einer höheren Verweilzeit von 209 Tagen im gasdichten System (siehe Tabelle 10), wobei die Substratanpassung in diesem Fall nur einen geringen Einfluss auf diesen Parameter hat.



4.1.2 Leistungen

Die drei betrachteten Maßnahmen haben keinen Einfluss auf die Wärmeerlöse sowie auf die eingespeiste Strommenge. Aufgrund der Teilnahme an der Ausschreibung im Rahmen des EEG 2021 verändern sich allerdings die Stromerlöse.

Grundsätzlich wird vom Erhalt des Höchstgebotspreises von 18,4 ct/kWh_{el} ausgegangen. Für die Anlage am Standort der Biogasanlage wurde bisher eine Flexibilitätsprämie gezahlt. Da vom rechtlichen Stand Juni 2021 ausgegangen wird, erhält sie an diesem Standort keinen Flex-Zuschlag in der zweiten Förderperiode (siehe Tabelle 11). Der Satelliten-Standort war bisher jedoch nicht flexibilisiert und ist damit berechtigt für einen Flexibilitätszuschlag. Daher ergibt sich dort für die insgesamt installierte Leistung (1.237 kW_{el}) eine Prämie pro Jahr von 65 €/kW_{el}. Auf die Bemessungsleistung von 2019 umgerechnet (Annahme gleichbleibender Stromproduktion) ergibt sich daraus eine zusätzliche Vergütung der produzierten Strommenge von 2 ct/kWh_{el}. Für den Satelliten-Standort errechnet sich daraus eine Stromvergütung von 20,38 ct/kWh (Tabelle 11). Dazu kommen Annahmen für Mehrerlöse durch Direktvermarktung für beide Standorte (siehe Tabelle 2), so dass sich ein jährlicher Stromerlös von 1.668.526 € ergibt.

Tabelle 11: Stromerlös der Biogasanlage NDS-1 nach Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 1 unter Annahme einer gleichbleibenden Bemessungsleistung zum Ist-Stand

Stromerlöse		Biogasanlage	Satellit	Gesamt
Grundvergütung	ct/kWh _{el}	18,40	20,38	19,36
Mehrerlös Direktvermarktung	ct/kWh _{el}	0,56	0,56	0,56
Stromvergütung gesamt	ct/kWh _{el}	18,96	20,94	19,92
Eingespeister Strom	kWh _{el} /a	4.310.155	4.066.009	8.376.164
Stromerlös	€/a	817.205	851.320	1.668.526

Zusammen mit den Wärmeeinnahme und weiteren Einnahmen, die gegenüber dem Ist-Stand konstant gehalten wurden, ergibt sich für die Anlage NDS-1 bei Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 1 ein Gesamterlös von 1.812.068 €/a.

4.1.3 Kosten

a) Kapitalkosten

Die Substratumstellung (Anpassung 2) hat keinen Einfluss auf die Kapitalkosten, da hier angenommen wird, dass die Silierung von Maisstroh analog zu der Silierung von Silomais erfolgen kann.

Für den Bau des neuen Flex-BHKW am Satellitenstandort (Anpassung 1) sowie für den Bau von zwei weiteren Behältern (Anpassung 3) fallen zusätzliche Investitionen an. Die aufgeführten BHKW-Kosten beinhalten neben dem reinen Anschaffungspreis u. a. auch die Kosten für den Trafotausch, die Netzeinbindung, den Raum sowie das Anlagenzertifikat. Die Kosten für den Lagerraum beinhalten beide Behälter. Für die Erweiterung der



Gärproduktlagerkapazitäten muss zusätzlich Grundstück erworben werden, auf dem die Durchführung einer Hofbefestigung notwendig ist (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Zusätzliche Investitionen für ein Flex-BHKW am Satellitenstandort sowie für zwei Lagerbehälter an der Anlage NDS-1 im Zuge der Optimierungsmaßnahme 1 (Quelle: Kalkulationen oder vorliegende Angebote des Betreibers)

Zusätzliche Investitionen durch Optimierungsmaßnahme 1		
Investition BHKW	€	566.000
Investition Gärproduktlager	€	630.000
Investition Grundstück	€	30.000
Investition Hofbefestigung	€	46.500
Investition Planung und Genehmigung*	€	124.250
Summe Investitionen	€	1.396.750

* 10 % vom Wert der Erweiterungsinvestition inkl. Umweltgutachter etc. (KTBL 2021c)

Die sich aus den zusätzlichen Investitionen ergebenden Kapitalkosten sind in Tabelle 13 aufgeführt. Die Abschreibungsdauer wird dabei jeweils gemäß Tabelle 1 angenommen, die Hofbefestigung wird laut AfA-Tabelle über 19 Jahre abgeschrieben.

Tabelle 13: Zusätzliche Investitionen für ein Flex-BHKW am Satellitenstandort sowie für zwei Lagerbehälter an der Anlage NDS-1 im Zuge der Optimierungsmaßnahme 1

Zusätzliche Kapitalkosten durch Optimierungsmaßnahme 1		
Zusätzliche Investitionen	€	1.396.750
Zusätzliche Abschreibungen	€/a	161.730
Zusätzliche Zinslast	€/a	11.922
Zusätzliche Kapitalkosten gesamt	€/a	173.651

Dazu kommen Kapitalkosten aus dem Ist-Stand, wobei davon ausgegangen wird, dass bauliche Anlagen zum Zeitpunkt des Wechsels in die Ausschreibung abgeschrieben sind. Daraus ergeben sich noch Kapitalkosten in Höhe von 178.390 €/a, so dass insgesamt mit den neuen Investitionen 352.041 € pro Jahr anfallen.

b) Substratkosten

Die Mengen der eingesetzten Wirtschaftsdünger sowie der Grassilage und die dazugehörigen Kosten bleiben gleich. Es werden aber 5.000 t Maissilage (entspricht 4.070 t Maissilage mit hoher TS) durch 3.970 t Maisstrohsilage ersetzt (die Massereduktion entsteht durch den hohen TM-Anteil trotz geringerem Methanpotenzial im Vergleich zu Maissilage). Der Preis für das Maisstroh ergibt sich ausschließlich aus relativ hohen Erntekosten und der anschließenden Einsilierung, da das Material kostenfrei zur Verfügung gestellt wird. Das Maisstroh würde ansonsten bei der Körnermaisernte zur Humusproduktion auf dem Feld verbleiben. Der Anlagenbetreiber rechnet mit 25 €/t für Ernte und Transport. Um einen Aufschlag für Einsilierung und Lagerverluste zu berücksichtigen wird hier von 30 €/t frei Lager ausgegangen. Diese Maßnahme reduziert die Substratkosten um 98.916 €/a gegenüber dem Ist-Stand (2019).



Durch die neu gewonnenen Lagerkapazitäten ist die Anlage nicht mehr auf die Abnahme hoher Mengen Gärprodukt in der Sperrzeit angewiesen, so dass diese Kosten entfallen. Somit betragen die Gesamtsubstratkosten nach Umsetzung der Optimierungmaßnahme 1 noch 767.075 €/a.

4.1.4 Betriebskosten und Allgemeine Kosten

Die Betriebskosten erhöhen sich zunächst durch die Verdopplung der Instandhaltungskosten für Bauwerke gemäß der Annahmen, die in Kapitel 2.2.5 beschrieben sind (um 35.716 €/a) sowie um 0,5 % der Investitionssumme durch den Bau des neuen Gärproduktlagers (analog zu den Annahmen für Instandhaltung Bau für die im Projekt berechneten Modellstudien) um insgesamt 38.866 €/a (siehe Tabelle 14). Durch die Anschaffung eines neuen BHKWs sowie durch das neue Gärproduktlager erhöhen sich auch die Versicherungskosten (es wird wie bei der Berechnung der Betriebsmodelle in diesem Projekt 1 % des durchschnittlich gebundenen Kapitals angenommen) um 5.980 €/a. Die zusätzlichen Rührwerke im Gärproduktlager bedingen einen höheren Strombedarf, der mit 3.165 €/a angenommen wird. Ein höherer Aufwand für bezogenen Strom durch höheren Rühraufwand, der durch den Einsatz von Maisstrohsilage möglicherweise entsteht, ist schwer zu beziffern und wird vernachlässigt. Die Kosten für die Prozessbetreuung wurden pauschal um 50 % erhöht, da davon auszugehen ist, dass der Maisstroheinsatz einen höheren Beratungsbedarf verursachen wird.

Tabelle 14: Zusätzliche Betriebs- und Allgemeine Kosten der Biogasanlage NDS-1 aufgrund der Anpassung durch die Optimierungsmaßnahme 1

Zusätzliche Betriebs- und Allgemeine Kosten nach Optimierungsmaßnahme 1		
Instandhaltung Bauwerke	€/a	38.866
Zusätzliche Versicherungskosten	€/a	5.980
Zusätzliche Stromkosten	€/a	3.165
Zusätzliche Kosten Prozessbetreuung	€/a	1.347
Zusätzliche Betriebs- und Allgemeine Kosten Gesamt	€/a	49.358

Insgesamt erhöhen sich die Betriebskosten damit um 49.358 €/a auf 576.187 €/a.

4.1.5 Kalkulatorisches Betriebsergebnis

Die Anlage NDS-1 würde mit den getroffenen Annahmen bei einem Wechsel in die Ausschreibung im Rahmen des EEG 2021 weiterhin einen Gewinn verzeichnen (siehe Tabelle 15). Der Erlös sinkt durch den geringen Höchstgebotspreis zwar deutlich, aber die Kosten fallen ebenfalls etwas geringer im Vergleich zum Ist-Stand aus. Dies liegt hauptsächlich daran, dass bauliche Anlagen für den Zeitpunkt des Wechsels in die Ausschreibung als abgeschrieben angenommen werden und diese Kosten über den jährlichen Kosten für die neuen Investitionen für BHKW und Gärproduktlager lagen. Der spezifische Gewinn liegt bei 1,47 ct/kWh_{el}. Soll der gleiche Gewinn wie 2019 erzielt werden, müssen zusätzlich Mehrerlöse generiert werden.



Tabelle 15: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis der Biogasanlage NDS-1 nach Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 1 im Vergleich zum Ist-Stand 2019

Parameter	Einheit	Ist-Stand	Opt. 1
Leistungen			
Spezifische Stromvergütung	ct/kWh _{el}	21,92	19,36
Eingespeister Strom	kWh _{el} /a	8.376.164	8.376.164
Stromerlös (inkl. Direktvermarktung)	€/a	1.849.478	1.668.526
Spezifische Wärmevergütung	ct/kWh _{th}	2,80	2,80
Wärmeverkauf	kWh _{th} /a	3.675.720	3.675.720
Wärmeerlös	€/a	103.033	103.033
Sonstige Erlöse	€/a	46.523	46.523
Gesamterlös	€/a	1.999.034	1.818.997
Kosten			
Kapitalkosten	€/a	326.034 (± 18 %)	352.041 (± 21 %)
Spezifische Kapitalkosten	ct/kWh _{el}	3,89	4,20
Substratkosten	€/a	925.904 (± 52 %)	767.075 (± 45 %)
Spezifische Substratkosten	ct/kWh _{el}	11,05	9,16
Betriebs- und Allg. Kosten	€/a	526.829 (± 30 %)	576.187 (± 34 %)
Spez. Betriebs- und Allg. Kosten	ct/kWh _{el}	6,29	6,88
Kosten gesamt	€/a	1.778.767 (± 100 %)	1.695.303 (± 100 %)
Gesamtübersicht			
Spezifischer Gesamterlös	ct/kWh _{el}	23,87	21,71
Spezifische Gesamtkosten	ct/kWh _{el}	21,24	20,24
Gewinn	€/a	220.267	122.779
Spezifischer Gewinn	ct/kWh_{el}	2,63	1,47
Gesamtrentabilität	%	4,5	2,0

Die Gesamtinvestitionskosten steigen um 1.396.750 € und der Gewinn sinkt um 97.488 €/a, so dass die Gesamtrentabilität auf 2,0 % sinkt.

4.2 Optimierungsmaßnahme 2: Ausbau Nahwärmenetz und Hackschnitzelheizung

Um zusätzliche Einnahmen durch den Verkauf der anfallenden Wärme generieren zu können, sollen die Nah- und Fernwärmenetze des Satelliten-BHKWs noch weiter ausgebaut werden. Die vorhandenen ca. 2.200 m Wärmenetz (Anlage und Satellit) sollen um ca. 1.800 m erweitert werden, wodurch zunächst zusätzlich 24 Hausanschlüsse mit 1.790.000 kWh/a Wärme versorgt werden sollen. Perspektivisch sollen noch weitere Haushalte erschlossen werden. An der Anlage ist bereits ein Wärmepufferspeicher (60 m³) installiert, am Satelliten ist ein weiterer (100 m³) geplant um mit der Stromproduktion trotz hoher Wärmeausnutzung flexibel sein zu können. Zusätzlich wurden bei einigen Wärmeabnehmern die alten Gas- und Ölkessel mit übernommen.

Darüber hinaus soll eine Hackschnitzelheizung gebaut werden, die zum einen im Dauerbetrieb die Fermenter beheizen soll und zum anderen bei erhöhtem Wärmebedarf im



Wärmenetz hoch gefahren werden kann. Als langfristige Investition soll sie somit die Versorgung des Wärmenetzes sichern, aber auch die Optionen „Abschaltung“ oder „Gasaufbereitung“ für die Biogasanlage offen halten. Darüber hinaus soll über die BHKW an der Anlage eine Trocknung betrieben werden, um zusätzliche Erlöse aus der Trocknung von Gütern, wie z. B. Körnermais, erzielen zu können. Bei Bedarf können auch die Hackschnitzel getrocknet werden. Die Hackschnitzelheizung und die Trocknung erfordern zusätzlich den Bau einer Lagerhalle für die Zwischenlagerung der zu trocknenen/getrockneten Güter sowie des Heizmaterials (Hackschnitzel und Landschaftspflegematerial). Die Lagerhalle ist dabei so dimensioniert, dass auch das Lagern von Gütern als Dienstleistung angeboten werden kann.

4.2.1 Kennzahlen

Die Substratzusammensetzung und die Prozessparameter des biologischen Prozesses werden durch diese Optimierungsmaßnahme nicht beeinflusst.

Lediglich die Ausnutzung der produzierten Wärme erhöht sich, wobei die Wärmeproduktion aufgrund der gleichbleibenden Bemessungsleistung auch gleich zum Ist-Stand angenommen wird. Da die Hackschnitzelheizung die Fermenter beheizen wird, entfällt die Eigenwärmenutzung, so dass die zur Verfügung stehende Wärme zunimmt.

Für die neue Wärmeleitung am Satelliten wird von 1.790.000 kWh_{th}/a zusätzlichem Wärmeverkauf ausgegangen, wofür ca. 1.800 m zusätzliche Leitung verlegt werden müssen. Somit sind dann sowohl an der Anlage als auch am Satelliten-BHKW 2.000 m Wärmeleitung vorhanden, wobei vom zuständigen Planungsbüro Rohrleitungsverluste von 190 kWh/m des Wärmenetzes angenommen wurden (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Angenommene Wärmemengen nach Umsetzung des Ausbaus des Wärmenetzes als Optimierungsmaßnahme 2 für die Biogasanlage NDS-1

Wärmeverwertung		Biogasanlage	Satellit	Gesamt
Netzleitungsverluste	kWh _{th} /a	380.000	380.000	760.000
Wärmenutzung Wärmenetz	kWh _{th} /a	2.261.802	3.203.918	5.465.720
Wärmenutzung Trocknung	kWh _{th} /a	1.590.307*	0	1.590.307
Anteil Wärmeabgabe an prod. ges. Wärmemenge	%	82	78	80
Anteil Wärmeabgabe an prod. Wärmemenge abzgl. Eigenbedarf und Verluste	%	89	87	88

*Wärmebedarf für Trocknung nach KTBL (2013)

Die Wärmeausnutzung der gesamten Anlage steigt auf 80 % (62 % ohne Trocknung) der produzierten Gesamtwärme bzw. auf 88 % (68 % ohne Trocknung) der noch zur Verfügung stehenden produzierten Wärme nach Abzug von Netzleitungsverlusten.



4.2.2 Leistungen

Die Stromerlöse werden von Optimierungsmaßnahme 1 und die sonstigen Erlöse vom Ist-Stand übernommen (siehe Tabelle 5 und Tabelle 11).

Bei den zusätzlichen Einnahmen für die verkaufte Wärme, welche durch Optimierungsmaßnahme 2 dazu kommen, wird von einem Verkaufspreis von 5 ct/kWh_{th} (Durchschnitt aus Groß- und Privatabnehmern inkl. Grundgebühr) ausgegangen. Die Verträge sollen eine Indexanpassung enthalten, so dass davon ausgegangen wird, dass später ein Verkauf der Wärme für 8 bis 10 ct/kWh_{th} möglich sind. Eine Betrachtung der Auswirkungen solcher Entwicklungen soll die Sensitivitätsanalyse in Kapitel 4.3.5 bieten. Die Wärmeerlöse erhöhen sich durch Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 2 um 89.388 €/a auf 192.421 €/a (Tabelle 17).

Neben dem neuen Wärmenetz soll die Trocknung zusätzlich Einnahmen aus der BHKW-Abwärme generieren. Außer dem Landschaftspflegegut und ggf. die Holzhackschnitzel für die Hackschnitzelheizung, welche keine Einnahmen einbringen, sollen Körnermais und andere landwirtschaftliche Güter getrocknet werden können. Zusätzliche Einnahmen sollen durch die Bereitstellung von Lagerraum generiert werden. Die Annahmen zu den jährlichen Einnahmen finden sich in Tabelle 17.

Tabelle 17: Neue Wärmeerlöse und weitere zusätzliche Erlöse nach Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 2 für die Biogasanlage NDS-1

Erlöse Wärme (altes und neues Wärmenetz)				
		Biogasanlage	Satellit	Gesamt
Wärmevergütung	ct/kWh _{th}	2,8	4,03	3,52
Verkaufte Wärme	kWh _{th}	2.261.802	3.203.918	5.465.720
Wärmeerlös	€/a	63.331	129.090	192.421
Zusätzliche Erlöse				
Einnahmen Trocknung	€/a		70.000*	
Einnahmen Lagerung	€/a		35.000*	

* Annahmen des Betreibers

Zusammen mit den Einnahmen für Strom aus der Optimierungsmaßnahme 1 und Sonstiges (Maschinenmiete, Ausgleichszahlungen für Abschaltungen sowie Gärproduktverkauf) aus dem Ist-Stand in Höhe von 1.715.964 €/a ergeben sich jährliche Einnahmen von 2.013.385 €.

4.2.3 Kosten

a) *Kapitalkosten*

Die Kosten für die Erweiterung des Nahwärmenetzes um 1.800 m betragen 659.078 €. Die genaue Zusammensetzung der Kosten ist in Tabelle 18 dargestellt. Zusätzlich fallen noch weitere Kosten für die benötigten technischen Komponenten sowie für Planungen und Genehmigungen an (siehe Tabelle 18). Daraus ergeben sich Gesamtkosten für die



Investition von 975.871 €. Es wird von einer Förderung in Höhe von 327.000 € ausgegangen, so dass die zusätzlichen Investitionen sich auf 648.871 € belaufen.

Tabelle 18: Annahmen für die Investitionskosten zur Erweiterung des Wärmenetzes und der technischen Komponenten bei Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 2 der Biogasanlage NDS-1 (Daten beruhen auf Angeboten, die dem Betreiber vorliegen)

Annahmen Bau Nahwärmenetz		
Grundstück und Erschließung	€	40.690
Baukonstruktion/Aussenanlagen	€	132.750
Fernwärmesystem Tiefbauarbeiten	€	131.684
Fernwärmesystem Rohrleitungsbau, Datennetz	€	278.070
Fernwärme Übergabestation	€	75.884
Summe Bau Nahwärmenetz	€	659.078
Annahmen technische Komponenten		
Anlagenteile zur Spitzenlastabdeckung	€	68.500
Heizungs-/Lüftungs-/Sanitärinstallationen inkl. Pufferspeicher	€	124.000
Netzregelung, Prozessleitsystem	€	5.400
Elektroinstallationen	€	2.132
Summe technische Komponenten	€	200.032
Planung und Genehmigung		
Bauherrenaufgaben	€	5.335
Projektentwicklung	€	9.086
Architekten- und Ingenieurleistungen	€	93.565
Gutachten und Beratung	€	3.410
Genehmigungen, Abnahmen	€	5.365
Summe Sonstiges	€	116.761
Staatliche Förderung		
Fernwärmesystem	€	302.000
Pufferspeicher	€	25.000
Gesamt Sonstiges	€	327.000
Gesamt		
Bau Nahwärmenetz	€	659.078
Technische Komponenten	€	200.032
Planung und Genehmigung	€	116.761
Staatliche Förderung	€	327.000
Gesamt	€	648.871

Neben den Kosten für das Wärmenetz fallen die Kosten für die Erweiterung um die Hackschnitzelheizung, die Trocknung und die Lagerhalle an (siehe Tabelle 19).



Tabelle 19: Annahmen für die zusätzlichen Investitionskosten für eine Hackschnitzelheizung, eine Trocknungsanlage sowie die Lagerhalle zur Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 2 für die Anlage NDS-1 (Quelle: vorläufige Schätzungen des Betreibers)

Zusätzliche Investitionen Hackschnitzelheizung, Trocknung, Lagerhalle		
Investition Hackschnitzelheizung	€	500.000
Investition Trocknung	€	100.000
Investition Lagerhalle	€	650.000
Investition Grundstück	€	60.000
Investition Hofbefestigung	€	93.500
Planung, Genehmigung, Gutachten	€	120.300
Summe	€	1.523.800

Die resultierenden Abschreibungskosten und die Zinslast (mit 1,5 % Zinsen) für alle oben aufgeführten Maßnahmen sind in Tabelle 20 aufgeführt. Die Abschreibungsdauer wird abweichend von Tabelle 1 für Komponenten zum Wärmenetz für 20 Jahre angenommen, da das Wärmenetz durch die Hackschnitzelheizung auch über einen längeren Zeitraum als 10 Jahre abgesichert ist. Planungsarbeiten und andere Technikkomponenten, wie die Übergabestation etc., sind weiter wie in Tabelle 1 aufgeführt berechnet.

Tabelle 20: Zusätzliche Kapitalkosten durch die Optimierungsmaßnahme 2 für die Biogasanlage NDS-1

Zusätzliche Kapitalkosten		
Investitionen	€	2.172.671
Abschreibung	€/a	158.376
Zinslast	€/a	18.095
Zusätzliche Kapitalkosten	€/a	176.471

Dazu kommen Kapitalkosten aus dem Ist-Stand (178.390 €/a), wobei davon ausgegangen wird, dass bauliche Anlagen zum Zeitpunkt des Wechsels in die Ausschreibung abgeschrieben sind. Die gesamten Kapitalkosten mit Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 2 belaufen sich damit auf 354.861 €/a.

b) Substratkosten

Die Substratkosten werden durch die Optimierungsmaßnahme 2 nicht beeinflusst und betragen wie im Ist-Stand 925.904 €/a.

c) Betriebskosten und Allgemeine Kosten

Die Betriebskosten erhöhen sich durch die Optimierungsmaßnahme in mehreren Positionen (siehe Tabelle 21), wobei eine Vielzahl an Annahmen getroffen wurden.

Der Strombezug erhöht sich durch das neue Wärmenetz und wird mit 4.250 €/a angenommen, da dies dem Strombezug des alten etwa gleichgroßen Wärmenetzes entspricht. Auch die Trocknungsanlage erhöht den Stromverbrauch und kostet zusätzlich 13.836 €/a (Annahmen: Trocknung von 5.000 t Körnermais von 30 auf 14 % TS und 2.000 t Getreide von 18 auf 14 % TS mit einem Satzrockner mit 740 bzw. 92 kW Nettoheizleistung



(KTBL 2013), Strompreis von 17 ct/kWh). Bezüglich der Brennstoffe für die Hackschnitzelheizung wurde zunächst nur die Energie zur Beheizung der Fermenter berücksichtigt. Hierfür werden 1.500 m³ Hackschnitzel gebraucht, wobei davon ausgegangen wird, dass diese Menge zur Hälfte aus Landschaftspflegematerial der Landwirte bezogen wird, welches nur Kosten für die Miete oder das Leasing eines Schredders von 5 €/m³ verursacht (LWK, 2021). Die eingekauften Holzhackschnitzel (750 m³) werden mit 28 €/m³ berechnet (mittlerer Preis laut carmen e.V (2022) mit der Annahme, dass 1 t ca. 4 m³ entspricht). Die Instandhaltungskosten (Bau) verdoppeln sich gegenüber dem Ist-Stand um 35.716 €/a (s. Kapitel 2.2.5). Die zusätzlichen Instandhaltungs- und Versicherungskosten werden analog der Modellberechnungen aus dem Projekt angenommen. Diese betragen 0,5 % der Investition der Lagerhalle (3.250 €/a) für Instandhaltung. Die Instandhaltungskosten für Technik und Maschinen erhöhen sich ebenfalls um 1 % der Investitionssumme der Hackschnitzelheizung (5.000 €/a) und um 2 % der Investitionssumme der Trocknungsanlage (2.000 €/a). Die Versicherungskosten steigen für das Nahwärmenetz mit den technischen Komponenten sowie für Hackschnitzelheizung, Trocknung und Lagerhalle um 1 % des durchschnittlich gebundenen Kapitals. Die Personalkosten steigen durch die Bedienung der Hackschnitzelheizung und der Trocknung, wobei 15 min/Tag ganzjährig für die Hackschnitzelheizung sowie 30 min/Tag über 6 Monate für die Trocknung angenommen werden (LWK, 2021).

Tabelle 21: Zusätzliche Betriebs- und Allgemeine Kosten durch Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 2 an der Biogasanlage NDS-1

Zusätzliche Betriebs- und Allgemeine Kosten durch Optimierungsmaßnahme 2		
Strombezug	€/a	18.086
Hackschnitzel	€/a	21.000
Instandhaltung Bau	€/a	38.966
Instandhaltung Technik und Maschinen	€/a	7.000
Maschinenmiete und Leasing	€/a	3.750
Versicherung, Beiträge	€/a	10.546
Personal (Anlagenfahrer + Geschäftsführer)	€/a	4.100
Zusätzliche Betriebskosten	€/a	103.448

Die Betriebskosten erhöhen sich damit um 103.448 €/a auf insgesamt 630.277 €/a.

4.2.4 Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis

Durch die gewählte lange Abschreibedauer für das Nahwärmenetz und die Lagerhalle (je 20 Jahre) und die wegfallenden Kapitalkosten für die bisherigen baulichen Anlagen steigen die Kapitalkosten bei Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 2 im Vergleich zum Ist-Stand nur geringfügig (siehe Tabelle 22). Die Anlage wäre bei Umsetzung der 2. Optimierungsmaßnahme weiterhin wirtschaftlich trotz der geringeren Stromerlöse gegenüber dem Ist-Stand.



Tabelle 22: Betriebszweigauswertung nach Umsetzung der Optimierungsmaßnahme 2 für die Biogasanlage NDS-1

Parameter	Einheit	Ist-Stand	Opt. 2
Leistungen			
Spezifische Stromvergütung	ct/kWh _{el}	21,92	19,36
Eingespeister Strom	kWh _{el} /a	8.376.164	8.376.164
Stromerlös (inkl. Direktvermarktung)	€/a	1.849.478	1.668.526
Spezifische Wärmevergütung	ct/kWh _{th}	2,80	3,52
Wärmeverkauf	kWh _{th} /a	3.675.720	5.465.720
Wärmeerlös	€/a	103.033	192.421
Erlös durch Trocknung und Lagerung	€/a	0	105.000
Sonstige Erlöse	€/a	46.523	46.523
Gesamterlös	€/a	1.999.034	2.012.470
Kosten			
Kapitalkosten	€/a	326.034 (± 18 %)	354.861 (± 19 %)
Spezifische Kapitalkosten	ct/kWh _{el}	3,89	4,24
Substratkosten	€/a	925.904 (± 52 %)	925.904 (± 48 %)
Spezifische Substratkosten	ct/kWh _{el}	11,05	11,05
Betriebs- und Allg. Kosten	€/a	526.829 (± 30 %)	630.277 (± 33 %)
Spez. Betriebs- und Allg. Kosten	ct/kWh _{el}	6,29	7,52
Kosten gesamt	€/a	1.778.767 (± 100 %)	1.910.637 (± 100 %)
Gesamtübersicht			
Spezifischer Gesamterlös	ct/kWh _{el}	23,87	24,03
Spezifische Gesamtkosten	ct/kWh _{el}	21,24	22,82
Gewinn	€/a	220.267	101.428
Spezifischer Gewinn	ct/kWh_{el}	2,63	1,21
Gesamtrentabilität	%	4,5	1,4

Die Gesamtrentabilität sinkt allerdings von 4,5 auf 1,4 aufgrund der stark angestiegenen Investitionssumme.

4.3 Gesamtkonzept

Da die Maßnahmen aus Optimierungsoption 1 zwingend für den Weiterbetrieb innerhalb des EEGs nach der ersten Förderperiode sind, sollen im Folgenden beide Optionen zusammengefasst als Gesamtkonzept betrachtet werden (siehe auch Abbildung 2).

4.3.1 Kennzahlen

Die Änderungen der Kennzahlen betreffen die Substratzusammensetzung, die prozesstechnischen Kennzahlen sowie die Wärmeausnutzung. Lediglich die eingespeiste Strommenge bleibt konstant zum Ist-Stand. Die Änderungen entsprechen den Werten aus der Tabelle 10 und der Tabelle 16. Durch den Zusammenschluss der beiden Optimierungsstrategien ergeben sich keine zusätzlichen Änderungen als die oben dargestellten. Die gesamte installierte Leistung steigt wie in Maßnahme 1 durch die Überbauung des Satelliten-BHKW von 1.774 auf 2.411 kW_{el}.



4.3.2 Leistungen

Die Leistungen des Gesamtkonzepts setzen sich aus den neuen Stromerlösen (Tabelle 11), den neuen Einnahmen für Wärme und Trocknung (Tabelle 17) sowie den sonstigen Einnahmen aus dem Ist-Stand (Tabelle 5) zusammen. Dies entspricht den Leistungen, die für Optimierungsmaßnahme 2 angenommen wurden. Diese betragen 2.012.470 €/a, woraus sich ein spezifischer Gesamterlös von 24,03 ct/kWh errechnet. Durch die Steigerung der Einnahmen aus Wärme und Trocknung liegt dieser sogar leicht über dem Wert des Ist-Standes. Der Einfluss von potenziell steigenden Wärmeeinnahmen sowie dem Erhalt eines geringeren Zuschlagwertes auf den Gesamtgewinn der Anlage wird in Kapitel 4.3.5 weiter beschrieben.

4.3.3 Kosten

Die Kapitalkosten des Gesamtkonzepts summieren sich aus allen drei vorgestellten Optimierungsstrategien, wobei die Kapitalkosten des Ist-Standes um die Abschreibungen für baulichen Anlagen zum Zeitpunkt des Wechsels reduziert werden, da diese als abgeschrieben angenommen werden. Daraus ergeben sich 178.390 €/a aus dem Ist-Stand, 173.651 €/a aus Optimierungsmaßnahme 1 (neues BHKW, neues Gärproduktlager) und 176.471 €/a aus Optimierungsmaßnahme 2 (Ausbau Nahwärmenetz, Hackschnitzelheizung, Trocknung und Lagerhalle). Insgesamt betragen die jährlichen Kapitalkosten damit 528.512 €/a. Die Gesamtinvestitionen der Anlage steigen auf 8.473.491 €.

Die Substratzusammensetzung muss aufgrund des Maisdeckels angepasst werden, so dass die gegenüber dem Ist-Stand leicht reduzierten Substratkosten von 767.195 €/a aus Optimierungsmaßnahme 1 zugrunde gelegt werden können.

Die Betriebs- und Allgemeinen Kosten summieren sich aus allen drei Betrachtungen auf 679.635 €/a.

Damit erhöhen sich die jährlichen Kosten gegenüber dem Ist-Stand um 196.575 € auf 1.975.342 €/a.

4.3.4 Kalkulatorisches Betriebsergebnis

Im Vergleich zum Ist-Stand ist mit Einkommenseinbußen der Biogasanlage zu rechnen. Auf Basis der Annahmen ist aber trotz der hohen Ausgaben noch ein wirtschaftlicher Betrieb möglich (siehe Tabelle 23). Grund dafür sind die zusätzliche Einkommensquellen, die durch den Ausbau des Wärmenetzes geschaffen wurden. Der Zubau der Hackschnitzelheizung sichert das System zusätzlich gegen Ausfälle ab. Die geplante Trocknungsanlage kann die Wärmeausnutzung der BHKW-Abwärme und die Wirtschaftlichkeit zudem maßgeblich verbessern.



Tabelle 23: Betriebszweigergebnis des Gesamtkonzepts im Vergleich zum Ist-Stand der Biogasanlage NDS-1

Parameter	Einheit	Ist-Stand	Gesamtkonzept
Leistungen			
Spezifische Stromvergütung	ct/kWh _{el}	21,92	19,36
Eingespeister Strom	kWh _{el} /a	8.376.164	8.376.164
Stromerlös (inkl. Direktvermarktung)	€/a	1.849.478	1.668.526
Spezifische Wärmevergütung	ct/kWh _{th}	2,80	3,52
Wärmeverkauf	kWh _{th} /a	3.675.720	5.465.720
Wärmeerlös	€/a	103.033	192.421
Erlös durch Trocknung und Lagerung	€/a	0	105.000
Sonstige Erlöse	€/a	46.523	46.523
Gesamterlös	€/a	1.999.034	2.012.470
Kosten			
Kapitalkosten	€/a	326.034 (± 18 %)	528.512 (± 27 %)
Spezifische Kapitalkosten	ct/kWh _{el}	3,89	6,31
Substratkosten	€/a	925.904 (± 52 %)	767.195 (± 39 %)
Spezifische Substratkosten	ct/kWh _{el}	11,05	9,16
Betriebs- und Allg. Kosten	€/a	526.829 (± 30 %)	679.635 (± 34 %)
Spez. Betriebs- und Allg. Kosten	ct/kWh _{el}	6,29	8,11
Kosten gesamt	€/a	1.778.767 (± 100 %)	1.975.342 (± 100 %)
Gesamtübersicht			
Spezifischer Gesamterlös	ct/kWh _{el}	23,87	24,03
Spezifische Gesamtkosten	ct/kWh _{el}	21,24	23,58
Gewinn	€/a	220.267	37.128
Spezifischer Gewinn	ct/kWh_{el}	2,63	0,44
Gesamtrentabilität	%	4,5	0,4

Bei der Hackschnitzelheizung und der Trocknung ist zu beachten, dass die aktuellen Gegebenheiten, nämlich eine frühzeitige Planung bereits acht Jahre vor Auslaufen der ersten Förderperiode, diese wirtschaftlich interessant machen. Da durch die Hackschnitzelheizung die Fermenter geheizt werden, steht mehr BHKW-Abwärme zur Nutzung im Nahwärmenetz zur Verfügung. Diese Wärmenutzung ist KWK-förderfähig und wird im Gegensatz zur Nutzung für die Fermenterbeheizung zusätzlich vergütet. Somit können diese zusätzlichen Einnahmen in den verbleibenden acht Jahren für die Finanzierung der Hackschnitzelheizung gegengerechnet werden.

Darüber hinaus ist der Biogasanlage anzuraten, bis zum Ende der Förderperiode die höhere Stromvergütung aus der 1. Förderperiode zu beziehen, so dass eine gute Grundlage für den Wechsel in die Ausschreibung geschaffen werden kann.

4.3.5 Sensitivitätsanalyse

Es gibt viele Stellschrauben, die sich auf den Gewinn einer Biogasanlage auswirken können. Zur Zeit steigen Energiepreise deutlich, auch Mineraldünger wird teurer, wodurch auch der



Wert für Wirtschaftsjünger steigt. Insgesamt können dadurch die Substratkosten steigen. Eine Zunahme der Dämmung an Wohneinheiten sowie steigende Temperaturen im Winter können zu einem geringeren Wärmebedarf im Nahwärmenetz führen. Auch stark steigende Preise für Baumaterialien, wie man es zur Zeit erlebt, können zu deutlichen Steigerungen bei den geplanten Investitionen führen. Alle diese Variablen sind bei der Planung zu berücksichtigen. Die Auswirkung einiger davon sollen im Folgenden betrachtet werden.

Die Auswirkungen einer Veränderung einer der drei Kostenpositionen Kapital-, Substrat- und Betriebskosten um je +/- 10 % auf die Gesamtkosten zeigt Tabelle 24. Da die Substratkosten mit 39 % der Kosten den höchsten Anteil haben, hat eine prozentuale Veränderung dieser Position auch den größten Einfluss auf das Betriebsergebnis. Eine Verteuerung der Substratkosten um 10 % würde die Gesamtkosten bereits um 0,92 ct/kWh_{el} ansteigen lassen, was zu einem negativen Betriebsergebnis führen würde. Der notwendige Zuschlagpreis für ein positives Betriebsergebnis läge dann bei 18,87 ct/kWh_{el}, was über dem Höchstgebotspreis von 18,4 ct/kWh_{el} liegt. Mit den getroffenen Annahmen beim Gesamtkonzept (ohne Änderungen der Kosten) liegt der zur Kostendeckung mindestens notwendige Zuschlagpreis für diese Anlage bei 17,96 ct/kWh_{el}.

Tabelle 24: Sensitivitätsanalyse zum Gesamtkonzept der Optimierungsmaßnahmen für die Biogasanlage NDS-1

Änderungen durch Maßnahme		Kapitalkosten (+/- 10 %)	Substratkosten (+/- 10 %)	Betriebskosten (+/- 10 %)
Spez. Gesamtkosten	ct/kWh _{el}	+/- 0,63	+/- 0,92	+/- 0,81

Die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit der Anlage soll hier an den beiden Parametern „Zuschlagswert bei der Ausschreibung“ sowie „Einnahmen durch Trocknung und Lagerung landwirtschaftlicher Güter“ gezeigt werden (Abbildung 3). Die Abbildung macht deutlich, dass durch ungünstigere Annahmen für die Parameter „Einnahmen durch Trocknung und Lagerung“ (keine Einnahmen) und „Zuschlag bei der Ausschreibung“ (durchschnittlicher Zuschlagswert nach Bundesnetzagentur (2022) vom 01.09.2021: 17,5 ct) der Gewinn deutlich geschmälert werden kann und für einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage der durchschnittliche Preis für Wärme bereits bei über 6 ct/kWh_{th} liegen sollte, um diese Umwägbarkeiten mit einzukalkulieren.



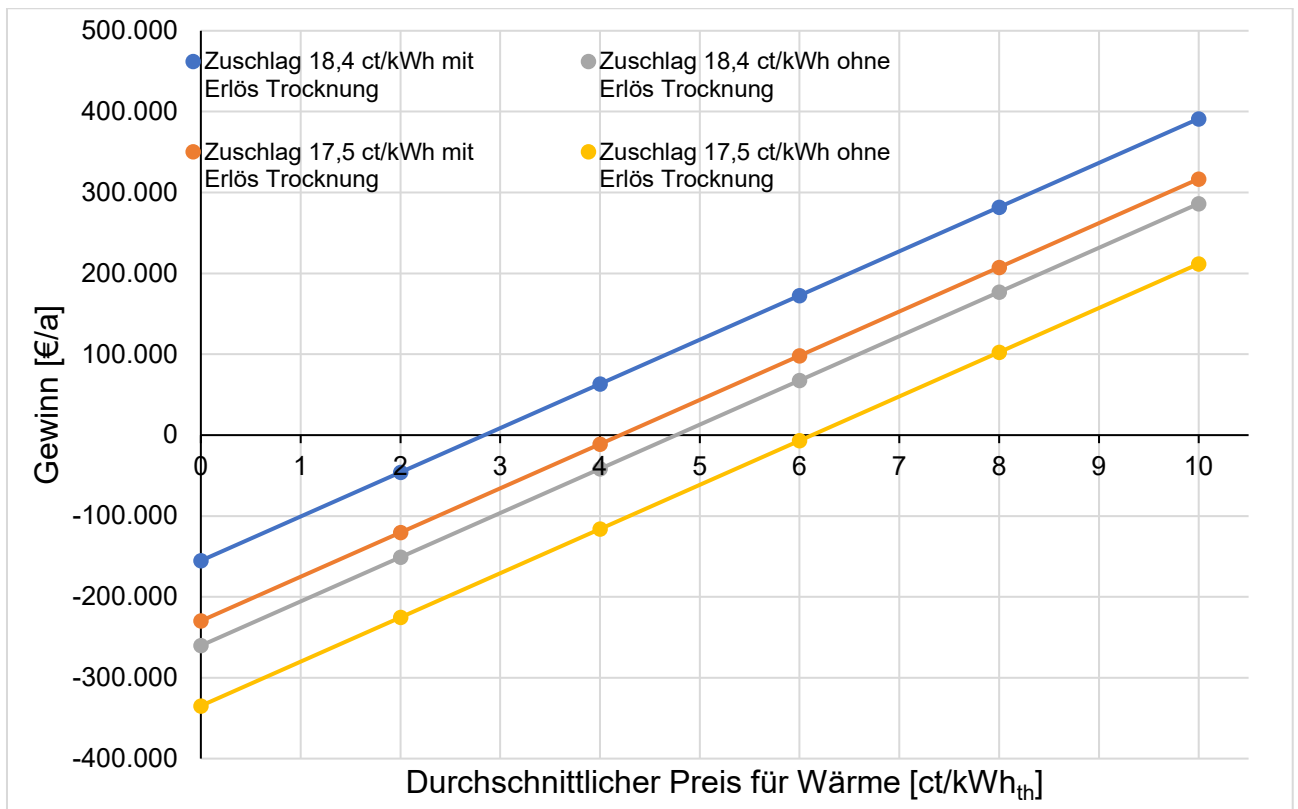


Abbildung 3: Gewinn in Abhängigkeit des Wärmepreises mit und ohne Einnahmen durch Trocknung sowie mit geringerem Zuschlagspreis (durchschnittlicher Zuschlagswert vom 01.09.2021 nach Bundesnetzagentur (2022)) nach Umsetzung des Gesamtkonzepts für die Biogasanlage NDS-1

Sinkt der Zuschlagswert von 18,4 ct/kWh (Annahme Machbarkeitsstudie) auf den am 01.09.2021 durchschnittlich erzielten Zuschlagswert von 17,5 ct/kWh, sinkt der Stromerlös und damit der Gewinn um 75.385 €/a, womit die Anlage mit den getroffenen Annahmen keinen Gewinn erbringen würde. Die Einnahmen für Trocknung und Lagerung wurden in dieser Machbarkeitsstudie mit 105.000 €/a angenommen und tragen damit maßgeblich zum positiven Betriebsergebnis bei. Schwankungen oder Fehlkalkulationen für diese Position können schnell zu einem negativen Betriebsergebnis führen.

4.4 Fazit der Optimierungsstrategien

Die Biogasanlage NDS-1 hat noch eine Restlaufzeit von acht Jahren in der ersten Förderperiode. Unter den getroffenen Annahmen kann die Anlage weiterhin rentabel betrieben werden, auch wenn der Gewinn deutlich geringer ausfällt im Vergleich zum Ist-Stand. Die intensiven Bemühungen zum Ausbau des Wärmenetzes sowie zur Ausnutzung der Abwärme der BHKW führen zu einem positiven Betriebsergebnis mit einem Gewinn von 37.128 €/a auch nach dem Wechsel in die Ausschreibung. Eine Steigerung der Wärmeeinnahmen kann die Wirtschaftlichkeit deutlich verbessern.

Die Investitionen Hackschnitzelheizung und Trocknung inkl. Lagerhalle (Optimierungsmaßnahme 2) wurden hier zwar nicht getrennt vom Ausbau des Nahwärmenetzes betrachtet, sie stellen aber hohe Investitionen dar, die nur bei langfristigen Planungen in Erwägung gezogen werden sollten. Bei sofortiger Umsetzung dieser



Maßnahmen mit acht weiteren Jahren in der ersten Förderperiode sind diese Anschaffungen für die Anlage interessant, da durch die Beheizung der Fermenter mittels Hackschnitzelheizung weitere KWK-förderfähige Wärme der BHKWs für das Wärmenetz genutzt werden kann, was die Hackschnitzelheizung noch für acht Jahre gegenfinanziert.

Die Investition in die Trocknung ist für die Landwirte interessant, wenn von Silomais auf Körnermais umgestellt werden soll. Körnermais muss im Gegensatz zu anderen Getreidearten in den meisten Jahren nachgetrocknet werden.



Literatur

BMU (2021): Erneuerbare Energien Gesetz (EEG), Fassung vom 16. Juli 2021.

Bundesnetzagentur (2022): https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Ausschreibungen/Biomasse/BeendeteAusschreibungen/Gebotstermin_01_09_2021/gebotsstermin_0109_2021.html; Zuletzt geprüft: 09.06.2022

Carmen e.V. (2022): Marktpreise Hackschnitzel. Online unter: <https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/marktpreise-hackschnitzel/> (zuletzt gelesen am 07.06.2022).

DLG (2006): Betriebszweigsabrechnung für Biogasanlagen. Einheitliche Abrechnung und Erfolgskennzahlen für Biogasanlagen aller Rechtsformen. Frankfurt am Main: DLG Verlag.

FNR (2021): Biogas-Messprogramm III, Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, ISBN: 978-3-942147-42-2.

KTBL (2013): Faustzahlen Biogas, 3. Ausgabe.

KTBL (2021a): KTBL-Datenbank Biogas. Stand 2021; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).

KTBL (2021b): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Potenziale, Erträge, Einflussfaktoren. KTBL-Schrift 523, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).

KTBL (2021c): mündl. Mitteilung von Stefan Hartmann.

LWK (2021): persönliche Mitteilung eines Energieberaters der Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

Mußhoff, O.; Hirschauer, N. (2016): Modernes Agrarmanagement. Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren. München: Franz Vahlen GmbH.

Strobl, M. (2011): Handbuch Betriebszweigabrechnung für Biogasanlagen. Einzelbetriebliches Controlling für Praxis und Beratung. Sankt-Augustin: HLBS-Verlag.

